

ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق‌قشلاق (ائوسن بالایی-الیگوسن زیرین)، خاور مغان، شمال باختر ایران: کاربرد در تعیین سنگ‌والد، شرایط اقلیمی و موقعیت تکتونیکی

محمود شرفی*^۱، پیمان محمدی^۲، امیرحسین عنایت بیدگلی^۳، مجید میرزایی^۴ و فرزین فرزانه^۵

۱- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
 ۲، ۳ و ۴- گروه زمین‌شناسی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران
 ۵- کارشناس ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، مدیریت اکتشاف، تهران، ایران

نویسنده مسئول: sharafi2262@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۰/۸/۵ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق‌قشلاق (ائوسن بالایی-الیگوسن زیرین) به منظور ارزیابی شرایط تکتونیکی، آب و هوا، درجه هوازدگی و نوع سنگ مادر انجام گرفته است. ترکیب ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق‌قشلاق عمدتاً لیت‌آرنایت و لیت‌آرنایت فلدسپات‌دار و به میزان اندک آرکوز و گریوکی است. به طور کلی ماسه‌سنگ‌ها بلوغ بافتی و ترکیبی پایینی دارند بطوری‌که خرده‌های آتشفشانی، فلدسپات‌های پلاژیوکلاز و پتاسیم‌دار اجزای اصلی تشکیل‌دهنده هستند و ذرات تشکیل‌دهنده جورشدگی و گردشگی ضعیفی را نشان می‌دهند. نمودارهای ژئوشیمیایی شامل دیاگرام توابع تفکیکی و TiO_2 در برابر Al_2O_3 و TiO_2 در برابر Zr عناصر فرعی La/Th در برابر Hf و Zr/Sc و Th/Sc نشان‌دهنده سنگ مادر بازیک تا حدواسط (و تا اندازه‌ای اسیدی) برای ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق‌قشلاق در ناحیه مورد مطالعه است. محاسبه فاکتور هوازدگی شیمیایی در کنار ترسیم نمودارهای SiO_2 در برابر $Al_2O_3+K_2O+Na_2O$ و Al_2O_3 $CaO+Na_2O+K_2O$ بیانگر وجود شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک، درجه هوازدگی پایین و میزان اندک حمل و نقل برای رسوبات سازند اجاق‌قشلاق است که موجب حفظ‌شدگی کانی‌های ناپایدار مانند کانی‌های فرومنیزیم و پلاژیوکلاز شده است. موقعیت تکتونیکی برای ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق‌قشلاق بر اساس نسبت Al_2O_3/SiO_2 به Fe_2O_3+MgO ، K_2O/Na_2O ، SiO_2 ، $La-Th-Sc$ و نسبت عناصر فرعی La/Th و Th/Sc ، جزایر قوسی تعیین شده است. نتایج بدست آمده در این مطالعه جهت بازسازی شرایط جغرافیای دیرینه و تاریخچه تکامل تکتونیکی-رسوبی حوضه مغان مفید خواهد بود.

واژگان کلیدی: مغان، اجاق‌قشلاق، ژئوشیمی، خاستگاه، جایگاه تکتونیکی

پیشگفتار

و همکاران، ۲۰۱۴ الف و ب؛ میرشاهانی و همکاران، ۲۰۱۸). خروج محلی نفت در سطح زمین در بخش‌هایی از این حوضه و همچنین حفر تعدادی چاه اکتشافی که به اثبات وجود هیدروکربن در این ناحیه انجامیده است (لوک اوپل، ۲۰۰۷)، نشان‌دهنده اهمیت انجام مطالعات زمین‌شناسی از جنبه‌های مختلف رخساره‌ای، محیط رسوبی و موقعیت تکتونیکی در راستای تکامل اطلاعات زمین‌شناسی این ناحیه می‌باشد. اهمیت مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمیایی بر روی رسوبات سیلیسی-آواری در ارزیابی شرایط اقلیمی، موقعیت تکتونیکی، عوامل کنترل‌کننده ترکیب و بافت رسوبات، شناسایی سنگ‌والد و بررسی روند تکاملی حوضه‌های رسوبی در مطالعات

ناحیه مغان در بخش جنوب‌باختری حوضه خزر دربردارنده ضخامت قابل توجهی از توالی‌های سیلیسی-آواری، کربناته، سنگ‌های آذرآواری و آذرین نفوذی و بیرونی مربوط به دوران سنوزویک است که ضخامت آن‌ها بیش از ۱۳۰۰۰ متر اندازه‌گیری شده است (ویلیم و همکاران، ۱۹۶۱). علیرغم وجود توالی‌های رسوبی با ضخامت و گسترش قابل توجه تاکنون اطلاعات بسیار اندکی در مورد سنگ‌شناسی، رخساره‌ها، محیط رسوبی، نحوه تکامل و ارتباط این حوضه با نواحی اطراف و به طور کلی زمین‌شناسی این ناحیه در دست است (مانند ویلیم و همکاران، ۱۹۶۱؛ نارانی، ۱۹۶۸؛ فتوحی، ۱۹۷۳؛ امینی، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۱؛ جعفرزاده

مانند قره‌سو، قره‌آقاج و شکرلو (اوسن میانی) و بازالت‌های پشتاسر (اوسن میانی) در این حوضه ته‌نشین شده‌اند (کزمین و ورژایتسکی، ۲۰۱۱). حوضه خزر جنوبی (شامل حوضه مغان) به عنوان بخشی از حوضه خاوری پارانتیس در نظر گرفته می‌شود (آلن و همکاران، ۲۰۰۳؛ پوپوف و همکاران، ۲۰۰۴). حوضه پارانتیس به عنوان بخش باقیمانده اقیانوس نئوتتیس در اثر همگرایی و برخورد صفحات هند و آسیا و در یک سیستم فشارشی ناحیه‌ای آفریقا-اروپا در اوسن بالایی یا اوسن-الیگوسن شکل گرفته‌اند (برونت و همکاران، ۲۰۰۳؛ آلن و همکاران، ۲۰۰۳). در اثر این برخورد رشته‌کوه‌های مرتفع و طویل تحت عنوان آلپ که از اروپا تا بخش‌های شمالی ایران گسترش دارند، شکل گرفته‌اند. رشته‌کوه‌های قره‌داغ و تالش در بخش جنوب و قفقاز کوچک در بخش جنوب باختری حوضه مغان بخشی از این کمربند کوهزایی است (وینسنت و همکاران، ۲۰۰۵؛ آدامیا و همکاران، ۲۰۱۱). شرق حوضه پارانتیس در اوسن از یک شرایط دریایی باز و مرتبط با دریای قطبی (از طریق تنگه Turgai)، به صورت یک حوضه محصور در الیگوسن زیرین تبدیل شده است (پوپوف و همکاران، ۲۰۰۴). فرونشینی بستر حوضه در اوسن بالایی منجر به توسعه حوضه‌های عمیق با امتداد خاوری-باختری با رسوبات پلاژیک، از دریای سیاه تا Ciscaucasia و حوضه خزر و در جنوب در قفقاز میانی^۲ و حوضه کپه‌داغ شده است. از الیگوسن میانی به بعد، حوضه مجدداً باز شده و در زمان الیگوسن بالایی و میوسن زیرین به حداکثر ارتباط خود با اقیانوس هند می‌رسد (پوپوف و همکاران، ۲۰۰۴؛ گست و همکاران، ۲۰۰۶). سیستم فشارشی حاکم بر منطقه و رشد پیوسته ارتفاعات تالش و قفقاز کوچک در بخش جنوبی حوضه کورا (شامل حوضه مغان) منبع اصلی تامین رسوبات سیلیسی-آواری و کنترل‌کننده ترکیب رسوبات، رخساره‌های رسوبی و سیستم‌های ته‌نشینی مانند سازند اجاق‌قشلاق (اوسن بالایی-الیگوسن زیرین) در این حوضه بوده است (وینسنت و همکاران، ۲۰۰۵). در بخش جنوبی حوضه کورا متشکل از حوضه مغان و آذربایجان، توالی‌های اوسن بالایی-الیگوسن زیرین شامل رسوبات مادستون (همی‌پلاژیک) (اوسن بالایی) و ماسه‌سنگ (الیگوسن) هستند که در سیستم‌های رسوبی توربیدیتی تا دریایی کم‌عمق ته‌نشین

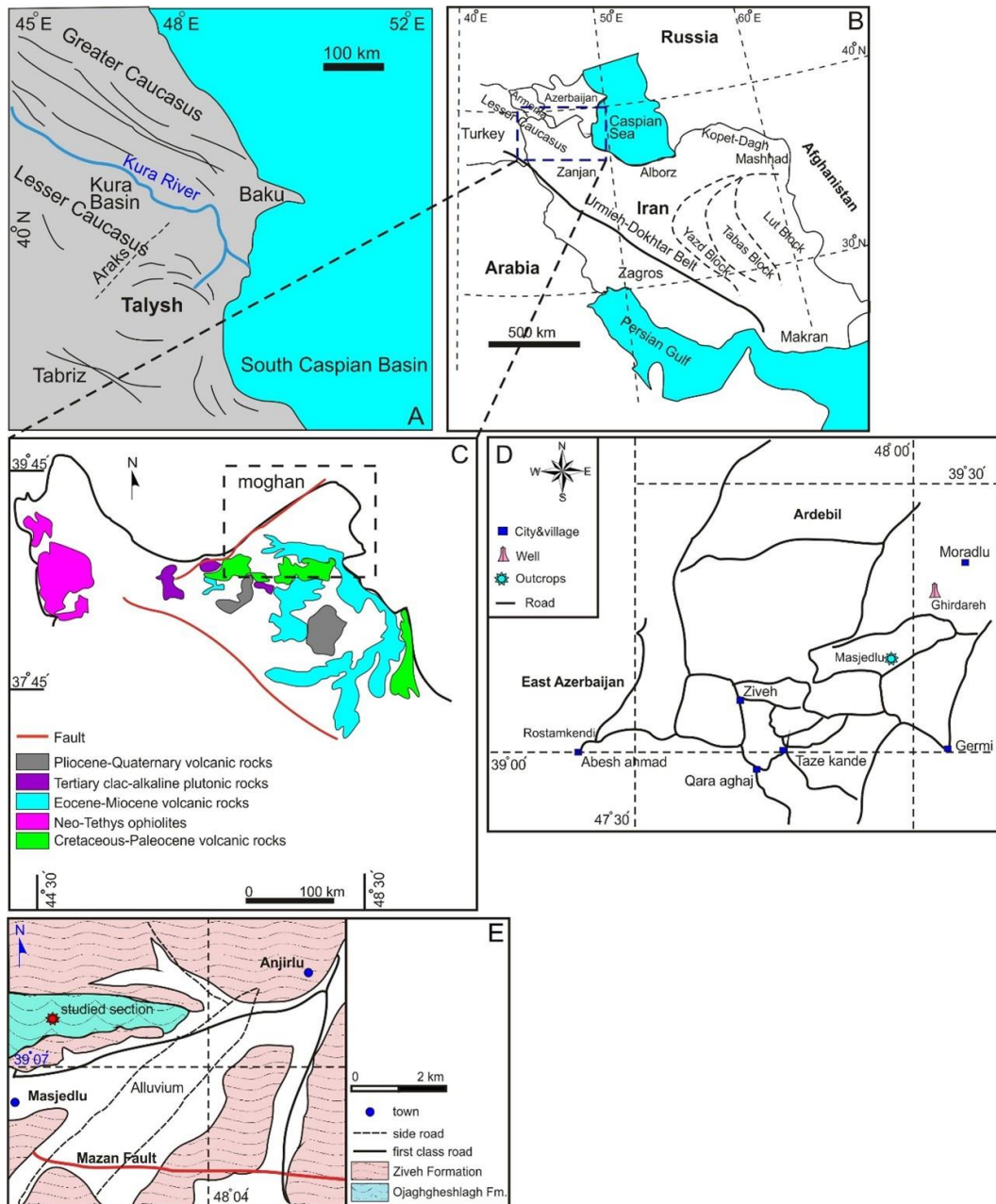
مختلف مورد تاکید قرار گرفته است (شرفی و همکاران، ۱۳۹۷؛ نصیری و همکاران، ۱۳۹۹؛ آرمسترانگ آترین و همکاران، ۲۰۰۴؛ خانه‌باد و همکاران، ۲۰۱۲؛ زندمقدم و همکاران، ۲۰۱۳؛ جعفرزاده و همکاران، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴؛ اجاه، ۲۰۲۱؛ آجو و همکاران، ۲۰۲۱؛ لی و همکاران، ۲۰۲۲). در این ارتباط، ترکیب شیمیایی ماسه‌سنگ‌ها به طور وسیعی جهت ارزیابی فرایندهای هوازدگی، موقعیت تکتونیکی حوضه‌های رسوبی، شرایط اقلیمی و بازسازی جغرافیای دیرینه حوضه منشا استفاده می‌شود (آرمسترانگ آترین و همکاران، ۲۰۰۴؛ جعفرزاده و حسینی‌برزی، ۲۰۰۸؛ گائو و همکاران، ۲۰۲۰؛ کیسیولی و همکاران، ۲۰۲۰؛ لی و همکاران، ۲۰۲۲). در این مطالعه با استفاده از مطالعات میکروسکوپی (پتروگرافی و SEM) و ژئوشیمیایی (XRD و ICP-ms) به مطالعه شرایط آب و هوایی (از طریق محاسبه اندیس‌های هوازدگی و ترکیب ماسه‌سنگ‌ها)، تکتونیک ناحیه منشا و ارزیابی سنگ‌والد رسوبات سیلیسی-آواری (ماسه‌سنگ) سازند اجاق‌قشلاق پرداخته شده است. با توجه به مطالعات بسیار اندکی که در ناحیه مغان صورت گرفته است، اطلاعات بدست آمده جهت بازسازی شرایط جغرافیای دیرینه و به طور کلی تکامل تاریخچه زمین‌شناسی ناحیه شمال‌باختر ایران بسیار مفید خواهد بود.

زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی سازند اجاق‌قشلاق
ناحیه مغان به عنوان بخشی از حوضه کورا در جنوب باختری دریاچه خزر دارای توالی‌های رسوبی و آذرین با ضخامت بیش از ۱۳۰۰۰ متر مربوط به دوران سنوزویک است (ویلیم و همکاران، ۱۹۶۱). این ناحیه با مختصات جغرافیایی ۳۰' ۴۶° تا ۳۰' ۴۹° خاوری و ۰۰' ۳۸° تا ۰۰' ۴۰° شمالی و وسعتی حدود ۶۳۰۰ کیلومتر مربع، بخش‌هایی از اردبیل و آذربایجان خاوری را دربرمی‌گیرد (شکل ۱). منطقه مغان از منظر تکتونیکی بخشی از منطقه قفقاز است که در محدوده خزر جنوبی-دریای سیاه^۱ واقع شده است (برونت و همکاران، ۲۰۰۳؛ آدامیا و همکاران، ۲۰۱۱) (شکل ۱C). در بازه زمانی پالئوسن بالایی-اوسن در نتیجه جابجایی صفحه عربی به سمت شمال تعدادی حوضه‌های کششی پشت قوسی مانند تالش در ناحیه ایجاد شده است که توالی‌های سیلیسی-آواری، کربناته و آذرین

^۲ Transcaucasia^۱ Caspian sea-Black Sea region

یک ناپیوستگی بر روی بازالت‌های پشتاسر قرار گرفته و توسط رسوبات آواری سازند زیوه (الیگوسن - میوسن زیرین) با ناپیوستگی فرسایشی پوشیده می‌شود.

شده‌اند (وینسنت و همکاران، ۲۰۰۵). در ناحیه مورد مطالعه سازند اجاق‌قشلاق (ائوسن بالایی - الیگوسن زیرین) با ترکیب ماسه‌سنگ، مادستون بیتومن‌دار و سنگ‌آهک با



شکل ۱. (A) نقشه ساده شده وضعیت ساختاری شمال باختر ایران و موقعیت حوضه کورا و نواحی تالش و قفقاز کوچک (وینسنت و همکاران، ۲۰۰۵)، (B و C) نقشه ساده شده زمین‌شناسی ناحیه شمال باختر ایران شامل ناحیه مغان که نشان‌دهنده وجود سنگ‌های آذرین ولکانیکی و پلوتونیک کراتاسه تا کواترنری است (شفائی‌مقدم و همکاران، ۲۰۱۷)، (D) نقشه جغرافیایی ناحیه مورد مطالعه و محل برش‌های مورد نظر در ناحیه مغان، (E) نقشه ساده زمین‌شناسی ناحیه مسجد لو (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ گرمی، اسدیان، ۱۹۹۴).

تشکیل‌دهنده و بافت رسوبات سازند اجاق‌قشلاق در ناحیه مورد مطالعه، بررسی شده است. نمونه‌گیری از برش سطحی توسط دستگاه مغزه‌گیری قابل حمل برداشت صورت گرفته است و بدین ترتیب نمونه‌های کاملاً تازه و

روش مطالعه

در این مطالعه برش سطحی مسجدلو و برش زیرسطحی قیصره در ناحیه مغان مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱). تعداد ۲۲۰ برش‌نازک جهت تعیین ترکیب، اجزای

ترکیب ماسه‌سنگ‌ها (پتروگرافی، SEM و XRD)

سازند اجاق‌قشلاق (ائوسن بالایی-الیگوسن زیرین) در ناحیه مورد مطالعه به طور کلی متشکل از ماسه‌سنگ‌های متوسط تا ضخیم لایه خاکستری رنگ، سیلتستون ماسه‌ای، کنگلومرای ضخیم لایه، مادستون خاکستری تا سبز ضخیم و ماسه‌سنگ توفی و توف و سنگ‌آهک دانه ریز (مادستون) است. این مطالعه بر رخساره‌های ماسه‌سنگی تمرکز یافته است.

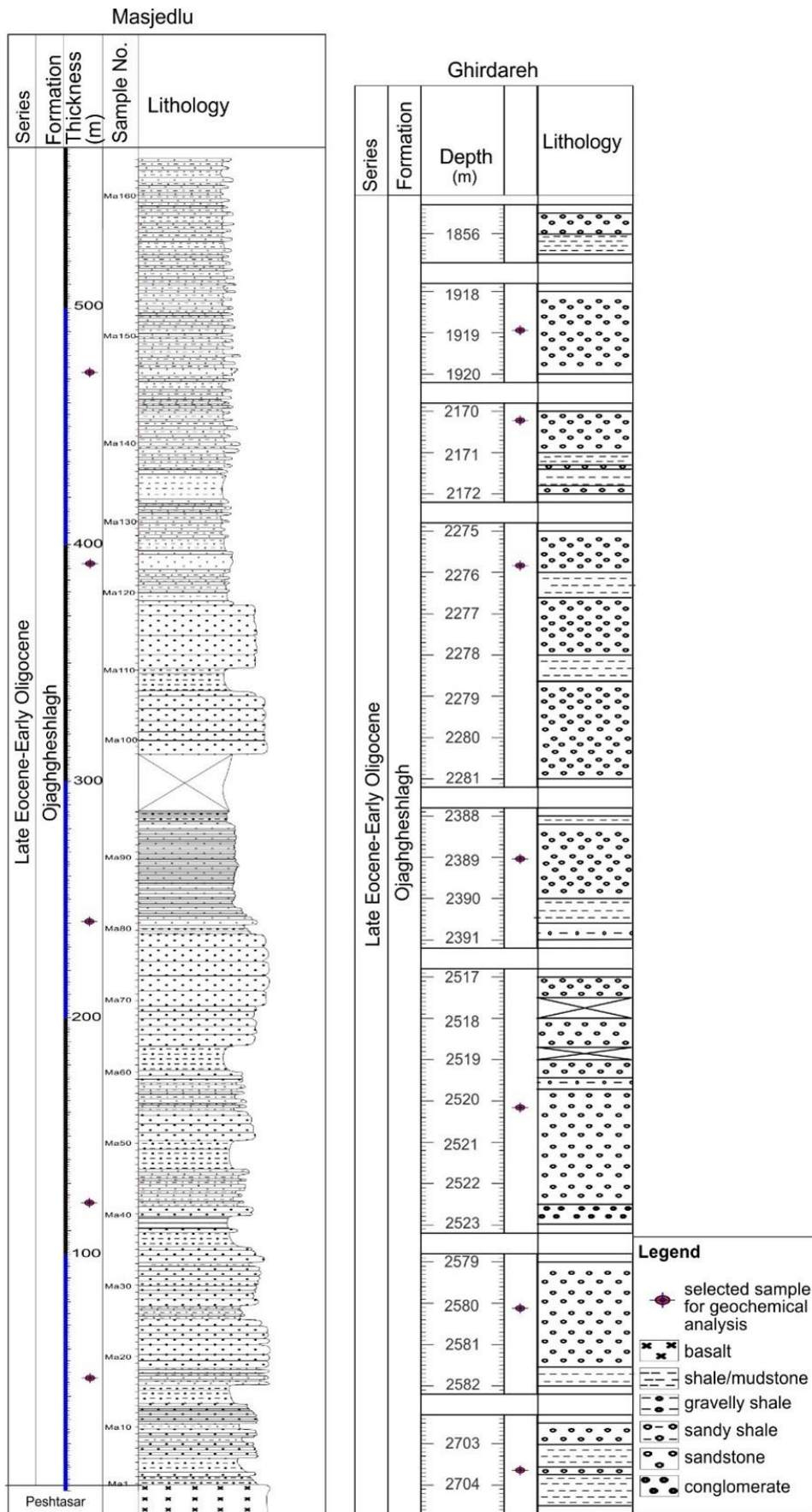
ماسه‌سنگ‌ها غالباً دارای ترکیب لیت‌آرنایت، لیت‌آرنایت فلدسپات‌دار و آرکوز خرده‌سنگ‌دار و به میزان اندک فلدسپاتیک‌وک، لیتیک‌گری‌وکی و آرکوز فسیل‌دار است (شکل ۳). اجزای اصلی ماسه‌سنگ‌ها شامل خرده‌سنگ‌های آتشفشانی و فلدسپات و اجزای فرعی متشکل از کوارتز، بیوتیت، پیریت، پیروکسن و آپاتیت است (شکل‌های ۳ و ۴). جورشدگی و گردشدگی ذرات تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌ها عمدتاً ضعیف بوده و از ماسه ریز تا خیلی درشت زاویه‌دار تا نیمه گرد شده در تغییر هستند (شکل 3A, B, C, E). در موارد زیادی به دلیل فشردگی شدید، تعیین درجه گردشدگی ذرات (حداقل برای خرده‌های آتشفشانی) ممکن نیست. مطالعات پتروگرافی و آنالیز XRD نشان می‌دهد که ترکیب فلدسپات‌ها عمدتاً از نوع پلاژیوکلاز (آلبیت تا آنورتیت) و به میزان کمتر فلدسپات پتاسیم‌دار (ارتوکلاز و سانیدین) است (شکل‌های 3C, E و 4A-D). در موارد زیادی ذرات کوارتز در این ماسه‌سنگ‌ها عمدتاً به فرم تک‌بلورین و زاویه‌دار است. خرده‌سنگ‌ها غالباً از نوع آتشفشانی با بافت میکرولیتی هستند اگرچه در تعداد معدودی از نمونه‌ها خرده‌های کربناته نیز مشاهده شده است. فراوانی پیروکسن و بیوتیت در بعضی موارد تا ۱۰-۱۲ درصد نیز میرسد (شکل 3D, H). سیمان کلسیتی اولیه و تاخیری و رس (شکل 3A, E) زمینه ماسه‌سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند. ذرات تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌ها در موارد زیادی درجه هوازگی و دگرسانی پایین را نشان می‌دهند (حتی خرده‌های آتشفشانی و کانی‌های سنگین مانند پیروکسن) (شکل 3A, B, C, E). اگرچه دانه‌های فلدسپات و خرده‌های آتشفشانی درجات متفاوتی از کلریتی‌شدن و سرسیتی‌شدن را نشان می‌دهند.

هوازده نشده از توالی‌های مورد نظر تهیه شده است. تعیین درصد اجزای تشکیل‌دهنده و نام‌گذاری ماسه‌سنگ‌ها با استفاده از جدول‌های مقایسه‌ای استاندارد (تری و چیلینگار، ۱۹۵۵) و با پوشش حداقل ۱۰ میدان دید صورت گرفته است. نام‌گذاری ماسه‌سنگ‌ها بر اساس طبقه‌بندی پتی‌جان (۱۹۸۷) صورت گرفته است. تعداد ۱۵ نمونه توسط میکروسکوپ الکترونی جهت شناسایی کانی‌های رسی و ارزیابی میزان تاثیر پدیده‌های دیاژنتیکی مانند کلریتی‌شدن در موسسه متارلوژی رازی مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین تعداد ۱۷ نمونه توسط دستگاه XRD به منظور بررسی نوع کانی‌های رسی و فلدسپات‌های موجود در ماسه‌سنگ‌ها در شرکت زرا‌ما مورد آزمایش قرار گرفتند. در نهایت تعداد ۱۳ نمونه ماسه‌سنگی که دارای حداقل شواهد دیاژنتزی مانند سیمان کلسیتی و یا ذرات درون حوضه‌ای مانند خرده‌های اسکلتی بودند، جهت آنالیز ژئوشیمیایی به روش ICP-ms و تعیین عناصر اصلی و فرعی به منظور مطالعات خاستگاه رسوبات، انتخاب و به موسسه زرا‌ما فرستاده شد.

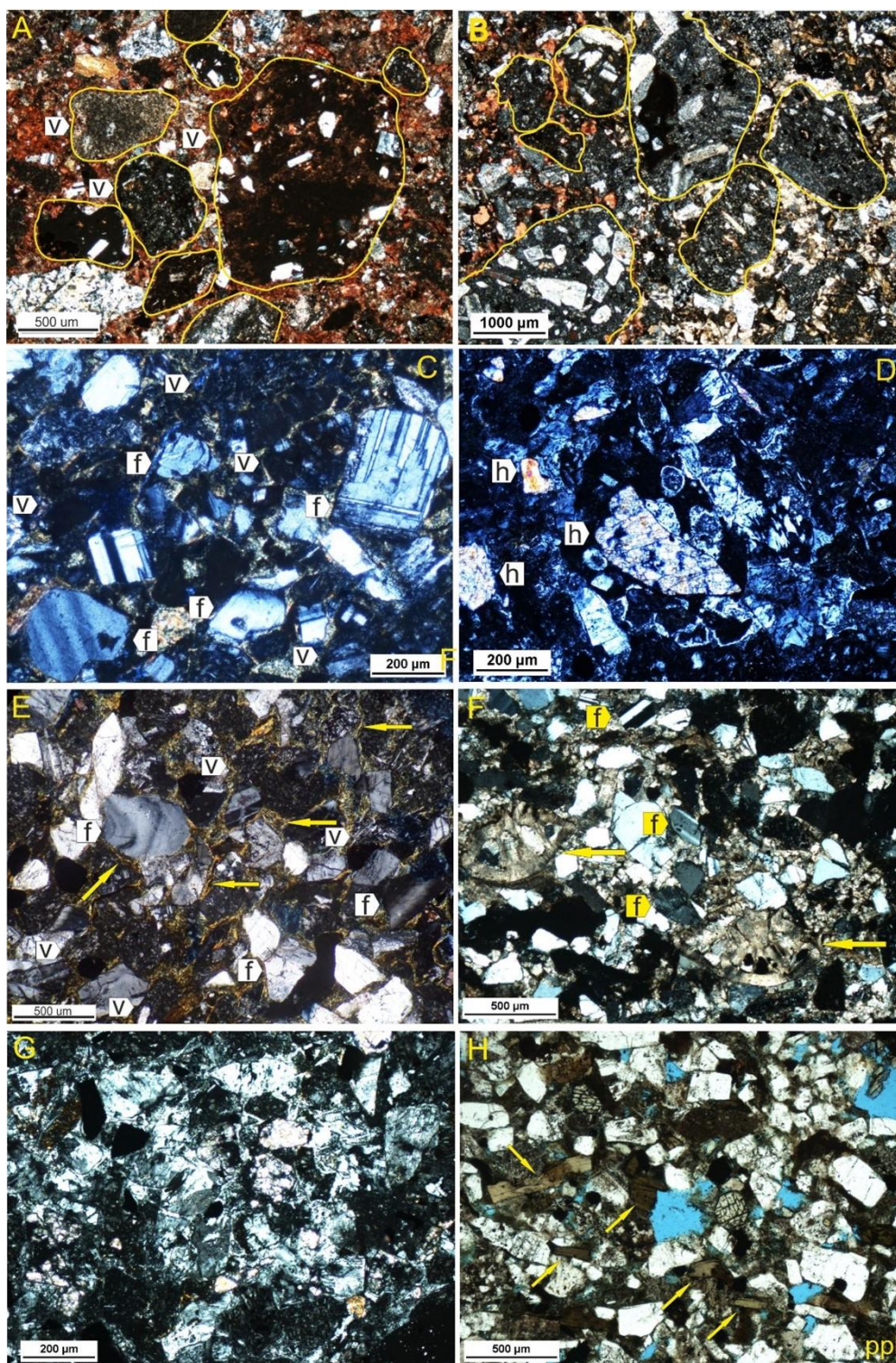
نتایج

سنگ‌شناسی سازند اجاق‌قشلاق

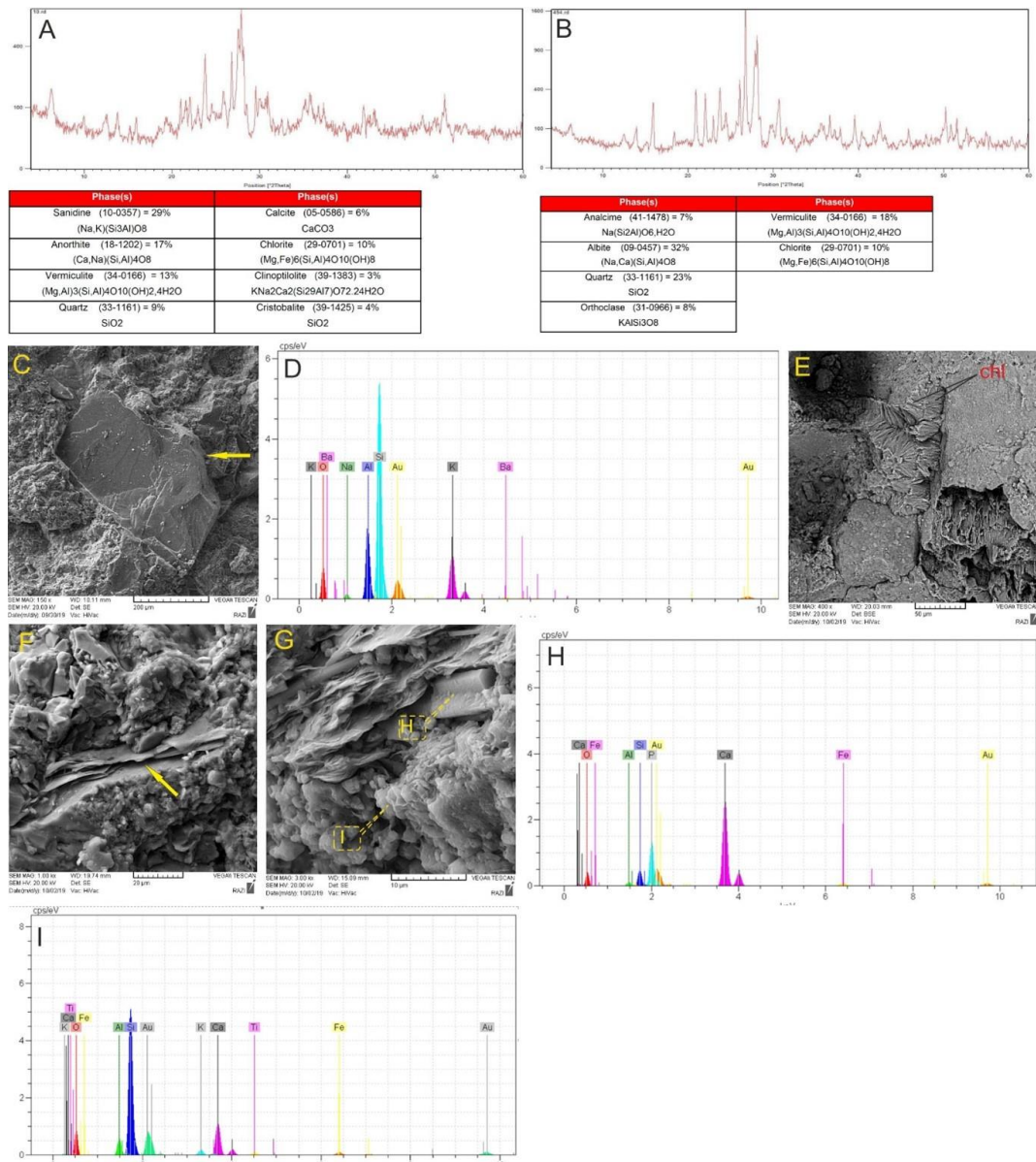
سازند اجاق‌قشلاق در برش‌های مسجولو و قیردره به ترتیب ۵۶۰ و ۳۵۹ متر ضخامت دارد. سازند اجاق‌قشلاق در برش مسجولو در بخش زیرین شامل تناوب ماسه‌سنگ نازک تا متوسط لایه درشت دانه و سیلتستون است که به تدریج به طرف بالا بر میزان رخساره‌های ماسه‌سنگی و ضخامت آن‌ها افزوده می‌شود (۰ تا ۱۸۰ متر) (شکل ۲). در بخش میانی این سازند عمدتاً متشکل از ماسه‌سنگ‌های ضخیم لایه و درشت دانه با میان لایه‌های پراکنده از سیلتستون است (۱۸۰ تا ۳۸۵ متر). بخش بالایی سازند اجاق‌قشلاق در برش مسجولو متشکل از تناوب سیلتستون و ماسه‌سنگ‌های نازک‌لایه است. در برش قیردره سازند اجاق‌قشلاق بر روی سازند سلم آقاجی قرار گرفته و توسط سازند زیور پوشیده می‌شود. سازند اجاق‌قشلاق در این برش متشکل از واحدهای ماسه‌سنگی است که در بین واحدهای شیلی قرار گرفته است. به طور پراکنده افق‌های کنگلومرای نیز در این برش مشاهده می‌شود.



شکل ۲. ستون چینه‌شناسی سازند اجاق‌قشلاق در برش‌های مورد مطالعه



شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق قشلاق در برش‌های مورد مطالعه. A و B) پتروفاسیس لیت‌آرنایت با ذرات آتشفشانی فراوان (v) که دارای جورشدگی و گردشدگی پایین هستند، برش مسجولو، شماره نمونه‌ها Ma19 و Ma30، C) پتروفاسیس لیت‌آرنایت فلدسپات‌دار که حاوی خرده‌های آتشفشانی (v) و فلدسپات‌های کاملاً تازه هستند (f)، برش قیردره، D) 2521.1m، پتروفاسیس لیت‌آرنایت حاوی ذرات پیروکسن (h)، برش مسجولو، E) Ma111، پتروفاسیس فلدسپاتیک‌گریوکی حاوی خرده‌های آتشفشانی (v) و فلدسپات (f) و کانی‌های رسی فشرده‌شده بین ذرات (فلش‌ها)، برش قیردره، F) 2171.9m، آرکوز فسیل‌دار (فلش) با درجه جورشدگی متوسط و گردشدگی ضعیف (f: فلدسپات)، برش مسجولو، G) Ma70، پتروفاسیس آرکوز با فشرده‌گی شدید، برش مسجولو، H) Ma153، پتروفاسیس آرکوز میکادار (فلش‌ها) با جورشدگی متوسط-ضعیف و ذرات زاویه دار تا نیمه زاویه دار، برش مسجولو، Ma160.



شکل ۴. A و B) آنالیز XRD از نمونه‌های ماسه‌سنگی سازند اجاق قشلاق که نشان‌دهنده وجود فلدسپات‌های سانیدین، آنورتیت، ارتوکلاز، آلبیت و کانی‌های رسی اسمکتیت و کلریت در آن‌ها هستند، C و D) تصاویر SEM و آنالیز EDX از کانی فلدسپات پتاسیم‌دار که کاملاً سالم و تازه است، E) تصویر SEM از کانی‌های کلریت دولایه (chl) بین ذرات که نشان‌دهنده منشأ اولیه آن‌ها است، F) تصویر SEM کانی میکا، G-I) تصویر SEM و آنالیز EDX از کانی‌های آپاتیت (H) و اسمکتیت با ساختار شبکه‌ای (I).

ترسیم نمودارهای دوتایی بین اکسیدهای اصلی نشان دهنده ارتباط مثبت بین SiO_2 با Na_2O و K_2O و عدم ارتباط با Fe_2O_3 ، MgO و TiO_2 است (شکل ۵). ارتباط مثبت بین سیلیس و اکسیدها نشان‌دهنده حضور سیلیس در ترکیب کانی‌های رسی، میکایی و فلدسپار است (اسائه و همکاران، ۲۰۰۶؛ گائو و همکاران، ۲۰۲۰؛ ساجد و همکاران، ۲۰۲۰؛ لی و همکاران، ۲۰۲۲). که در مطالعات پتروگرافی و آنالیز XRD وجود کانی‌های مذکور اثبات شده است (شکل‌های ۳ و ۴A, B, C, E).

ژئوشیمی

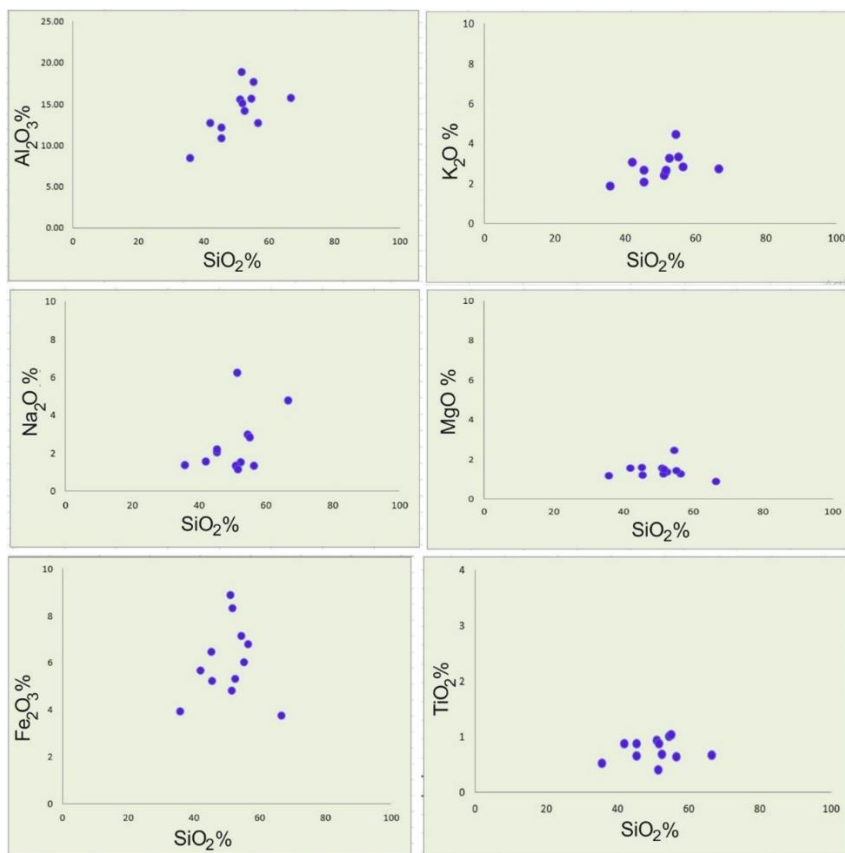
در جدول‌های ۱ و ۲ میزان تمرکز عناصر اصلی و فرعی در ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق قشلاق در ناحیه مورد مطالعه نشان داده شده است. عناصر اصلی بر اساس درصد وزنی و عناصر فرعی بر اساس ppm نشان داده شده است. میزان SiO_2 در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۴۲ تا ۶۶ درصد، محتوای Al_2O_3 نسبتاً بالا و بین ۸-۱۷ درصد (میانگین ۱۴ درصد)، Fe_2O_3 بین ۳ تا ۹ درصد، K_2O بین ۲-۴ درصد و Na_2O بین ۱ تا ۶ درصد است (جدول ۱).

جدول ۱. عناصر اصلی در نمونه‌های ماسه‌سنگ سازند اجاق‌قشلاق در ناحیه مورد مطالعه

Sample ID	Section/Well	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	sum	CIA
10	outcrop	54.57	15.622	8.2462	7.1307	4.0289	0.0904	4.452	2.9656	1.0008	0.252	98.359	49.933
492	outcrop	47.7	16.38	11.5	8.37	2.4	0.06	3.3	1.82	0.98	0.16	92.67	49.95
494	outcrop	66.618	15.754	4.571	3.744	1.4425	0.0387	2.724	4.7584	0.6672	0.1833	100.5	56.654
MRN-2551	outcrop	56.539	12.675	12.542	6.7592	2.0725	0.0775	2.82	1.3076	0.6338	0.126	95.552	43.195
MRN-2543	outcrop	52.601	14.205	11.83	5.3016	2.2051	0.0646	3.24	1.4963	0.6839	0.1146	91.742	46.164
2703.56	well	55.212	17.681	6.3857	6.0018	2.3212	0.0516	3.3	2.7904	1.0342	0.252	95.03	58.63
2580	well	42.051	12.656	18.307	5.6446	2.5533	0.1033	3.036	1.5502	0.8674	0.8019	87.571	35.602
2275.8	well	35.802	8.4438	32.962	3.9155	1.8901	0.1678	1.86	1.348	0.5171	0.1146	87.021	
2389	well	45.432	12.184	16.745	6.4448	2.5865	0.0749	2.664	2.022	0.8674	0.0687	89.09	36.246
2520	well	45.518	10.843	19.57	5.2016	1.973	0.0646	2.052	2.1703	0.6505	0.1146	88.158	53.408
481	outcrop	51.531	18.871	7.7179	4.7872	2.0891	0.0904	2.544	6.2008	0.4003	0.2749	94.507	57.365
2170.5	well	51.146	15.528	7.8328	8.8598	2.5533	0.1033	2.4	1.3076	0.9341	0.1902	90.855	55.027
1918.9	well	51.767	15.112	8.5678	8.3025	2.4207	0.1033	2.664	1.1188	0.8674	0.1604	91.083	45.205
	average	50.499	14.304	12.829	6.1895	2.3489	0.0839	2.8505	2.3735	0.7772	0.2164		48.948

جدول ۲. عناصر فرعی در نمونه‌های ماسه‌سنگ سازند اجاق‌قشلاق در ناحیه مورد مطالعه.

Sample ID	Section/Well	V	Cr	Co	Cu	Ni	Zn	Ba	Nb	Pb	La	Sc	Rb	Sr	Y	Th	U	
10	outcrop	174	196	20.9	45	54	81	158	860	18.5	15	40	23	89	716.4	20.3	10.83	3.4
492	outcrop	176	61	18.4	109	35	80	167	479	13	9	36	20.3	83	498.7	20.1	12.01	2.9
494	outcrop	119	14	12.8	55	10	58	102	558	13.7	12	42	11.4	46	530.5	17	13.47	3.5
MRN-2551	outcrop	161	58	13.3	65	51	73	110	273	8.9	9	32	14.6	84	358.9	20.7	7.87	3.7
MRN-2543	outcrop	199	55	14.5	72	49	81	121	315	10.1	12	28	16.5	97	285.2	19.7	8.55	4.2
2703.56	well	190	43	20.2	447	26	88	164	439	18.5	15	50	18.9	80	547.4	20.1	17.66	5.6
2580	well	172	84	20.5	100	68	116	163	279	14.9	24	40	18.1	92	382.3	25.1	12.48	9
2275.8	well	131	162	17.8	68	93	75	113	180	10.5	9	22	18.7	86	587.6	15.4	7.81	3
2389	well	88	111	11.1	67	70	47	76	178	7.8	9	22	11.4	55	695.5	19.5	5.71	1.4
2520	well	141	198	18.3	77	118	77	107	228	10.8	11	21	18.5	69	531	17.3	5.81	3.5
481	outcrop	126	22	12.4	53	15	76	75	788	8.6	12	29	10.9	81	1648.5	13.2	6.74	1.9
2170.5	well	190	139	28.5	71	96	97	156	144	13.4	10	33	20.1	68	259	20.9	9.41	3.5
1918.9	well	190	120	22.4	70	82	92	140	158	11.8	11	30	20.1	78	239.9	20.5	9.28	3.2



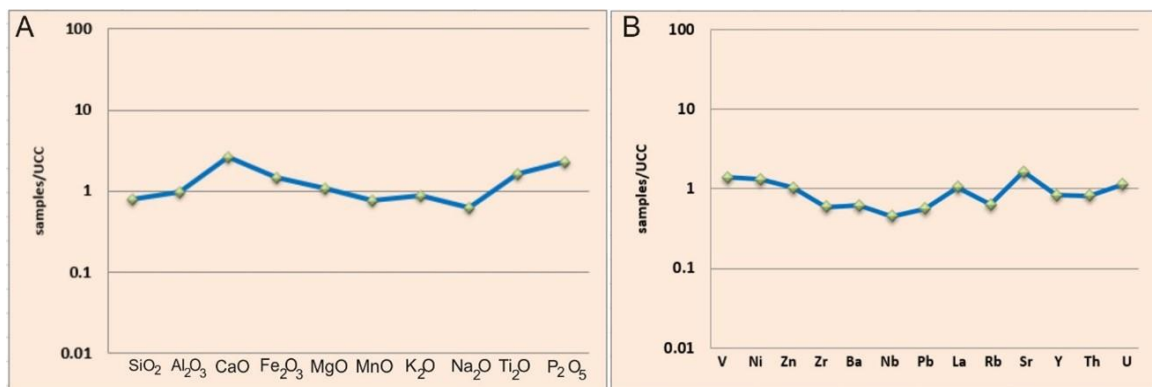
شکل ۵. ارتباط بین اکسیدهای SiO₂ و Al₂O₃، K₂O و Na₂O و عدم ارتباط بین SiO₂ و TiO₂ و MgO در ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق قشلاق

بحث

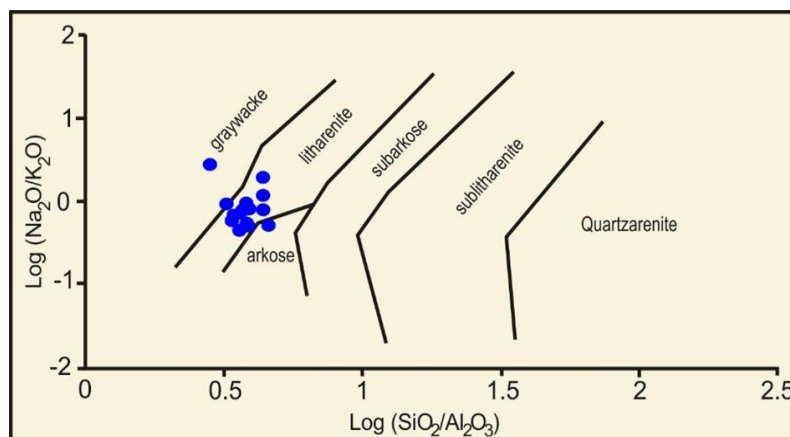
طبقه‌بندی شیمیایی ماسه‌سنگ‌ها

با استفاده از نمودارهای شیمیایی و ترسیم نمودارهای دوتایی اکسیدهای اصلی می‌توان سنگ‌های آواری را طبقه‌بندی نمود (پتی‌جان، ۱۹۷۲). در این ارتباط نسبت بین $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ فراوانی نسبی کوارتز (نسبت به رس‌ها و فلدسپات) و نسبت $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ معیار پایداری کانی‌ها است (پاتر، ۱۹۷۸؛ هرون، ۱۹۸۸). ترسیم نمودار لگاریتمی $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ در برابر $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ ترکیب ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق قشلاق را از نوع لیت‌آرنایت، آرکوز و گری‌وکی مشخص می‌کند که منطبق با نتایج حاصل از مطالعات پتروگرافی است (شکل ۷).

نمودار عنکبوتی اصلی ترسیم شده برای ماسه‌سنگ‌های سازندهای اجاق قشلاق نشان‌دهنده غنی‌شدگی CaO ، Fe_2O_3 و P_2O_5 و فقیرشدگی SiO_2 است (شکل 6A). غنی‌شدگی اکسیدهای آهن، فسفات و کلسیم به دلیل فراوانی کانی‌های فرومنیزم (مانند پیروکسن) و خرده‌های آتشفشانی و حضور آپاتیت و فلدسپات کلسیم‌دار در نمونه‌های مطالعه شده است (شکل‌های 3A و 4A, B). از طرفی فقیرشدگی ماسه‌سنگ‌ها نسبت به سیلیس به دلیل مقادیر اندک کوارتز است که با مطالعات پتروگرافی و آنالیز XRD انطباق نشان می‌دهد (شکل 4A, B). همچنین نمودار عنکبوتی برای عناصر فرعی نشان‌دهنده غنی‌شدگی ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق قشلاق نسبت به بخش عناصر V و Sr و فقیرشدگی Rb، Ba و Zr نسبت به بخش بالایی پوسته قاره‌ای است (UCC¹) (تیلور و مک‌لنن، ۱۹۸۵) (شکل B6).



شکل ۶. A) نمودار عنکبوتی عناصر اصلی و B) نمودار عنکبوتی عناصر فرعی ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق قشلاق که با داده‌های UCC بهنجار شده‌اند (تیلور و مک‌لنن، ۱۹۸۵ و ۲۰۰۱).



شکل ۷. نمودار دوتایی $\text{Log}(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ در برابر $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ برای ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق قشلاق که نشان‌دهنده ترکیب لیت‌آرنایت، آرکوز و گری‌وکی برای نمونه‌های آنالیز شده است.

¹ upper continental crust

سنگ مادر

هرچند مقادیر کوارتز در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه بسیار کم می‌باشد با این حال، وجود کوارتزهای تک‌بلوری بی‌شکل با خاموشی مستقیم تا موجی (مجموعاً ۱-۳ درصد) و به میزان خیلی کمتر کوارتز چندبلوری (کمتر از ۱ درصد) در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه می‌تواند نشان دهنده سنگ مادر آذرین آتشفشانی و پلوتونیک برای کوارتزهای موجود در این رسوبات باشد. همچنین می‌توان از روی نوع فلدسپات‌ها سنگ والد رسوبات سیلیسی-آواری (ماسه‌سنگ‌ها) را مورد ارزیابی قرار داد (پیت من، ۱۹۷۰). در همین ارتباط، میکروکلین و ارتوز از سنگ‌های پلوتونیک فلسیک و سانیدین و آنورتوکلاز از سنگ‌های آذرین آتشفشانی فلسیک حاصل می‌شوند در حالیکه فلدسپات‌های پتاسیم‌دار معمولاً از سنگ مادرهای آذرین فلسیک و پگماتیت‌ها حاصل می‌شوند (ترون و ناش، ۱۹۸۱؛ تیرل و همکاران، ۲۰۱۰). در نمونه‌های مورد مطالعه فلدسپارهای پتاسیم‌دار از نوع سانیدین و آنورتوکلاز، و فلدسپات‌های پلاژیوکلاز (فلدسپارهای سدیم/کلسیم‌دار) شناسایی شده‌اند (شکل‌های 3C, E, F و 4A, B, C). بنابراین می‌توان سنگ‌منشا آتشفشانی فلسیک تا بازیگ (حد واسط) را برای ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق قشلاق در نظر گرفت. علاوه بر این، وجود خرده‌سنگ‌های آتشفشانی در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه بیانگر مشتق شدن آن‌ها از یک سنگ مادر آذرین بیرونی است. وجود این میزان خرده‌سنگ‌های آتشفشانی و کانی‌های سنگین ناپایدار (پیروکسن، هورنبلند و آپاتیت) همراه با مچوریتی بافتی پایین ماسه‌سنگ‌ها (جورشدگی و گردشدگی پایین)، نشان‌دهنده میزان اندک حمل و نقل و وجود یک منشا نزدیک به حوضه رسوبی برای رسوبات مورد مطالعه است. قابل ذکر است که مجموعه‌های ولکانیکی گسترده (کوه‌های تالش) به سن کرتاسه-پالئوسن تا ائوسن در جنوب ناحیه مورد مطالعه و حتی ناحیه قفقاز کوچک گسترش دارند، منشا اصلی این ذرات تشکیل‌دهنده این ماسه‌سنگ‌ها بوده‌اند (شکل 1C). در همین ارتباط قابل ذکر است که با توسعه رژیم ریفتی و فعالیت‌های ولکانیکی مرتبط در ناحیه تالش و قفقاز کوچک، مجموعه‌های ولکانیکی عظیم مانند گدازه‌های پشتاسر با ترکیب بازالتی و آندزیتی تا ریولیتی در زون تالش توسعه یافته‌اند (لوردکیپاندیز و همکاران، ۱۹۷۹؛ برون و همکاران،

۲۰۰۹). علاوه بر این، در بخش باختری ناحیه در قفقاز کوچک-ارسباران-اهر فعالیت‌های ولکانیکی سنوزویک (ائوسن) با توسعه مجموعه‌های کالک‌آلکانل (بازالت، آندزیت، داسیت و ریولیت) و تولید سنگ‌های آذرین مافیک، حدواسط تا اسیدی همراه بوده است (جمالی و همکاران، ۲۰۱۰). ترسیم نمودارهای دوتایی TiO_2 در برابر Zr و TiO_2 در برابر Al_2O_3 (شیر، ۱۹۹۲؛ هیاشی و همکاران، ۱۹۹۷) ارتباط سنگ مادر بازیگ تا حدواسط را برای رسوبات سازند زیور تایید می‌نماید (شکل ۸).

نمودارهای توابع تفکیکی (روسر و کورش، ۱۹۸۸) که برای تفکیک چهار منشا سنگ‌های آذرین اسیدی، مافیک، و حدواسط و رسوبات کوارتزی چرخه مجدد کاربرد دارد، نشان‌دهنده ارتباط ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه با سنگ منشاء آذرین مافیک تا حدواسط است (شکل ۹).

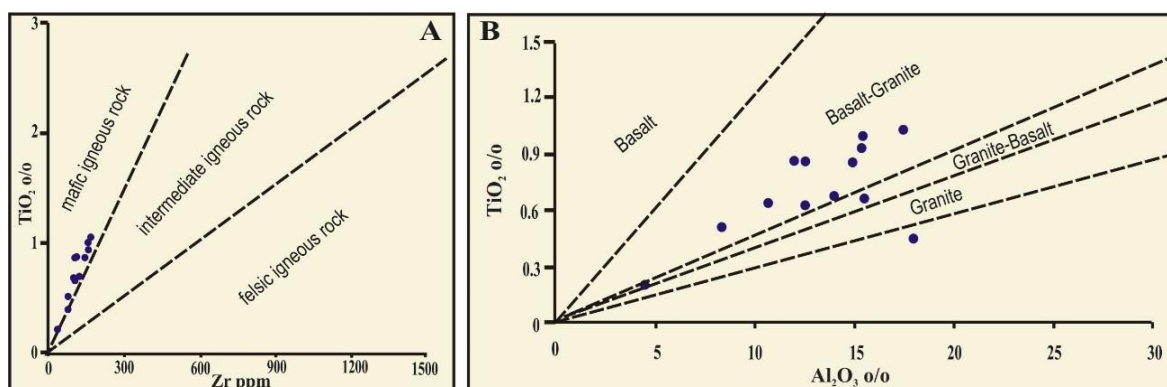
عناصر فرعی به ویژه عناصری که تحرک و انحلال‌پذیری کمتری در زمان عملکرد فرایندهای رسوبی دارند مانند Th, La, Zr از ابزارهای مهم در تفکیک سنگ والد رسوبات سیلیسی آواری است (مکلنن و همکاران، ۲۰۰۳؛ کیسیولی و همکاران، ۲۰۲۰؛ گائو و همکاران، ۲۰۲۰). ترسیم نمودارهای دوتایی عناصر فرعی La/Th در برابر Hf و Zr/Sc و Th/Sc که در تفکیک سنگ والد و تاثیر چرخه مجدد بر روی سنگ‌های رسوبی آواری کاربرد دارد (مک لنن و همکاران، ۱۹۹۳ و ۲۰۰۳؛ آجو و همکاران، ۲۰۲۱؛ لی و همکاران، ۲۰۲۲) ارتباط منشا سنگ مافیک و اسیدی را برای نمونه‌های مورد مطالعه آشکار می‌نماید (شکل ۱۰).

هوازگی ناحیه منشا

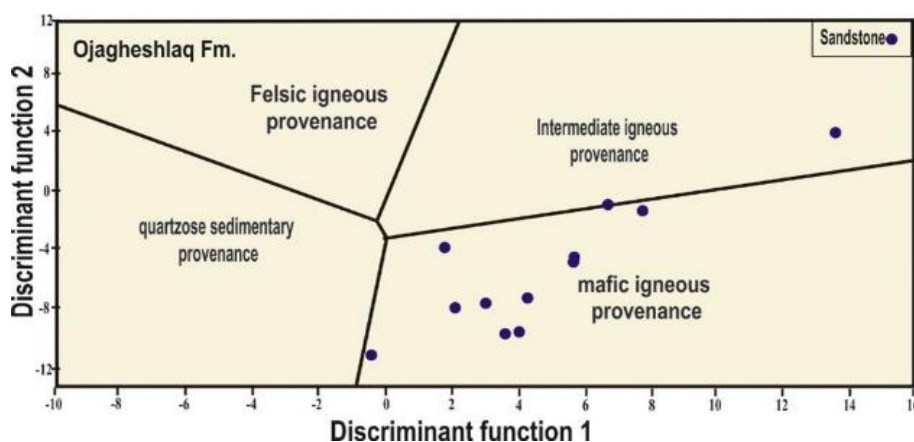
عواملی مانند ترکیب سنگ‌های خاستگاه، درجه هوازگی، شرایط حاکم بر محیط رسوب‌گذاری و دیاژنز ترکیب شیمیایی سنگ‌های رسوبی را کنترل می‌شود (زوادا، ۱۹۸۸). درجه هوازگی خود تحت تاثیر فاکتورهای شرایط تکتونیک، آب و هوا و مورفولوژی منطقه قرار دارند (زوادا، ۱۹۸۸). در مطالعه میزان هوازگی ناحیه خاستگاه معمولاً از اکسید آلومینیوم به عنوان عامل مقایسه‌کننده استفاده می‌شود که این امر به دلیل طبیعت تحرک‌ناپذیری این اکسید طی فرایندهای هوازگی، دیاژنز و دگرگونی است (بائولوز و همکاران، ۲۰۱۲). بنابراین مقایسه اکسید آلومینیوم در برابر سایر اکسیدها، اطلاعات مفیدی در زمینه سنگ مادر و فرایندهای دیاژنزی ارائه می‌کند

قشلاق (شکل ۶) که به دلیل وجود مقادیر بالای کانی‌های ناپایدار و میزان پایین کوارتز است، نشان‌دهنده درجه پایین هوازدگی و میزان اندک حمل و نقل بوده که باعث حفظ کانی‌های ناپایدار مانند کانی‌های فرومنیزیم و فلدسپار شده است (نوروزی و همکاران، ۲۰۱۴؛ اجاه، ۲۰۲۱). علاوه بر این، ارتباط مثبت بین $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ ، $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ و Al_2O_3 و SiO_2 و عدم ارتباط بین MgO و SiO_2 (شکل ۵) در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه، بیانگر تاثیر اندک فرایندهای هوازدگی است که منجر به حفظ کانی‌های ناپایدار حاوی Mg و Fe و در نتیجه کاهش بلوغ ترکیبی ماسه‌سنگ‌ها شده است. بطوریکه، روند افزایشی $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ ، $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ و Al_2O_3 و SiO_2 نشان می‌دهد که بخش عمده سیلیس به صورت فلدسپار و یا کانی‌های رسی و میکا (بیوتیت) حضور دارد چنان که وجود این کانی‌ها در مطالعات پتروگرافی و SEM تایید شده است (شکل‌های 3C, E, H و 4A-C).

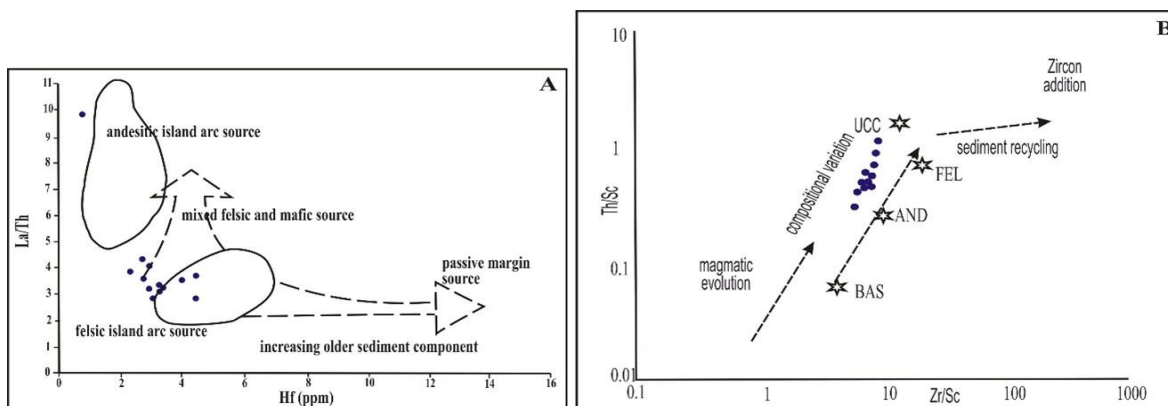
(کاردناس و همکاران، ۱۹۹۶). در این ارتباط، وجود روند افزایشی Al_2O_3 در برابر SiO_2 (شکل ۵) حاکی از فراوانی اندک کوارتز و فراوانی فلدسپار و سایر خرده‌های ناپایدار در پتروفاسیس‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه است (عثمان، ۱۹۹۶). همچنین در نمونه‌هایی که نسبت اکسیدهای $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ بالا است می‌تواند به دلیل حضور کانی‌هایی مانند فلدسپات پتاسیم‌دار (سانیدین و ارتوکلاز) و میکاهای بیوتیت و مسکوویت باشد و نمونه‌های با نسبت پایین این دو اکسید، میزان بالاتر فلدسپات سدیم‌دار مانند آلبیت و آنورتیت را نشان می‌دهد (ائاه و همکاران، ۲۰۰۶؛ ژانگ، ۲۰۱۳). روندهای مشاهده شده توسط نتایج پتروگرافی و آنالیز XRD تایید می‌شود بطوریکه فلدسپات‌های پلاژیوکلاز (آلبیت و آنورتیت) و فلدسپات‌های پتاسیم‌دار (سانیدین و ارتوکلاز) در نمونه‌های مورد مطالعه شناسایی شده است (شکل 2C, D و 3A-C). غنی‌شدگی Fe_2O_3 و CaO و فقیر شدگی SiO_2 در ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق



شکل ۸. A) نمودار دوتایی TiO_2 در برابر Zr و B) نمودار دوتایی Al_2O_3 در برابر TiO_2 برای ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق قشلاق (شیبر، ۱۹۹۲؛ هیاشی و همکاران، ۱۹۹۷)



شکل ۹. دیاگرام توابع تفکیکی برای ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق قشلاق (روسر و کورش، ۱۹۸۸)



شکل ۱۰. نمودار دوتایی La/Th در برابر Hf و نمودار دوتایی Zr/Sc در برابر Th/Sc (فلوئید و لوریج، ۱۹۸۷) که نشان‌دهنده سنگ مادر مافیک تا حدواسط جزایر قوسی برای نمونه‌های مورد مطالعه است (BAS= basalt, AND= andesite, FEL=felsic, UCC=upper continental crust).

و همکاران، ۲۰۱۰). فاکتور هوازگی شیمیایی برای ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق قشلاق بین ۳۱ تا ۵۸ (با میانگین ۴۸/۸) است که بیانگر درجه پایین هوازگی شیمیایی تحت شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک است (نسبیت و یانگ، ۱۹۸۲). وجود مقادیر فراوان ذرات ناپایدار مانند خرده‌های آتشفشانی، فلدسپارهای سدیم و کلسیم‌دار و کانی‌های سنگین مانند پیروکسن، هورنبلند و آپاتیت (بلوغ ترکیبی پایین) در ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق قشلاق تفسیر بالا را تایید می‌کند. موقعیت جغرافیایی دیرینه حوضه مغان در زمان ته‌نشینی سازند اجاق قشلاق (اوسن بالایی-الیگوسن زیرین) که در ۳۳-۳۵ درجه عرض شمالی قرار داشته است (پوپوف و همکاران، ۲۰۰۴)، شرایط آب و هوایی مناسب برای میزان اندک هوازگی را فراهم آورده است. ترسیم دیاگرام‌های SiO_2 در برابر $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ (سانتر و داتا، ۱۹۸۶) و $\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (نسبیت و یانگ، ۱۹۸۹؛ نسبیت و همکاران، ۱۹۹۷؛ یانگ و نسبیت، ۱۹۹۹؛ نسبیت، ۲۰۰۳) که برای تعیین شرایط اقلیم دیرینه و شدت هوازگی استفاده می‌شود، نشان‌دهنده وجود آب و هوای نیمه‌خشک و درجه هوازگی پایین برای رسوبات سازند اجاق قشلاق در اوسن بالایی-الیگوسن زیرین است (شکل ۱۱). در این رابطه قابل ذکر است که مراحل اولیه هوازگی منجر به تخلیه عناصر متحرک مانند Ca و Na (به علت تجزیه پلاژیوکلاز) و باقی ماندن عناصر غیرمتحرک مانند K و Al می‌گردد، بطوریکه نمونه‌ها به طرف ضلع راست مثلث (A-K) انتقال می‌یابند. با تشدید هوازگی، فلدسپات پتاسیم تجزیه شده و پتاسیم آزاد می‌گردد و

عناصر با شبکه بزرگ مانند Ba و Al در طی هوازگی شیمیایی، در سنگ‌ها باقی می‌مانند در صورتی که کاتیون‌های کوچک مانند Na و Ca انتقال می‌یابند (ناس و همکاران، ۲۰۰۰). این ویژگی‌ها سبب شده است که برای تعیین درجه هوازگی سنگ‌ها، نسبت اکسیدهای عناصر متحرک مانند CaO ، Na_2O ، K_2O و MgO نسبت به اکسید عناصر غیرمتحرک مانند TiO_2 ، Al_2O_3 و ZrO_2 مورد توجه قرار می‌گیرد (چیتلبرگ، ۱۹۹۱؛ جعفرزاده و همکاران، ۲۰۱۴). یکی از اندیس‌های مهم جهت تعیین میزان هوازگی رسوبات خاستگاه، فاکتور هوازگی شیمیایی^۱ است (نسبیت و یانگ، ۱۹۸۲؛ نوروزی و همکاران، ۲۰۱۳؛ جعفرزاده و همکاران، ۲۰۱۴؛ کیسیولی و همکاران، ۲۰۲۰؛ لی و همکاران، ۲۰۲۲). این اندیس توسط فرمول زیر محاسبه می‌شود:

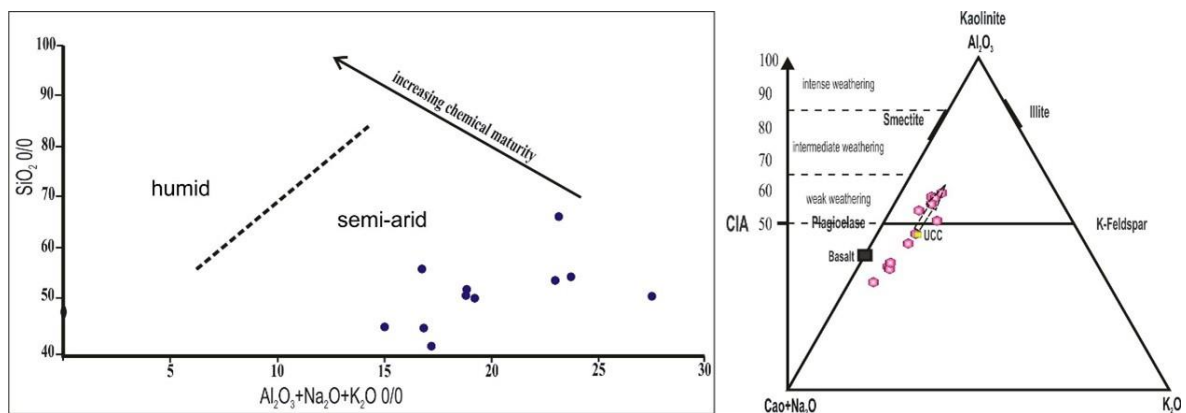
$$\text{CIA} = \left\{ \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}} \right\} * 100$$

اندیس هوازگی شیمیایی برای شیل‌ها بین ۷۰ تا ۷۵، برای کانی‌های کائولینیت و کلریت حدود ۱۰۰ (نسبیت و یانگ، ۱۹۸۲) و برای گرانیت‌های تازه و بدون هوازگی در حدود ۵۰ است (وایزر و یانگ، ۱۹۹۰). مقادیر بالای این فاکتور (بیشتر از ۷۵) نشان‌دهنده حذف کاتیون‌های ناپایدار (مانند پتاسیم، سدیم و کلسیم) نسبت به اجزاء پایدار (مانند تیتانیوم و آلومینیوم) تحت تاثیر هوازگی شدید در ناحیه منشأ رسوبات است. در مقابل، مقادیر پایین (کمتر از ۶۰) نشان‌دهنده وجود سنگ‌های والد غیرهوازده و درجه پایین با نبود دگرسانی شیمیایی و در یک شرایط اقلیمی سرد و خشک است (نسبیت و یانگ، ۱۹۸۲؛ آراجو

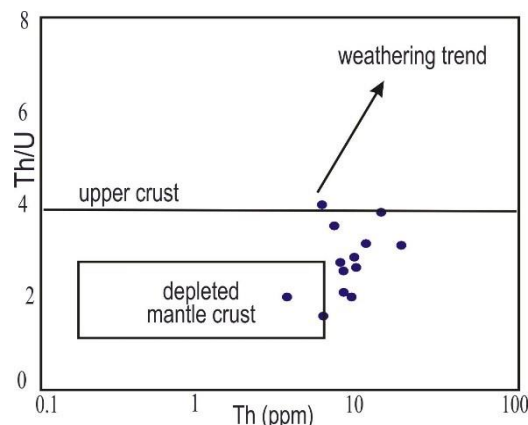
^۱ Chemical index of alteration (CIA)

شدن اورانیوم، U^{4+} غیرقابل انحلال به U^{6+} قابل انحلال تبدیل شده و بدین ترتیب باعث خروج اورانیوم و افزایش نسبت Th/U می‌شود. مقادیر Th/U بیشتر از ۴ در سنگ‌های رسوبی، می‌تواند نشان‌دهنده هوازدگی در منطقه خاستگاه و چرخه مجدد باشد (مک‌لنن و همکاران، ۱۹۹۳؛ جعفرزاده و همکاران، ۲۰۱۳؛ نوروزی و همکاران، ۲۰۱۳). چنان که در شکل ۱۲ مشخص است، ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه سازندهای اجاق قشلاق، مقادیر پایین‌تر از ۴ را نشان می‌دهند بنابراین می‌توان استنباط نمود که آن‌ها از سنگ مادرهایی مشتق شده‌اند که میزان هوازدگی کمی (یا عدم وجود چرخه مجدد) داشته‌اند.

از این رو ترکیب باقیمانده به سمت راست نمودار و به محدوده ایلیت نزدیک می‌شود که نشان‌دهنده شدت بالای هوازدگی است (پایکارای و همکاران، ۲۰۰۸). علاوه بر عناصر و اکسیدهای اصلی، عناصر فرعی مانند اورانیوم و توریوم می‌توانند در تعیین هوازدگی منطقه خاستگاه رسوبات مورد بررسی قرار گیرند (جعفرزاده و همکاران، ۲۰۱۳). در طی هوازدگی و چرخه مجدد، اورانیوم برخلاف توریوم، رفتار متحرک از خود نشان می‌دهد بطوریکه باعث افزایش نسبت Th/U می‌شود. بدین ترتیب هر چه درجه هوازدگی بالاتر باشد، میزان اورانیوم در نمونه‌ها کاهش خواهد یافت. در طی عملکرد فرایندهای هوازدگی با اکسید



شکل ۱۱. نمودار SiO_2 به $Al_2O_3+Na_2O+K_2O$ برای شرایط آب و هوایی (محدوده‌ها اقتباس از سانترو و داتا، ۱۹۸۶) و دیاگرام مثلثی $Al_2O_3-CaO+Na_2O-K_2O$ برای شدت هوازدگی (نسبیت و یانگ، ۱۹۸۴) برای ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق قشلاق



شکل ۱۲. دیاگرام نسبت Th/U در مقابل Th در ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق قشلاق (محدوده‌ها اقتباس از مک‌لنن و همکاران، ۱۹۹۳)

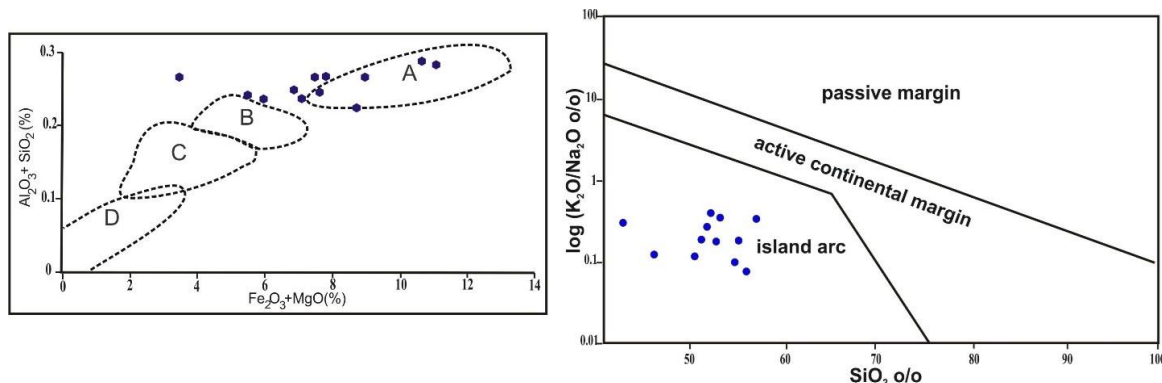
۲۰۱۳؛ جعفرزاده و همکاران، ۲۰۱۴؛ کیسیولی و همکاران، ۲۰۲۰؛ گائو و همکاران، ۲۰۲۰؛ ساجد و همکاران، ۲۰۲۰؛ لی و همکاران، ۲۰۲۲). به طور کلی ترکیب رسوبات، نرخ رسوب‌گذاری و دیاژنز تحت تاثیر شرایط تکتونیکی هستند (بهاتیا، ۱۹۸۳). در این ارتباط،

موقعیت تکتونیکی

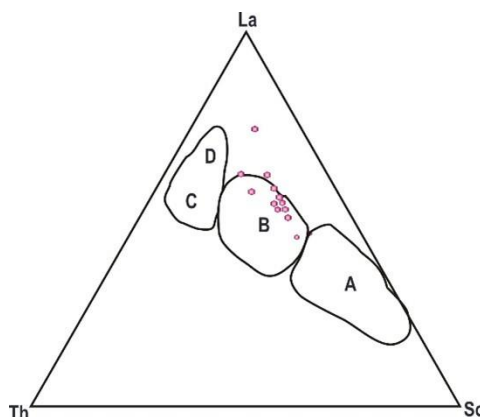
مطالعات گوناگون بر روی ماسه‌سنگ‌ها نشان می‌دهد که ترکیب ماسه‌سنگ‌ها ارتباط مناسبی با شرایط تکتونیکی ناحیه منشا رسوبات دارد (برای مثال: دیکینسون و همکاران، ۱۹۸۳؛ بهاتیا، ۱۹۸۵؛ نوروزی و همکاران،

(تیلور و مک‌لنن، ۱۹۸۵؛ جعفرزاده و همکاران، ۲۰۱۳؛ ساجد و همکاران، ۲۰۲۰؛ لی و همکاران، ۲۰۲۲). ویژگی خاص این عناصر یعنی عدم تحرک و زمان اقامت کم در آب اقیانوس و رودخانه باعث می‌شود این عناصر به بخش تخریبی رسوبات وارد شوند و در نتیجه در تفکیک مناطق خاستگاه و جایگاه‌های تکتونیکی نقش مهمی را ایفا نمایند. اسکاندیوم در سنگ‌های آذرین بازیک مقادیر بیشتری نشان می‌دهد در حالی که تورنیوم و لانتانیوم غالباً در سنگ‌های ریولیتی بیشتر هستند (مک‌لنن، ۱۹۸۹؛ مک‌لنن و همکاران، ۲۰۰۳). بر همین مبنای ترسیم دیاگرام مثلی La-Th-Sc برای ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق قشلاق نشان دهنده جزایر کمانی است (شکل ۱۴).

موقعیت تکتونیکی و سنگ‌منشا ماسه‌سنگ‌ها را می‌توان از غنی‌شدگی نسبی عناصری مانند CaO ، Fe_2O_3 و MgO (به عنوان متحرک‌ترین عناصر) و فقیرشدگی SiO_2 (به عنوان غیرمتحرک‌ترین عناصر) استنباط نمود (دیکینسون و همکاران، ۱۹۸۳؛ بهاتیا، ۱۹۸۵؛ روسر و کورش، ۱۹۸۶). در همین ارتباط، ترسیم نمودارهای نسبت $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ به $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ (روسر و کورش، ۱۹۸۶) و $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ به SiO_2 (بهاتیا، ۱۹۸۳) برای ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق قشلاق نشان‌دهنده موقعیت تکتونیکی جزایر قوسی اقیانوسی برای آن‌ها است (شکل ۱۳). استفاده از عناصر فرعی غیرمتحرک مانند لانتانیوم، تورنیوم، زیرکانیوم، هافنیوم، نیوبیوم، اسکاندیوم و تیتانیوم در مطالعات خاستگاه رسوبات سیلیسی-آواری کاربرد وسیعی دارد



شکل ۱۳. دیاگرام‌های موقعیت تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های سازند زبور در ناحیه مورد مطالعه (محدوده‌ها اقتباس از (روسر و کورش، ۱۹۸۶ و بهاتیا، ۱۹۸۳) (A: Oceanic island arc; B: continental island arc; C: active continental margin; D: passive margin).



شکل ۱۴. دیاگرام مثلی La-Th-Sc که نشان‌دهنده جایگاه تکتونیکی جزایر کمانی برای ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق قشلاق است (A: جزایر کمانی اقیانوسی، B: جزایر کمانی قاره‌ای، C: حاشیه فعال قاره‌ای، D: حاشیه غیرفعال قاره‌ای) (محدوده‌ها برگرفته از بهاتیا و کروک، ۱۹۸۶).

کمانی اقیانوسی و کمان ماگمایی فرسایش نیافته برای این نمونه‌ها است (جدول ۳) (بهاتیا و کروک، ۱۹۸۶). بررسی وقایع تکتونیکی و تاریخچه تکامل شرق حوضه پاراتتیس (دربدارنده حوضه مغان) نشان می‌دهد که در

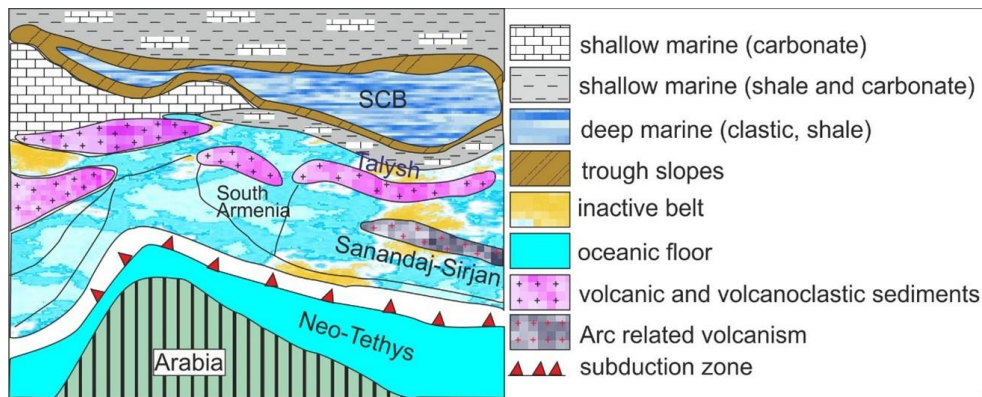
علاوه بر این محاسبه نسبت عناصر فرعی La/Th و Th/Sc برای ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه که برای وضعیت جایگاه تکتونیکی رسوبات استفاده می‌شود، به طور میانگین مقادیر 0.59 و 3.76 است که نشان‌دهنده جایگاه تکتونیکی جزایر

مجموعه‌های موجود در رشته‌کوه‌های تالش و قفقاز کوچک در جنوب) و از یک موقعیت جزایر کمانی اقیانوسی و تحت شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک با میزان هوازدگی نسبتاً پایین منشا یافته‌اند. فاصله نزدیک حمل و نقل رسوبات همراه با نرخ بالای تامین رسوب حاصل رشد پیوسته ارتفاعات جنوب حوضه مغان تحت حاکمیت شرایط اقلیمی نیمه‌خشک، منجر به تدفین سریع و حفظ شدگی ذرات ناپایدار و تشکیل ماسه‌سنگ‌های با بلوغ ترکیبی و بافتی پایین شده است. زمان ماندگاری اندک رسوبات در بستر رسوبی و تدفین سریع آن‌ها مانع تاثیر فرآیندهای رسوبی حاکم بر محیط رسوبی در افزایش بلوغ ترکیبی و بافتی ماسه‌سنگ‌ها شده است.

زمان ائوسن رخدادهای فرورانش منجر به ایجاد یک کمربند راندگی پشت قوسی در امتداد حوضه پاراتتیس و در شمال قوس ماگمایی شده است که از ناحیه Rhodopes تا شمال ایران گسترش داشته است (شکل ۱۵). در ائوسن بالایی^۱ حوضه‌های عمیق با امتداد خاوری- باختری با رسوبات پلاژیک از دریای سیاه تا Ciscaucasia و حوضه خزر و در جنوب در قفقاز میانی^۲ و حوضه کپه‌داغ گسترش یافته است. ارتباط بین دریای سیاه و حوضه‌های پاراتتیس در این زمان از طریق یک تنگه کم عمق به نام تراف لهستان- دانمارک برقرار بوده است (پوپوف و همکاران، ۲۰۰۴). در یک نگاه کلی می‌توان بیان داشت که رسوبات سیلیسی- آواری (ماسه‌سنگ) سازند اجاق‌قشلاق از سنگ‌های آذرین حدواسط تا بازیک (و تا حدی اسیدی)

جدول ۳. میزان عناصر فرعی در موقعیت‌های مختلف تکتونیکی و مقایسه آن با سازند زیور

Provenance type	Th/U	Th/Sc	Rb/Sr	La/Th	Tectonic setting
Undissected magmatic arc	2.1	0.15	0.05	4.26	Oceanic island arc (OIA)
Dissected magmatic arc	4.6	0.85	0.65	2.36	Continental island arc (CIA)
Uplifted basement	4.8	2.59	0.89	1.77	Active continental margin (ACM)
Craton interior	5.6	3.06	1.19	2.22	Passive continental margin (PM)
Ojagheshlaq Fm.	2.8	0.59	0.17	3.76	OIA



شکل ۱۵. وضعیت تکتونیکی ناحیه شرق پاراتتیس شامل حوضه خزر و نواحی تالش و قفقاز کوچک در زمان ائوسن (ریف‌های درون کمانی در نواحی تالش و قفقاز کوچک در این زمان ایجاد شده‌اند) (برگرفته از نیکیشین و همکاران، ۲۰۱۲).

پلاژیوکلاز (آلبیت، آنورتیت) و فلدسپات‌های پتاسیم‌دار (سانیدین و ارتوکلاز)، کانی‌های سنگین و بیوتیت هستند که عمدتاً به صورت زاویه‌دار تا نیمه‌زاویه‌دار مشاهده می‌شوند. تلفیق اطلاعات پتروگرافی، SEM، XRD و نمودارهای ژئوشیمیایی اکسیدهای اصلی مانند TiO_2 در برابر TiO_2 ، Zr در برابر Al_2O_3 و نمودارهای توابع تفکیکی و نمودارهای عناصر فرعی مانند La/Th در برابر Hf و

نتیجه‌گیری

ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق‌قشلاق (ائوسن بالایی-لیگوسن زیرین) در دشت مغان دارای ترکیب لیت‌آرنایت، لیت‌آرنایت فلدسپات‌دار، آرکوز خرده‌سنگ‌دار و به میزان کمتر آرکوز، لیتیک‌وک و فلدسپاتیک‌وک هستند. این ماسه‌سنگ‌ها دارای بلوغ بافتی و ترکیبی پایین هستند بطوریکه اجزای تشکیل‌دهنده شامل خرده‌های آتشفشانی،

² Transcaucasia

¹ Priabonian

- Adjo, F. B., Nude, P. M., Adissin, L. G., Bolarinwa, A. T., Anagonou, B (2021) Paleoweathering, Provenance and tectonic setting of gold-bearing neoproterozoic rocks from the Atacora Structural Unit, Pan-African Dahomeyide belt, northwestern Bénin. *Journal of African Earth Sciences*, 183.
- Amini, A (2006) Oligo-Miocene fluvial-dominated deltas on the shelf of the South Caspian Sea (Paratethys). *Facies*, 52: 579–597.
- Amini, A (2011) Use of feldspar grains in provenance determination and the study of transportation and depositional history, examples from central and NW Iran. *Geopersia*. 10.22059/JGEOPE.2011.23280
- Arajo, C. E. G., Pinéo, T. R. G., Caby, R., Costa, F. G., Cavalcante, J. C., Vasconcelos, A. M., Rodrigues, J. B (2010) Provenance of the Novo Oriente Group, southwestern Cear Central Domain, Borborema Province (NE-Brazil): a dismembered segment of a magma-poor passive margin or a restricted rift related basin? *Gondwana Research*, 18: 497–513.
- Armstrong-Altrin, J. S., Lee, Y. I., Verma, S. P., Ramasamy, S (2004) Geochemistry of sandstones from the upper Miocene Kudankulam Formation, Southern India: implications for provenance, weathering, and tectonic setting. *Journal of Sedimentary Research*, 74(2): 285-297.
- Bauluz, B., Yuste, A., Mayayo, M. J., Rodríguez-Navarro, A. B., González-López, J. M (2012) Microtexture and genesis of clay minerals from a turbiditic sequence in a Southern Pyrenees foreland basin (Jaca basin, Eocene). *Clay Minerals*, 47: 303-318.
- Bhatia, M. R (1983) Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *Journal of Geology*, 91: 611–627.
- Bhatia, M. R (1985) Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks: provenance and tectonic control. *Sedimentary Geology*, 45: 97–113.
- Brunet, M-F., Korotaev, M., Ershov, A., Nikishin, A (2003) The south Caspian basin: a review of its evolution from subsidence modelling. *Sedimentary Geology*, 156: 111–148.
- Brunet, M. F., Granath, J.V., Wilmsen, M (2009) South Caspian to Central Iran Basin: Introduction. In: Brunet MF, Granath JV, Wilmsen M (eds) *South Caspian to Central Iran Basin*: 312, 1–6.
- Cardenas, A., Girty, G. H., Hanson, A. D., Lahren, M. M (1996) Assessing differences in composition between low metamorphic grade mudstones and high-grade schists using log ratio techniques. *Journal of Geology*, 104: 279-293.
- Ciccioli, P. L., Limarino, C. O., Isbell, J. L., Taboada, A. C., Pagan, M. A., Gulbranson, E. L (و بعضاً اسیدی) برای ماسه‌سنگ‌های سازند اجاق‌قشلاق است. مچوریتی بافتی و ترکیبی پایین این ماسه‌سنگ‌ها و فراوانی خرده‌های آتشفشانی و نوع فلدسپات‌ها همراه با داده‌های ژئوشیمیایی نشان‌دهنده نشأت گرفتن این ماسه‌سنگ‌ها از یک ناحیه نزدیک به محیط ته‌نشینی و فاصل حمل و نقل اندک رسوبات است که مجموعه‌های آذرین بلندی‌های تالش و قفقاز کوچک در جنوب دشت مغان به عنوان سنگ والد مطرح می‌شوند. مجموعه عواملی مانند فاصله اندک حمل و نقل، فراوانی کانی‌های ناپایدار در سنگ والد (آذرین) در ناحیه تالش و رشد پیوسته ارتفاعات و وجود یک اقلیم نیمه‌خشک و درجه هوازدگی اندک رسوبات در ناحیه منشا موجب نرخ بالای تامین رسوبات، تدفین سریع و در نهایت حفظ‌شدگی ذرات ناپایدار و تشکیل ماسه‌سنگ‌های نابالغ به لحاظ ترکیبی و بافتی گردیده است.
- تشکر و قدردانی**
- نویسندگان از داوران محترم نشریه رسوب‌شناسی کاربردی که در جهت ارتقای کیفیت این مقاله، پیشنهادات ارزنده‌ای ارائه نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارند.
- منابع**
- اسدیان، ا (۱۹۹۴) نقشه زمین‌شناسی ایران، سری ۱:۱۰۰۰۰۰، شماره ۵۶۶۸، گرمی، سازمان زمین‌شناسی ایران، تهران.
- شرفی، م، موسوی‌حرمی، ر، جعفرزاده، م (۱۳۹۷) پتروگرافی و ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌های سازند جیرود در البرز مرکزی، کاربرد در برخاستگاه. مجله رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۶، شماره ۱۲، ص ۱–۲۴.
- فرزانه، ف (۱۳۸۶) چینه‌شناسی مصور ناحیه مغان. گزارش زمین‌شناسی شرکت ملی نفت ایران (مدیریت اکتشاف)، ۲۵۰ ص.
- نصیری، ی، زیرجانی‌زاده، ص، فروزنده، خ، تقدیسی نیکبخت، س، صداقت‌نیا، م (۱۳۹۹) پتروگرافی و ژئوشیمی ماسه سنگ‌های سازند پادها در برش آسو، بلوک لوت، خاور ایران مرکزی: کاربردی برای تحلیل خاستگاه. مجله رسوب شناسی کاربردی، دوره ۸، شماره ۱۶، ص ۱۲۲–۱۳۸.
- Adamia, S., Zakariadze, G., Chkhotua, T., Sadradze, N., Tsereteli, N., Chabukiani, A., Gventsadze, A (2011) Geology of the Caucasus: a review. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 20: 489–544.

- Ingersoll, R. V., Suczek, C. A (1979) Petrology and provenance of Neogene sand from Nicobar and Bengal fans. DSDP site 211 and 218. *Journal of Sedimentary Petrology*, 49: 1217–1228.
- Jafarzadeh, M., Hosseini-Barzi, M (2008) Petrography and geochemistry of Ahwaz Sandstone Member of Asmari Formation, Zagros, Iran: implications on provenance and tectonic setting. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 25: 247–260.
- Jafarzadeh, M., Moussavi Harami, R., Mahboubi, A (2013) Sandstone petrography and geochemistry of the Oligo-Miocene Zivah Formation, NW Iran: Implication on provenance and tectonic setting. *Sedimentary Basins Jena-Research, Modelling, Exploration*, 09-23.
- Jafarzadeh, M., Harami, R. M., Amini, A., Mahboubi, A., Farzaneh, F (2014a) Geochemical constraints on the provenance of Oligocene–Miocene siliciclastic deposits (Zivah Formation) of NW Iran: implications for the tectonic evolution of the Caucasus. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(10): 4245-42.
- Jafarzadeh, M., Harami, R. M., Friis, H., Amini, A., Mahboubi, A., Lenaz, D (2014b) 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.
- Jamali, H., Dilek, Y., Daliran, F., Yaghubpur, A., Mehrabi, B (2010) Metallogeny and tectonic evolution of the Cenozoic Ahar-Arasbaran volcanic belt, northern Iran. *Int Geol Rev*, 53: 608–630
- Katemananzanga, D., Gunter, C. J (2009) Lithostratigraphy, Sedimentology and Provenance of the Balfour Formation (Beaufort Group) in the Fort Beaufort-Alice Area Eastern Cape province, South Africa, *Acta Geologica Sinica*, 83: 902-916.
- Kazmin, V. G., Verzhbitskii, E. V (2011) Age and origin of the South Caspian Basin. *Oceanology*, 51: 31–140.
- Khanehbad, M., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., Nadjafi, M., Mahmudi Gharaie, M.H.M (2012) Geochemistry of Carboniferous Sandstone (Sardar Formation), East-Central Iran: Implication for Provenance and Tectonic setting. *Acta Geologica Sinica*, 86: 1200-1210.
- Li, P. J., Tian, J., Zhang, X., Liang, Q., Peng, M (2022) Geochemical characteristics and the constraints on paleoenvironment, provenance, and tectonic setting of Precambrian Xifangshan Formation in the northwestern Tarim Basin, NW China. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 208.
- Lordkipanidze, M. B., Zakariadze, G. S., Popolitov, E. I (1979) Volcanic evolution of the marginal and interarc basins. *Tectonophysics*, 57:71–83.
- (2020) Interpreting detrital modes and geochemistry of sandstones from the late Paleozoic Tepuel-Genoa Basin: Paleogeographic implications (Patagonia, Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*, 104: 102858.
- Cullers, R. L (2000) The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian–Permian age, Colorado, USA. Implications for provenance and metamorphic studies. *Lithos*, 51: 181-203.
- Dickinson, W. R., Beard, L. S., Brakenridge, G. R., Evjavec, J. L., Ferguson, R. C., Inman, K. F., Knepp, R. A., Lindberg, F. A., Ryberg, P. T (1983) Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geological Society of America Bulletin*, 94: 222-235.
- Dickinson, W. R., Suczek, C. A (1979) Plate tectonics and sandstone compositions. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 63: 2164-2182.
- Ejah, O. I (2021) Geochemistry of rocks (Late Cretaceous) in the Anambra Basin, SE Nigeria: insights into provenance, tectonic setting, and other palaeo-conditions. *Heliyon*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08110>.
- Floyd, P. A., Leveridge, B. E (1987) Tectonic environment of the Devonian mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones. *Journal of Geological Society of London*, 144: 531-542.
- Fotouhi, M (1973) A comprehensive review of geology and oil possibilities in Moghan area. National Iranian Oil Company, Geological Report, 348p.
- Gao, F., Pei, X., Li, R., Li, Z., Pei, L., Chen, Y., Wang, M., Zhao, Sh., Liu, Ch., Li, X (2020) Neoproterozoic tectonic evolution of the northwestern margin of the Yangtze Block (southwestern China): Evidence from sandstone geochemistry and detrital zircon U-Pb ages of the Hengdan Group. *Precambrian Research*, 344: 105737.
- Guest, B., Axen, G.J., Lam, P.S., Hassanzadeh, J (2006) Thermal histories from the central Alborz Mountains, northern Iran: implications for the spatial and temporal distribution of deformation in northern Iran. *Geological Society of America Bulletin*, 118 (11–12): 1507–1521.
- Herron, M. M (1988) Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Petrology*, 58: 820–829.
- Hiyashi, K., 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.

- Nesbitt, H. W., Young, G. M (1984) Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based upon thermodynamic and kinetic consideration. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48: 1523–1534.
- Nesbitt, H. W., Young, G. M (1996) Petrogenesis of sediments in the absence of chemical weathering: effects of abrasion and sorting on bulk composition and mineralogy. *Sedimentology*, 43: 341–358.
- Nikishin, A. M., Ziegler, P. A., Bolotov, S. N., Fokin, P. A (2012) Late Palaeozoic to Cenozoic evolution of the Black Sea-Southern Eastern Europe Region: A View from the Russian Platform. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 21 (5): 571–634.
- Nowrouzi, Z., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., Gharaie, M. H. M., Ghaemi, F (2014) Petrography and geochemistry of Silurian Niur sandstones, Derenjil Mountains, East Central Iran: implications for tectonic setting, provenance and weathering. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(7): 2793-2813. DOI 10.1007/s12517-013-0912-7.
- Osaie, S., Asiedu, D. K., Banoeng-Yakubo, B., Koeberl, C., Dampare, S. B (2006) Provenance and tectonic setting of late Proterozoic Buem sandstones of southeastern Ghana: Evidence from geochemistry and detrital modes. *Journal of African Earth Sciences*, 44: 85–96.
- Paikaray, S., Banerjee, S., Mukherji, S (2008) Geochemistry of shale from the Paleoproterozoic and Neoproterozoic Vindhyan Supergroup: Implications on provenance, tectonic and paleoweathering. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32: 34-48.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., Siever, R (1972) *Sand and sandstone*. Springer, New York, 618.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., Siever, R (1987) *Sand and Sandstone*. (2nd eds.), Berlin7 Springer-Verlag, 553p.
- Pittman, E. D (1970) Plagioclase feldspars as an indicator of provenance in sedimentary rocks.
- Popov, S. V., Ilyina, L. B., Paramonova, N. P., Goncharova, I. A (2004) Lithological-paleogeographic maps of Paratethys. *Cour. Forsch.Inst. Senckenb*, 250: 1–46.
- Potter, P. E (1978) Petrology and chemistry of modern big river sands. *Journal Geology*, 86:423–449.
- Qadrouh, A. N., Alajmi, M. S., Alotaibi, A. M., Baioumy, H., Almaleki, M. A., Alyousif, M. M., Salim, A. M. A., Bin Rogaib, A. M (2021) Mineralogical and geochemical imprints to determine the provenance, depositional environment, and tectonic setting of the Early Silurian source rock of the Qusaiba shale, Saudi Arabia. *Marine and Petroleum Geology*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2021.105131>.
- Luk Oil (2007) Geological model creation, delineation and estimation of prospects for Moghan and Lali blocks (Iran). Joint study project, NIOC Exploration/Luk Oil Company. Joint study project. Final Report to Contract No. IR 40-06-71-001-23/06.
- McCulloch, M. T., Wasserburg, G. J (1978) Sm–Nd and Rb–Sr chronology of continental crust formation. *Science*, 200: 1003–1011.
- McLennan, S. M (2001) Relationships between the trace element com-position of sedimentary rocks and upper continental crust. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 2(2): 10–21. DOI: 10.1029/2000GC000109.
- McLennan, S. M (1989) Rare earth elements in sedimentary rocks: Influence of provenance and sedimentary processes: *Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy*, 21: 169–200.
- McLennan, S. M., Bock, B., Hemming, S. R., Hurowitz, J. A., Lev, S. M., McDaniel, D. K (2003) The role of provenance and sedimentary processes in the geochemistry of sedimentary rocks, In: Lentz, D.R., (Eds.), *Geochemistry of Sediment and Sedimentary Rocks: Evolutionary Considerations to Mineral Deposit-Forming Environments*, Geological Association of Canada, *Geo text4*: 7-31.
- McLennan, S. M., Hemming, S., McDaniel, D. K., Hanson, G. N (1993) Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. In: Johnsson, M. J. and Basu, A. (Eds.), *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*. Geological Society of American Special Paper, 21–40.
- Mirshahani, M., Bahrani, H., Rashidi, M., Tarhandeh, E., Khani, B (2018) Organic geochemical evaluation of potential Cenozoic source rocks in the Moghan Basin, NW Iran: implications for hydrocarbon exploration. *Journal of Petroleum Geology*, 41(3): 393-410.
- Nath, B. N., Kurzendorf, H., Pluger, W. L (2000) Influence of provenance, weathering and sedimentary processes on the elemental ratio of the fine-grained fraction of the bed load sediments from the Wembanad Lack and the adjoining continental shelf, southwest coast of India. *Journal of Sedimentary Research*, 70: 1081-1094.
- Nesbitt, H. W (2003) Petrogenesis of siliciclastic sediments and sedimentary rocks. In: Lenz, D. R. (Eds.), *Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks*, *Geotext4*. Geological Association of Canada, Newfoundland, 39–51.
- Nesbitt, H. W., Young, G. M (1982) Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299: 715–717.

- Zhang, Y., Pe-Piper, G., Piper, D. J. W (2013) Sediment geochemistry as a provenance indicator: Unravelling the cryptic signatures of polycyclic sources, climate change, tectonism and volcanism. *Sedimentology*, 61: 383-410.
- Roser, B. P., Korsch, R. J (1986) Determination of tectonic setting of sandstone–mudstone suites using SiO₂ and K₂O/Na₂O ratio: *Journal of Geology*, 94: 635–650.
- Roser, B. P., Korsch, R. J (1988) Provenance signatures of sandstone– mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chemistry Geology*, 67: 119–139.
- Sajid, Z., SuhailiIsmail, M., Hanif, T (2020) Mineralogical and geochemical imprints to determine the provenance, depositional history and tectonic settings of Triassic turbidites in the Semanggol and Semantan Basins, Peninsular Malaysia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 203. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2020.104539>.
- Schieber, J (1992) A combined petrographical-geochemical provenance study of the Newland Formation, mid-Proterozoic of Montana. *Geological Magazine*, 129: 223–237.
- Shafaii-Moghadam, H., Li X., Santos, J. F., Stern, R. J., Griffin, W. L., Ghorbani, Gh., Sarebani, N (2017) Neoproterozoic magmatic flare-up along the N. margin of Gondwana: The Taknar complex, NE Iran. *Earth and Planetary Science Letters*, 474: 83–96.
- Suttner, L. J., Dutta, P. K (1986) Alluvial sandstone composition and paleoclimate, I. Framework mineralogy. *Journal of Sedimentary Petrology*, 56: 329–345.
- Terry, R. D., Chilingar, G. V (1955) Summary of Concerning some additional aids in studying sedimentary formations, by M. S. Shvetsov: *Journal of Sedimentary Research*, 25: 229-234.
- Trevena, A. S., Nash, W. P (1981) An electron microprobe study of detrital feldspar. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51(1): 137–150.
- Tyrrell, S., Souders, A. K., Haughton, P. D. W., Daly, J. S., Shannon, P.M (2010) Sedimentology, sandstone provenance and palaeodrainage on the eastern Rockall Basin margin: evidence from the Pb isotopic composition of detrital K-feldspar. *Geological Society, London, Petroleum Geology Conference series*, 7: 937–952.
- Wang, H., Jia, X., Xiao, J., Shi, X (2012) Provenance and Geochemical characteristics of the silt and clay fraction in the Taklamakan Dessert, Northwestern China. *Arid Land Research and Management*, 26(2): 85-102.
- Willm, C. H., Basseur, R., Revoo, G., Marchand, J., Rochet, J., Hindermeyer, J (1961) Geological Report No. 235 on Moghan area. IFP mission in Azerbaijan, National Iranian Oil Company.
- Zand-Moghadam, H., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., Rahimi, B (2013) Petrography and geochemistry of the Early-Middle Devonian sandstones of the Padeha Formation in the north of Kerman, SE Iran. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología*, 83: 2013.