

## ژئوشیمی عناصر کمیاب و نادر خاکی نهشته‌های سیلیسی-آواری قرمز کرتاسه زیرین در شمال شرق اصفهان: کاربرد در تعیین خاستگاه و سنگ منشأ

محمدعلی صالحی<sup>۱\*</sup> و زهرا مزروعی‌سبدانی<sup>۲</sup>

۱- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اصفهان، اصفهان

۲- کارشناس ارشد زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اصفهان، اصفهان

نویسنده مسئول: [ma.salehi@sci.ui.ac.ir](mailto:ma.salehi@sci.ui.ac.ir)

نوع مقاله: پژوهشی

پذیرش: ۹۹/۲/۲۲

دریافت: ۹۸/۱۲/۱۴

### چکیده

مطالعه خاستگاه با هدف تعیین جایگاه زمین‌ساختی، نوع سنگ منشأ و آب و هوای ناحیه منشأ به کمک بررسی‌های آنالیز ژئوشیمیایی بر روی ماسه‌سنگ‌های کرتاسه زیرین در برش کوه بجاره در شمال شرق اصفهان انجام گرفته است. این مطالعات شامل آنالیز عناصر فرعی و نادر خاکی می‌باشد که با نتایج حاصل از بررسی‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی نمونه‌های مشابه در مطالعات قبلی مقایسه گردیده است. مطالعات ژئوشیمیایی بر روی ماسه‌سنگ‌های کرتاسه‌ی زیرین بیانگر قرارگیری داده‌ها در محدوده تکتونیکی حاشیه قاره‌ای غیرفعال و جزایر قوسی قاره‌ای می‌باشد. هم‌چنین از نظر بررسی نوع سنگ منشأ نشان‌دهنده محدوده منشأ مخلوط اسیدی (فلسیک و آندزیتی) و بازی است. بررسی هوازدگی نهشته‌های مورد مطالعه تایید کننده میزان هوازدگی بالا در ناحیه منشأ می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** ژئوشیمی، کرتاسه زیرین، خاستگاه، برش کوه بجاره، شمال شرق اصفهان

### پیشگفتار

زون سنندج- سیرجان و ایران مرکزی از جمله پهنه‌های ساختاری ایران است. این مناطق در زمان مزوزوئیک به منطقه‌ای پرتحرک و پویا تبدیل شده‌اند؛ به طوری که شواهد فرسایش و عدم رسوب‌گذاری گسترده‌ای در زمان تریاس پسین تا کرتاسه پیشین در این ناحیه وجود داشته است (آقائباتی، ۱۳۸۵؛ ویلمسن و همکاران، ۲۰۱۵). بررسی منشأ رسوبات آواری، جایگاه تکتونیکی و تغییرات آب و هوا در زمان ته‌نشست کرتاسه زیرین می‌تواند به شناخت بهتر حوضه رسوب‌گذاری دیرینه منتهی‌الیه بخش غربی ایران مرکزی در طی این بازه زمانی کمک نماید. هم‌چنین ترکیب نهشته‌های آواری کرتاسه زیرین نیز می‌تواند بر تاریخچه پس از رسوب‌گذاری (نوع و روند فرایندهای دیاژنزی) اثرگذار باشد (مزروعی‌سبدانی و همکاران، ۱۳۹۶).

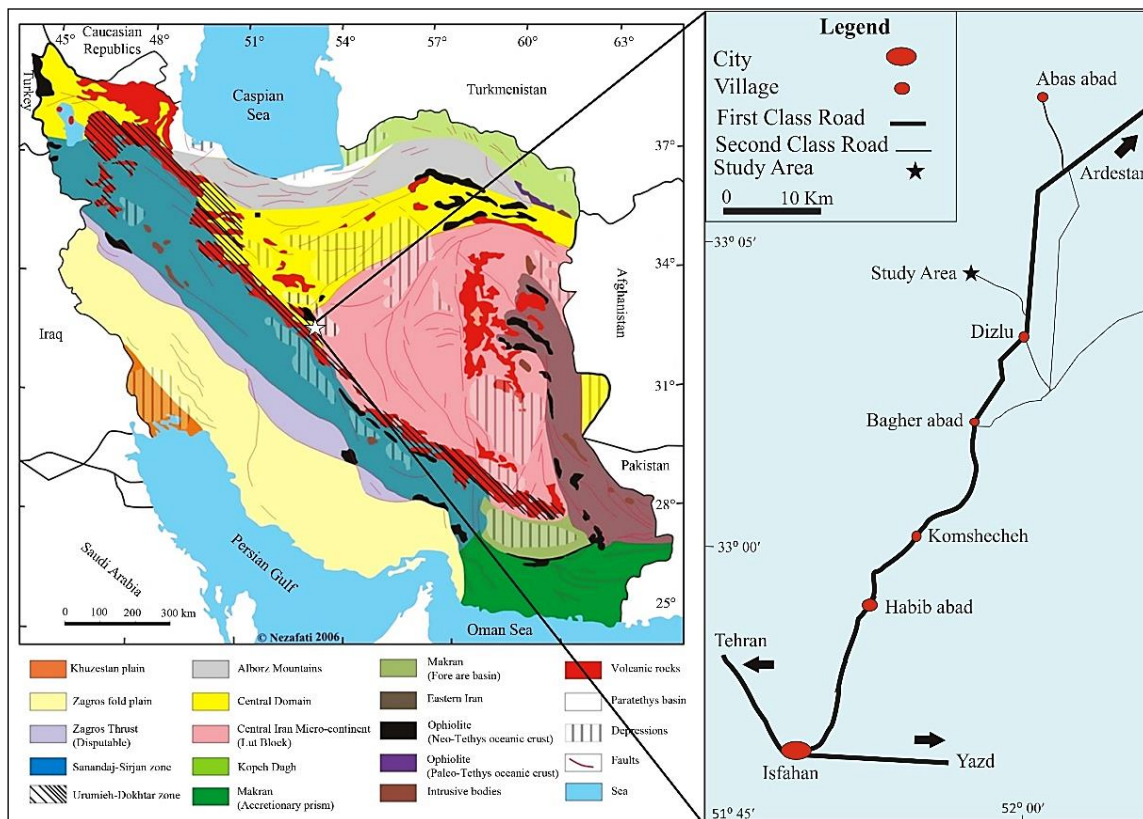
هدف این پژوهش بررسی خاستگاه توالی قرمز رنگ آواری کرتاسه زیرین (واحد K1) بر اساس آنالیز ژئوشیمیایی عناصر کمیاب، نادر خاکی و نادر خاکی می‌باشد.

### موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات ساختاری در لبه شمال‌شرقی سنندج- سیرجان و حاشیه غربی صفحه ایران مرکزی قرار گرفته است (شکل ۱). برش مورد مطالعه در فاصله ۴۷ کیلومتری شمال‌شرق اصفهان در نزدیکی روستای دیزلو و در دامنه جنوبی کوه بجاره قرار دارد. مختصات جغرافیایی برش مورد مطالعه بدین شرح می‌باشد:  $E 51^{\circ}57'34.9''$  و  $N 33^{\circ}05'33.7''$  (شکل ۱). مرز پایینی برش مورد نظر توسط بخش قدیر سازند نایبند پوشیده شده و مرز بالایی با ناپیوستگی فرسایشی در زیر کنگلومرای قاعده کرتاسه قرار گرفته است (شکل A۲) (منانی و یزدی، ۱۳۹۴). لازم به ذکر است واحدهای آواری کرتاسه (واحد K1) توسط توالی‌های کربناته واحد K2 به صورت پیوسته و تدریجی پوشیده می‌شود (شکل ۲ B)، واحدهای آواری اغلب به رنگ قرمز مشاهده می‌شوند (شکل ۲ C). کرتاسه زیرین در برخی از نقاط ایران مرکزی نام‌گذاری نشده‌اند (آقائباتی، ۱۳۸۵). البته بر طبق مطالعات جدیدتر کرتاسه زیرین ایران مرکزی معادل با سازندهای سنگستان، تفت و دره زنجیر است

یزد از ایران مرکزی را معادل با سازندهای چاه پلنگ،  
نقره، شاه کوه و بازیاب می‌دانند.

(اسلجینت وایت و ویلمسن، ۲۰۱۴). هم‌چنین ویلمسن و  
همکاران (۲۰۱۵) توالی رسوبی کرتاسه زیرین در بلوک



شکل ۱. نقشه زون‌های ساختمانی ایران (اقتباس از آقاباتی، ۱۳۸۵) و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه (اقتباس با تغییراتی از اطلس راه‌های ایران، ۱۳۷۴)

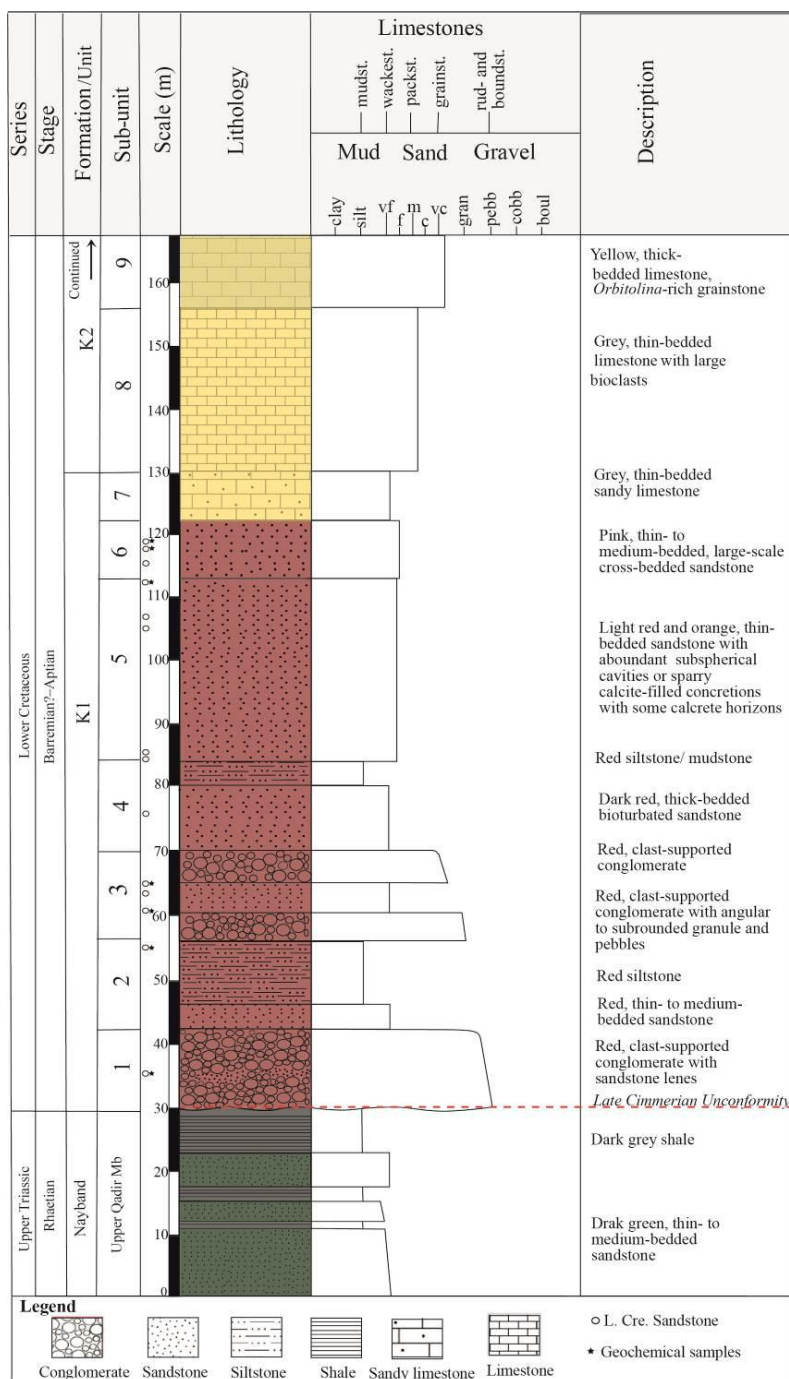


شکل ۱.۲: تفکیک واحدهای چین‌شده‌شناسی بر روی تصویر صحرایی در برش مورد مطالعه، B: نمای کلی برش مورد مطالعه، C: نمای نزدیک تر ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه

# روش مطالعه

به منظور دستیابی به هدف مطالعه برش سطح‌الارضی به ضخامت ۱۳۷ متر توسط ژاکوب اندازه‌گیری و نمونه‌برداری به روش سیستماتیک انجام گرفته است (شکل ۳) (تاکر، ۲۰۰۱). آماده‌سازی نمونه‌ها شامل گذر حدود ۲۰ گرم از هر نمونه از غربال با مش ۲۰۰ در کارگاه تهیه پودر دانشگاه اصفهان می‌باشد. در بررسی انجام شده از نتایج آنالیز تعداد ۷ نمونه ماسه‌سنگ که در

مطالعه قبلی توسط دستگاه *XRF* (مدل *S4 PIONEER*) در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه اصفهان مورد آزمایش قرار گرفته است استفاده گردید (صالحی و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین تعداد ۷ نمونه ماسه‌سنگ دانه‌ریز پودر تهیه شده برای انجام آنالیز ژئوشیمیایی توسط دستگاه *ICP-MS* به آزمایشگاه اکی (*Acme*) در کشور کانادا ارسال شده است (جدول ۱).



شکل ۳. ستون سنگ‌چینه‌نگاری برش مورد مطالعه به همراه واحدهای چینه‌شناسی تفکیک شده

جدول ۱. داده‌های حاصل از آنالیز ژئوشیمیایی درصد اکسیدهای عناصر اصلی (صالحی و همکاران، ۲۰۱۸)، عناصر کمیاب و نادر خاکی

| Sample No. | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO   | CaO   | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | TiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | LOI   | Zr    | Pr   | CIA   |
|------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------------------|------------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|------|-------|-------|------|-------|
| B36        | 83.92            | 8.07                           | 2.42                           | 0.31  | 1.69  | 0                 | 2.28             | 0.356            | 0.083                         | 0.023                          | 1.08 | 0.714 | 636.5 | 5.17 | 77.91 |
| B57        | 91.27            | 3.52                           | 0.519                          | 0.11  | 0.999 | 0.15              | 0.546            | 0.13             | 0                             | 0.022                          | 0.23 | 0.807 | 124.9 | 1.79 | 80.66 |
| B61        | 87.15            | 7.66                           | 0.639                          | 0.35  | 0.897 | 0.14              | 1.82             | 0.27             | 0.068                         | 0                              | 0.28 | 0.714 | 281.3 | 4.32 | 74.48 |
| B66        | 91.93            | 4.65                           | 0.53                           | 0.247 | 0.338 | 0.061             | 1.2              | 0.228            | 0                             | 0.021                          | 0.23 | 0.426 | 222.6 | 2.99 | 77.86 |
| B112       | 95.36            | 2.5                            | 0.662                          | 0.087 | 0.181 | 0                 | 0.522            | 0.204            | 00                            | 0.034                          | 0.29 | 0.268 | 229.6 | 2.76 | 82.72 |
| B117       | 94.46            | 3.11                           | 0.426                          | 0.016 | 0.384 | 0.088             | 0.604            | 0.143            | 0.032                         | 0.016                          | 0.19 | 0.394 | 119.6 | 1.94 | 80.64 |
| B119       | 94.13            | 3.14                           | 0.517                          | 0.229 | 0.926 | 0.54              | 0.767            | 0.162            | 0.026                         | 0.038                          | 0.23 | 0     | 109.4 | 2.45 | 78.2  |
| Sample No. | Ba               | Ce                             | Co                             | Cs    | Dy    | Er                | Eu               | Ga               | Gd                            | Hf                             | Ho   | La    | Lu    | Nb   | ICV   |
| B36        | 131              | 47.4                           | 1.9                            | 6     | 3.02  | 1.91              | 0.78             | 7.2              | 3.58                          | 15.3                           | 0.63 | 24.7  | 0.33  | 7.1  | 0.59  |
| B57        | 48               | 17.3                           | 7                              | 1.5   | 0.74  | 0.53              | 0.17             | 0.6              | 0.72                          | 2.8                            | 0.16 | 9.1   | 0.09  | 2.3  | 0.54  |
| B61        | 75               | 42.6                           | 6.1                            | 4.2   | 1.34  | 0.96              | 0.48             | 5                | 1.83                          | 7.1                            | 0.3  | 21    | 0.2   | 6.3  | 0.29  |
| B66        | 54               | 28.3                           | 4.4                            | 3.4   | 1.17  | 0.82              | 0.32             | 2                | 1.34                          | 5.6                            | 0.26 | 14.4  | 0.14  | 3.9  | 0.03  |
| B112       | 35               | 25.4                           | 8.2                            | 0.7   | 1.27  | 0.86              | 0.31             | 1.1              | 1.29                          | 5.5                            | 0.29 | 13.3  | 0.14  | 4.2  | 0.45  |
| B117       | 36               | 18.9                           | 5.9                            | 0.7   | 0.74  | 0.55              | 0.2              | 0.6              | 0.87                          | 2.9                            | 0.15 | 9.6   | 0.08  | 2.6  | 0.38  |
| B119       | 27               | 22.8                           | 8.4                            | 0.9   | 0.93  | 0.52              | 0.29             | 0.7              | 1.13                          | 2.8                            | 0.17 | 11.3  | 0.09  | 2.9  | 0.6   |
| Sample No. | Rb               | Sm                             | Sn                             | Sr    | Ta    | Tb                | Th               | Tm               | U                             | V                              | W    | Y     | Yb    | Nd   |       |
| B36        | 72.6             | 3.66                           | 1                              | 101.8 | 0.6   | 0.54              | 7.7              | 0.27             | 2                             | 48                             | 1.1  | 15.3  | 1.96  | 19.8 |       |
| B57        | 14.9             | 1.02                           | <1                             | 45.4  | 0.1   | 0.11              | 1.8              | 0.08             | 0.6                           | 13                             | 1    | 4.5   | 0.59  | 6.5  |       |
| B61        | 52.5             | 2.79                           | 2                              | 75.7  | 0.5   | 0.22              | 5.7              | 0.16             | 1.6                           | 37                             | 1.1  | 8     | 1.17  | 16.4 |       |
| B66        | 32.7             | 1.84                           | <1                             | 103.8 | 0.3   | 0.19              | 3.4              | 0.14             | 0.8                           | 22                             | 1    | 6.7   | 0.91  | 10.8 |       |
| B112       | 14.5             | 1.61                           | 1                              | 23.1  | 0.2   | 0.2               | 2.1              | 0.11             | 0.7                           | 16                             | 1.6  | 7.5   | 0.9   | 9.8  |       |
| B117       | 15.2             | 1.28                           | <1                             | 43.4  | 0.1   | 0.12              | 2.1              | 0.07             | 0.6                           | 14                             | 1.3  | 4.4   | 0.56  | 7.4  |       |
| B119       | 14.4             | 1.63                           | <1                             | 39.5  | 0.2   | 0.16              | 1.8              | 0.08             | 0.6                           | 15                             | 1    | 4.7   | 0.53  | 9    |       |

## پتروگرافی

مطالعات پتروگرافی بر روی ماسه‌سنگ‌های توالی آواری قرمز کرتاسه پایینی پتروفاسیس نوع سابلیت‌آرنایت را مشخص می‌کند و در تقسیم‌بندی جزئی‌تر به دو نوع پتروفاسیس ساب چرت‌آرنایت و ساب فیلارنایت تفکیک شده است (مزروعی‌سبدانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ صالحی و همکاران، ۲۰۱۸). این ماسه‌سنگ‌ها بطور کلی دارای اندازه دانه‌ریز تا بسیار ریز و جورشدگی نسبتاً خوب و بالغ هستند.

## ژئوشیمی

ژئوشیمی سنگ‌های رسوبی تابع پیچیده‌ای از متغیرهایی مانند ترکیب سنگ منشأ، هوازدگی، حمل، جورشدگی فیزیکی، تمرکز کانی‌های سنگین و دیاژنز است (مکلنن و همکاران، ۱۹۹۰؛ بوک و همکاران، ۱۹۹۴؛ کندی و همکاران، ۱۹۹۵). بنابراین می‌توان از ترکیب شیمیایی کلی سنگ‌های رسوبی آواری به عنوان ابزاری موثر جهت شناخت شاخص‌هایی که خواص رسوبات را در طی رسوب‌گذاری و بعد از آن کنترل می‌کنند استفاده نمود (مکلنن و همکاران، ۱۹۹۰؛ بوک و همکاران، ۱۹۹۴؛

کندی و همکاران، ۱۹۹۵). عناصر کمیاب نیز برای تحلیل منشأ رسوبات بسیار مناسب هستند؛ زیرا این عناصر نامحلول و معمولاً تحت شرایط سطحی بی‌تحرك هستند (مکلنن و همکاران، ۱۹۸۳) بنابراین، عناصر کمیاب نشانه‌های آشکاری را از منشأ و موقعیت زمین‌ساختی سنگ‌های سیلیسی آواری مورد مطالعه در اختیار قرار می‌دهند (مکلنن و همکاران، ۱۹۹۰). عناصر کمیاب مانند  $Zr$  و  $Nb$ ،  $Ti$ ،  $Sc$ ،  $Th$  به عنوان ابزاری مفید در تفکیک محیط‌های زمین‌ساختی به شمار می‌روند (تیلور و مکلنن، ۱۹۸۵؛ باهاتیا و کروک، ۱۹۸۶).

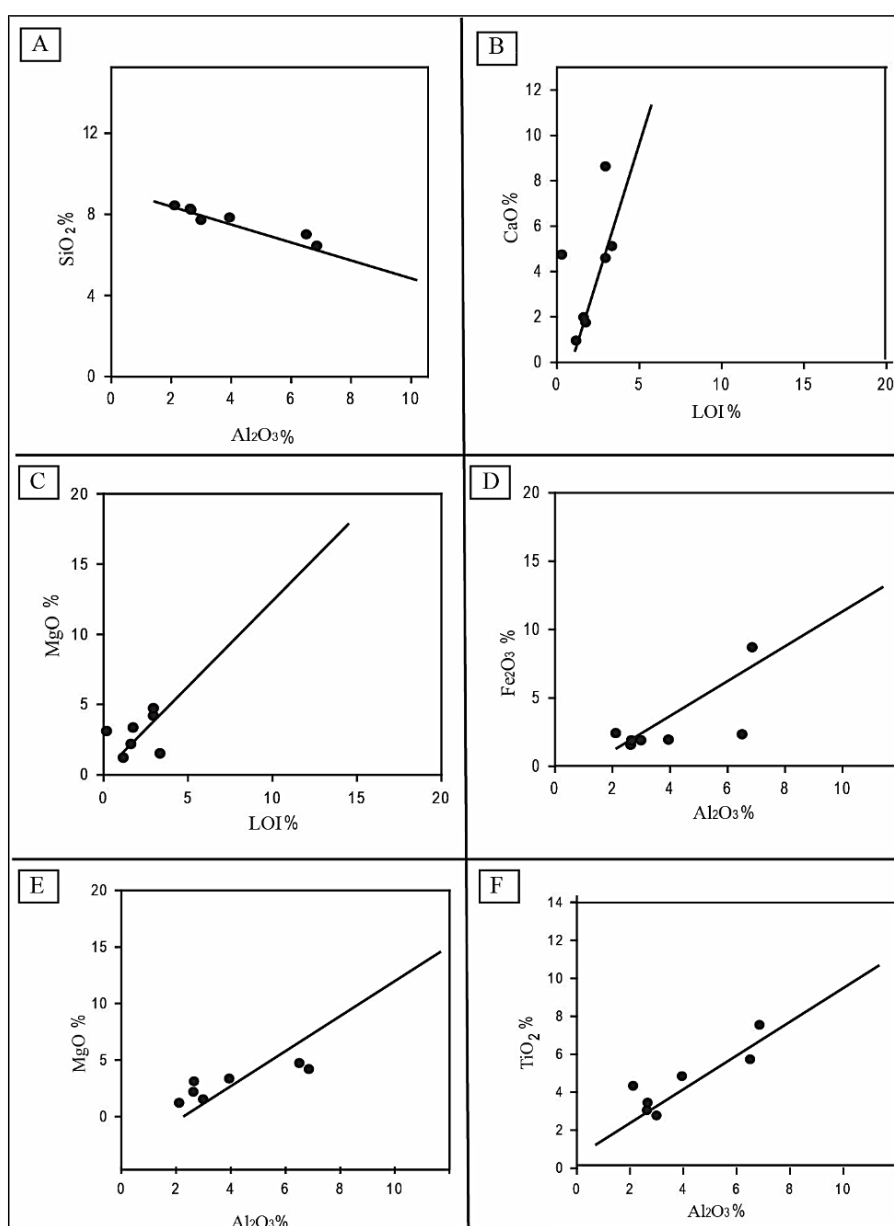
## نتایج

### توزیع عناصر اصلی

نسبت  $SiO_2/Al_2O_3$  بیش‌تر از ۶ تا ۵ در سنگ‌های رسوبی، نشان‌دهنده بلوغ رسوبی بالا است (روسر و همکاران، ۱۹۹۶). میانگین ذکر شده در نمونه‌ها ۲۳/۶۹ می‌باشد که نشان‌دهنده بلوغ رسوبی بالا می‌باشد (شکل ۴). میزان  $CaO$  و  $MgO$  اغلب از دانه‌های کربناته و سیمان‌های آهکی و دولومیتی منشأ می‌گیرند و ارتباط کاملاً مثبتی با میزان  $LOI$  دارند (شکل ۴ C-B). ارتباط

عبارت دیگر چقدر از این ترکیب دور شده است. با این روش می‌توان غنی‌شدگی و یا تهی‌شدگی نامحسوس برخی اکسیدهای خاص ( $FeO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $SiO_2$ ),  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $MnO$  را نشان داد (رولینسون، ۱۹۹۳). بهنجارسازی نمونه‌های مورد مطالعه از نظر مقایسه عناصر کمیاب نشان‌دهنده کاهش میزان همه عناصر به جز زیرکن می‌باشد (شکل ۶ A). مقایسه نمونه‌ها از نظر عناصر نادرخاکی با کندریت بیانگر بالا بودن میزان لانتانیم نسبت به سایر عناصر می‌باشد (شکل ۶ B).

مثبت بین  $Al_2O_3$  و  $Fe_2O_3$  همچنین  $Al_2O_3$  و  $MgO$  بیانگر حضور سیمان‌های دیاژنتیکی دولومیتی و هماتیتی (فدو و همکاران، ۱۹۹۶) می‌باشد (شکل E-۴). ارتباط مثبت بین  $Al_2O_3$  و  $TiO_2$  بیانگر همراهی این عنصر با فیلسیلیکات‌ها و به طور خاص ایلیت می‌باشد (دابارد، ۱۹۹۰) (شکل F-۴). ارتباط منفی بین  $SiO_2$  با اکسید عناصر اصلی از قبیل  $Al_2O_3$ ,  $P_2O_5$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Fe_2O_3$ ، به دلیل وجود زیاد سیلیس و میزان کم فلدسپات، میکا و کانی‌های رسی است (شکل A-۵). با استفاده از نمودار بهنجارسازی می‌توان مشخص کرد که رسوب تا چه اندازه با ترکیب پوسته قاره‌ای هم‌خوانی دارد یا به



شکل ۴. A: ارتباط منفی بین  $SiO_2$  و  $Al_2O_3$ ; B: ارتباط مثبت میزان  $CaO$  و  $LOI$ ; C: ارتباط مثبت  $MgO$  و  $LOI$ ; D: ارتباط مثبت بین  $Al_2O_3$  و  $Fe_2O_3$ ; E: ارتباط مثبت بین  $Al_2O_3$  و  $MgO$ ; F: ارتباط مثبت بین  $Al_2O_3$  و  $TiO_2$

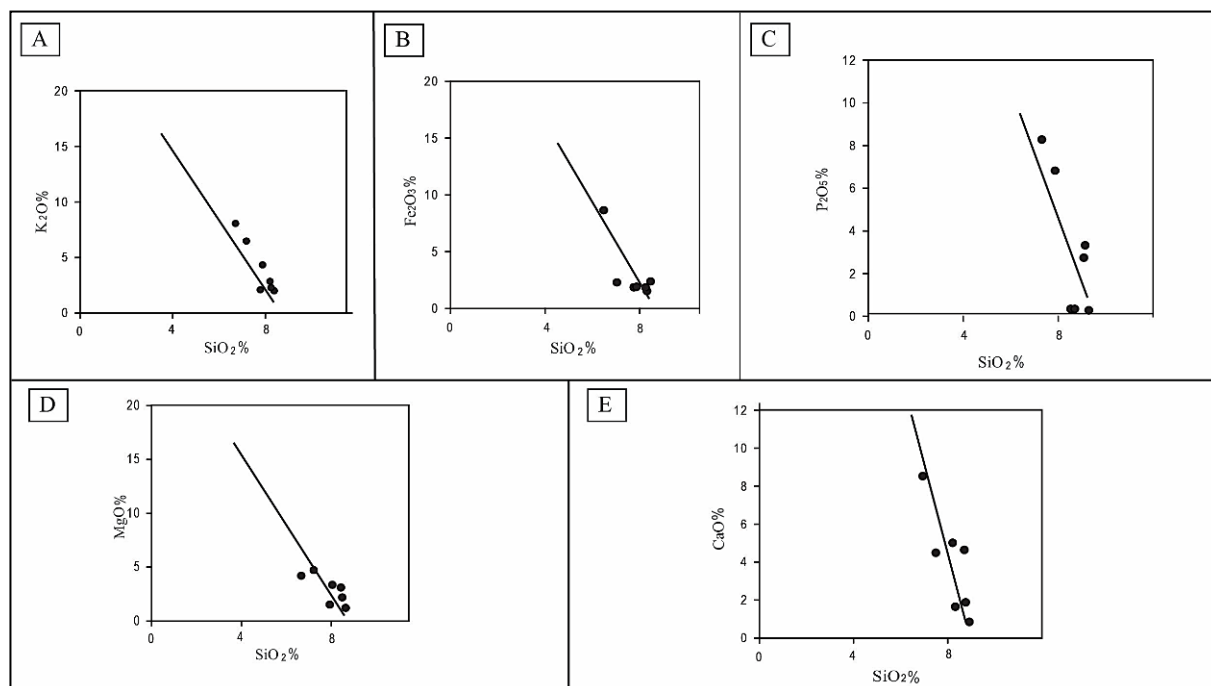
# بحث

مطالعات خاستگاه سنگ‌های سیلیسی آواری با هدف بازسازی زمین‌شناسی منطقه‌ی منشأ، فرآیندهای حمل و نقل از محل منشأ تا مکان ته‌نشست، تکتونیک و آب و هوای گذشته انجام می‌شود (اینگرسول، ۱۹۸۸). ترکیب رسوبات آواری ابتدا توسط ترکیب سنگ‌های منشأ کنترل می‌شود ولی عوامل دیگر نظیر آب و هوا، هوازدگی، فرسایش، توپوگرافی، طول مسافت حمل و نقل، نوع رسوب‌گذاری، دفن و دیاژنز می‌تواند نشانه‌های سنگ منشأ اولیه را تا حدودی از بین ببرد (اینگرسول، ۱۹۸۸). به طور کلی مطالعه خاستگاه دربرگیرنده بررسی همه عوامل مرتبط با تولید رسوب است (ولتج و ون عیناتن، ۲۰۰۴). در این مطالعه، آنالیز خاستگاه با سه هدف تعیین جایگاه تکتونیکی، نوع سنگ منشأ، هوازدگی و آب و هوای ناحیه منشأ انجام گرفته است.

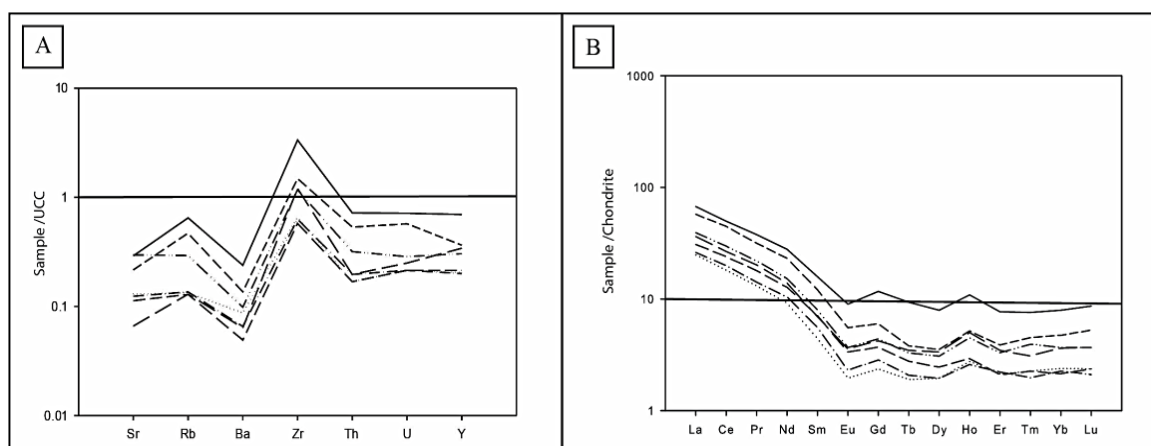
## جایگاه تکتونیکی

مطالعات خاستگاه شامل جایگاه تکتونیکی، ترکیب سنگ منشأ، فیزیوگرافی و آب و هوای منطقه منشأ می‌باشد (برای مثال: رفیعی، ۱۳۸۹؛ سرباز و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین موقعیت تکتونیک حوضه رسوبی و منطقه منشأ، عامل

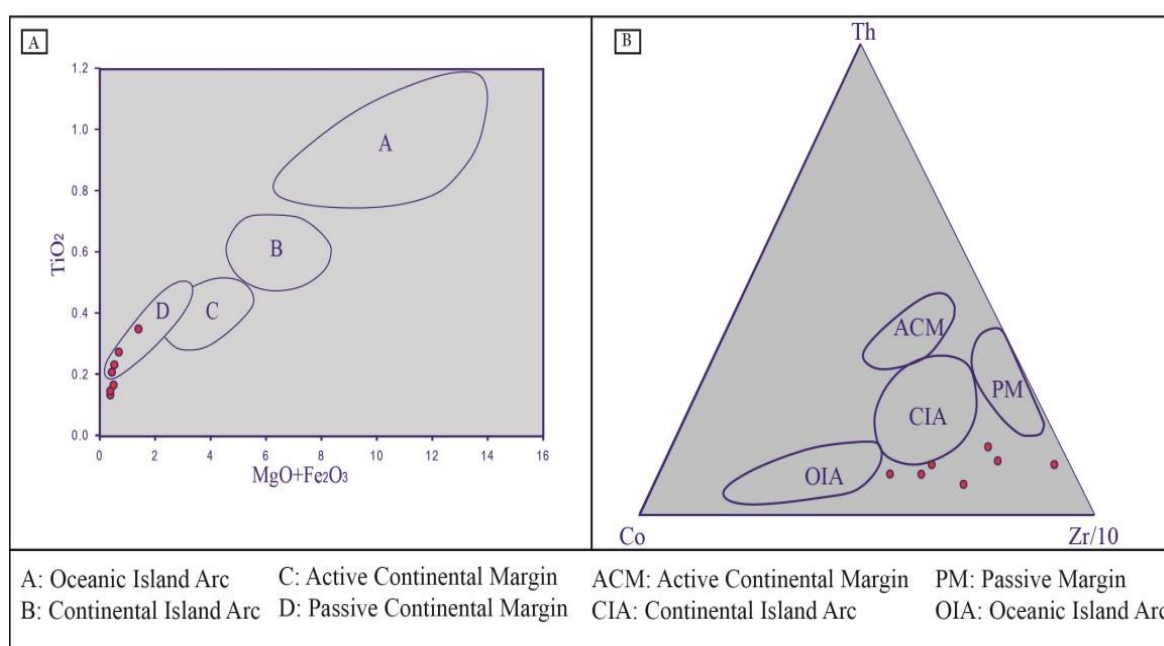
اصلی در کنترل ترکیب رسوبات آواری محسوب می‌شود (دیکینسون، ۱۹۸۵). ترسیم داده‌های حاصل از آنالیز ژئوشیمیایی عناصر اصلی بر روی نمودار مقدار  $TiO_2$  در مقابل  $Fe_2O_3+MgO$  بیانگر قرار گرفتن داده‌ها بر روی محدوده حاشیه غیرفعال قاره‌ای (D) می‌باشد (شکل ۷). ترسیم داده‌ها بر روی نمودار مثلثی کرومیت، ۱۹۹۴ بیانگر قرار گرفتن نهشته‌های مورد مطالعه در محدوده حاشیه غیرفعال قاره‌ای (D) می‌باشد (مزروعی‌سبدانی، ۱۳۹۵)؛ ترسیم داده‌های ژئوشیمیایی بر روی نمودار  $Al_2O_3/(CaO+Na_2O)$  در مقابل  $Fe_2O_3+MgO$  بیانگر محدوده حاشیه غیرفعال قاره‌ای (D) است (مزروعی‌سبدانی، ۱۳۹۵). ترسیم نتایج آنالیز ژئوشیمیایی بر روی نمودارهای باهاتیا (۱۹۸۳) در نمودار ترسیم نتایج ژئوشیمی بر روی نمودار  $Al_2O_3/SiO_2$  در مقابل  $Fe_2O_3+MgO$  در نزدیکی محدوده حاشیه غیرفعال قاره‌ای (D) می‌باشد (صالحی و همکاران، ۲۰۱۸). بررسی نتایج حاصل از آنالیز عناصر کمیاب و نادرخاکی و ترسیم بر روی نمودار تعیین خاستگاه بیانگر قرار گرفتن داده‌ها در نزدیکی محدوده حاشیه قاره‌ای غیرفعال (PM) و جزایر قوسی قاره‌ای می‌باشد (CIA) می‌باشد (شکل ۷).



شکل ۵: ارتباط منفی بین  $K_2O$  و  $SiO_2$ : A؛ ارتباط منفی بین  $Fe_2O_3$  و  $SiO_2$ : B؛ ارتباط منفی بین  $P_2O_5$  و  $SiO_2$ : C؛ ارتباط منفی بین  $MgO$  و  $SiO_2$ : E؛ ارتباط منفی بین  $CaO$  و  $SiO_2$



شکل ۶.۱: نتایج بهنجارسازی عناصر کمیاب نمونه‌ها نسبت به پوسته قاره بالایی (UCC: Upper Continental Crust). B: نتایج بهنجارسازی عناصر نادر خاکی نمونه‌ها نسبت به کندریت



شکل ۷. نمودارهای تعیین جایگاه تکتونیکی. A: ترسیم نتایج ژئوشیمیایی بر روی نمودار باهاتیا (۱۹۸۳)، بیانگر قرارگیری در محدوده حاشیه قاره‌ای غیرفعال واقع شده است (اقتباس با تغییراتی از صالحی و همکاران، ۲۰۱۸). B: ترسیم نتایج بر روی نمودار باهاتیا و کورش (۱۹۸۰)  $Ca-Th-Zr/10$  بیانگر قرارگیری داده‌ها در محدوده  $PM$ ,  $CIA$  می‌باشد.

## سنگ منشأ

سنگ منشأ ماسه‌سنگ‌ها در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. ترسیم نتایج بر اساس نمودار تفکیکی روسر و کورش (۱۹۸۸) بیانگر قرارگیری نمونه‌های بخش کرتاسه زیرین بر روی محدوده با منشأ کوارتز رسوبی و در نزدیکی منشأ آذرین اسیدی واقع شده‌اند (شکل ۸.۱). نسبت بالای  $La/Th$  و مقادیر کم  $Hf$  بیانگر سنگ‌هایی با منشأ مافیک و حدواسط است (فلوید و لیوریچ، ۱۹۸۷). بررسی آنالیز عناصر کمیاب و نادر خاکی و قرارگیری در نمودار ذکر شده بیانگر قرارگیری داده‌ها در محدوده منشأ

اسیدی (فلسیک و آندزیتی) و بازی مخلوط می‌باشد (شکل ۸.۲). همچنین ترسیم نتایج بر روی نمودار  $Zr$  در مقابل  $TiO_2$  بیانگر قرارگیری پراکنده داده بوده و عمدتاً در محدوده سنگ‌های حدواسط و اسیدی است (شکل ۸.۳). همچنین ترسیم نتایج نمودار  $Rb$  به  $K_2O$  بیانگر قرارگیری داده‌ها در محدوده حدواسط و اسیدی می‌باشد (شکل ۸.۴). لازم به ذکر است نتایج بیان شده با نتایج حاصل از بررسی‌های پتروگرافی و نقطه شماری دارای مطابقت است (صالحی و همکاران، ۲۰۱۸).

## هوازدگی منطقه منشأ

اندیس شیمیایی دگرسانی<sup>۱</sup>: اندیس CIA مقیاس مناسبی جهت تشخیص میزان هوازدگی شیمیایی سنگ‌های رسوبی می‌باشد (جدول ۱). در حالت کلی، در این مثلث مراحل آغازین هوازدگی، روندی موازی با ضلع A-CN خواهند داشت زیرا در طول مراحل اولیه هوازدگی، یون‌های سدیم و پتاسیم با تخریب فلدسپات‌ها (پلاژیوکلازها) برداشته می‌شوند (نسبیت و یانگ، ۱۹۸۴). با ادامه روند هوازدگی، فلدسپات‌های پتاسیم‌دار و یون‌های پتاسیم نیز کاهش می‌یابد و روند هوازدگی به سمت ترکیب  $Al_2O_3$  تغییر مکان می‌دهد (پایگیری و همکاران، ۲۰۰۸). ترسیم داده‌ها بیانگر میزان هوازدگی بالای نهشته‌های مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۹).

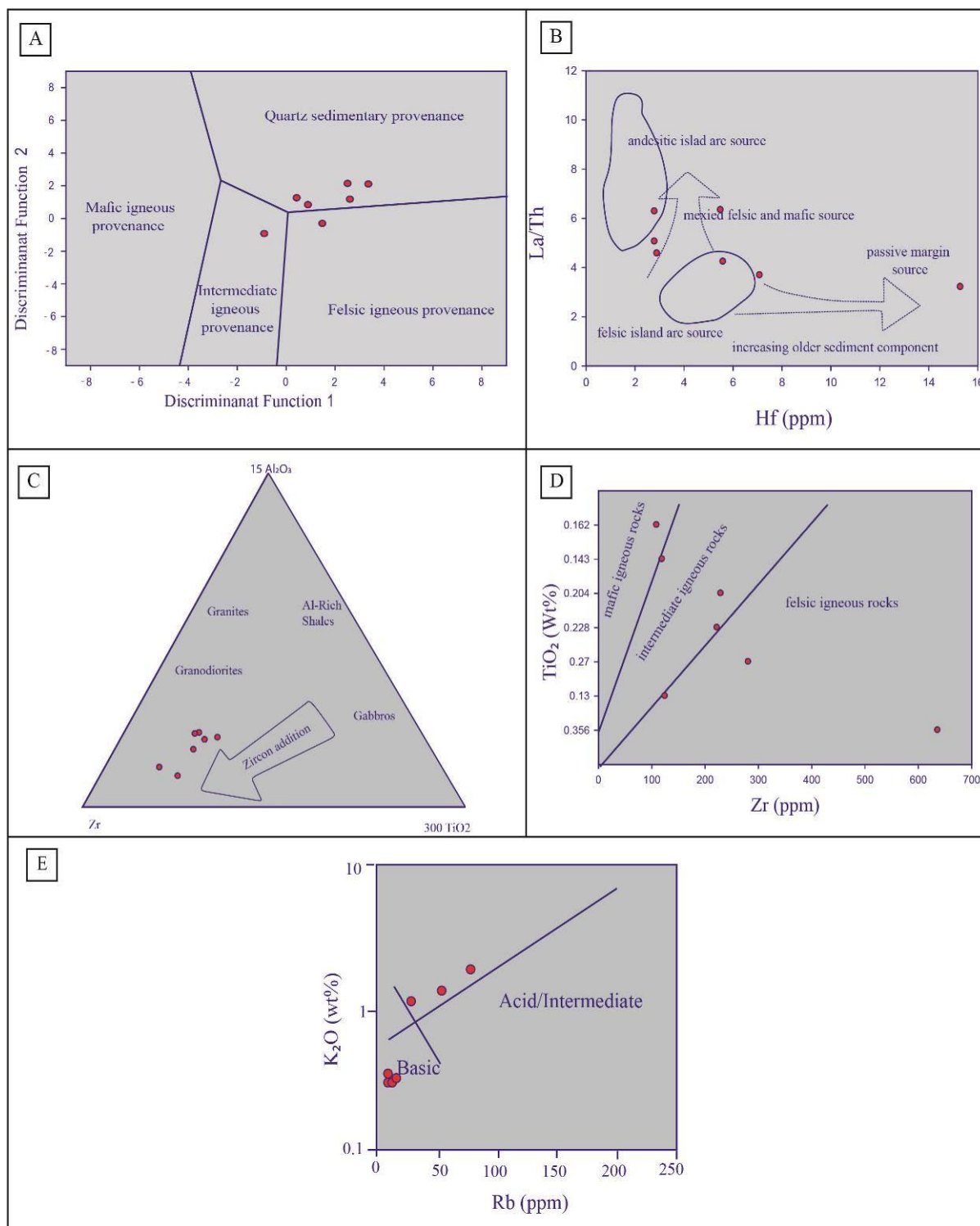
اندیس تغییرات ترکیبی<sup>۲</sup>: اندیس ICV جهت تعیین رسوبات مربوط به سیکل اول رسوبی یا رسوبات حاصل از چرخه مجدد رسوبی به کار می‌رود. این اندیس توسط کاکس و همکاران (۱۹۹۵) بر اساس اکسید عناصر اصلی پیشنهاد شده است. این اندیس در نمونه‌های مورد مطالعه به طور میانگین دارای  $0/45$  می‌باشد (جدول ۱). میزان کم این اندیس بیانگر هوازدگی شیمیایی شدید و رسوبات سیکل چرخه مجدد می‌باشد که این مطلب با جایگاه تکتونیکی به دست آمده برای توالی کرتاسه زیرین دارای تطابق می‌باشد. ترسیم داده‌های CIA در مقابل ICV (لیبی، ۲۰۰۲؛ پتر و همکاران، ۲۰۰۵) بیانگر هوازدگی بالای نهشته‌های آواری توالی مورد مطالعه است (مزروعی سبدانی، ۱۳۹۵). عناصر کمیاب از قبیل اورانیوم توریم، می‌تواند در مشخص کردن هوازدگی منطقه منشأ رسوبات مورد استفاده قرار بگیرند. در زمان هوازدگی اورانیوم به علت شعاع یونی به راحتی متحرک شده در حالی که توریم به این صورت نمی‌باشد؛ بنابراین با افزایش هوازدگی نسبت  $Th/U$  افزایش می‌یابد. در سنگ‌های رسوبی اگر میزان  $Th/U$  از ۴ بیش‌تر شود بیانگر رخ دادن هوازدگی در منطقه منشأ است (مکلنن و همکاران، ۱۹۹۳). ترسیم نتایج بر روی نمودار میزان  $Th/U$  در مقابل  $Th$  بیانگر قرارگیری پراکنده داده‌ها در نزدیکی عدد ۴ و پایین‌تر و حاکی از نزدیکی ترکیب آن‌ها با ترکیب پوسته بالایی می‌باشد (شکل ۹).

## جغرافیای دیرینه

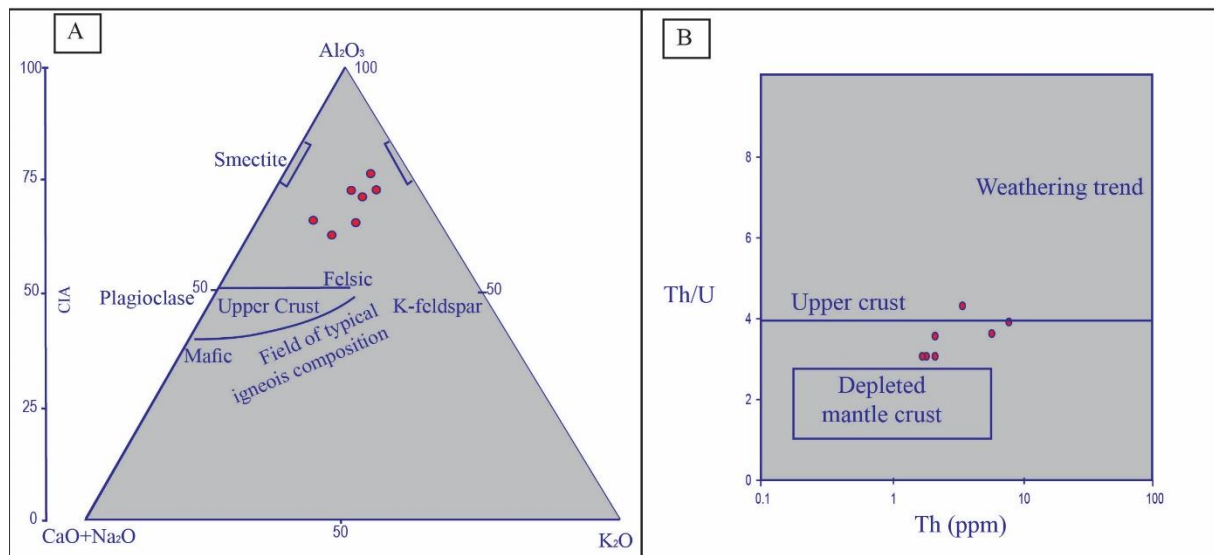
حرکات تکتونیکی سیمرین پسین در ژوراسیک پسین - کرتاسه پیشین ایران منجر به حرکات تراکمی بوده است (بربریان و کینگ، ۱۹۸۱). فعالیت این فاز کوهزایی سبب بالآآمدگی ناحیه‌ای و در پی آن بروز فاز فرسایشی شدیدی در قسمت‌هایی از ایران شده است. این فاز تکتونیکی باعث تکتونیک فعال منطقه شده به صورتی که نتایج جایگاه تکتونیکی دیرینه نهشته‌های آواری کرتاسه زیرین در برش مورد مطالعه بیانگر حاشیه قاره‌ای غیرفعال و کوهزایی با چرخه مجدد می‌باشد. به طوری که حرکات کوهزایی فعال شده و باعث حمل و نقل و رسوب‌گذاری مجدد نهشته‌های قدیمی‌تر از کرتاسه زیرین در این منطقه گردیده است. در ادامه این فاز تکتونیکی، دریا در منطقه مورد مطالعه در انتهای ژوراسیک پیشین شروع به پسروی نموده و یک محیط خشکی با فرسایش زیاد بر منطقه حاکم بوده است (راستاد، ۱۹۸۱). پیشروی مجدد دریا در کرتاسه پیشین (بارمینپسین) صورت پذیرفته است (صفری، ۱۳۷۴). در ابتدای کرتاسه پیشروی عمومی دریاهای اپی‌کانتینانتال در سراسر دنیا، از جمله ایران منجر به تشکیل رسوبات گسترده دریایی شده است (آقانباتی، ۱۳۸۵؛ باریر و ریلینک، ۲۰۰۸؛ سید امامی و ویلمسن، ۲۰۱۶) (شکل ۱۰).

ایران در طی کرتاسه کمی بالاتر از خط استوا (مدار ۲۰ درجه شمالی) قرار داشته است (بربریان و کینگ، ۱۹۸۱). نتایج آب و هوای دیرینه به دست آمده در این مطالعه نیز بیانگر آب و هوای مرطوب در طی نهشته شدن رسوبات کرتاسه بوده است. این نتایج هم‌چنین بیانگر برجستگی پست و هموار در شرایط حاره‌ای<sup>۳</sup> می‌باشد (مزروعی سبدانی، ۱۳۹۵). آب و هوای مرطوب در ناحیه منشأ باعث ایجاد هوازدگی بیش‌تر نهشته‌های آواری کرتاسه زیرین گردیده است. از جمله تأثیرات آب و هوای مرطوب بلوغ ترکیبی نهشته‌های کرتاسه است؛ که بر روی پتروفاسیس‌های نهشته شده تأثیر گذار بوده است. در ماسه‌سنگ‌های کرتاسه زیرین خرده‌سنگ‌های پایدار از قبیل چرت و دانه‌های کوارتز حفظ شده است و سایر دانه‌های ناپایدار نظیر فلدسپات حذف گردیده‌اند (مزروعی سبدانی، ۱۳۹۵).

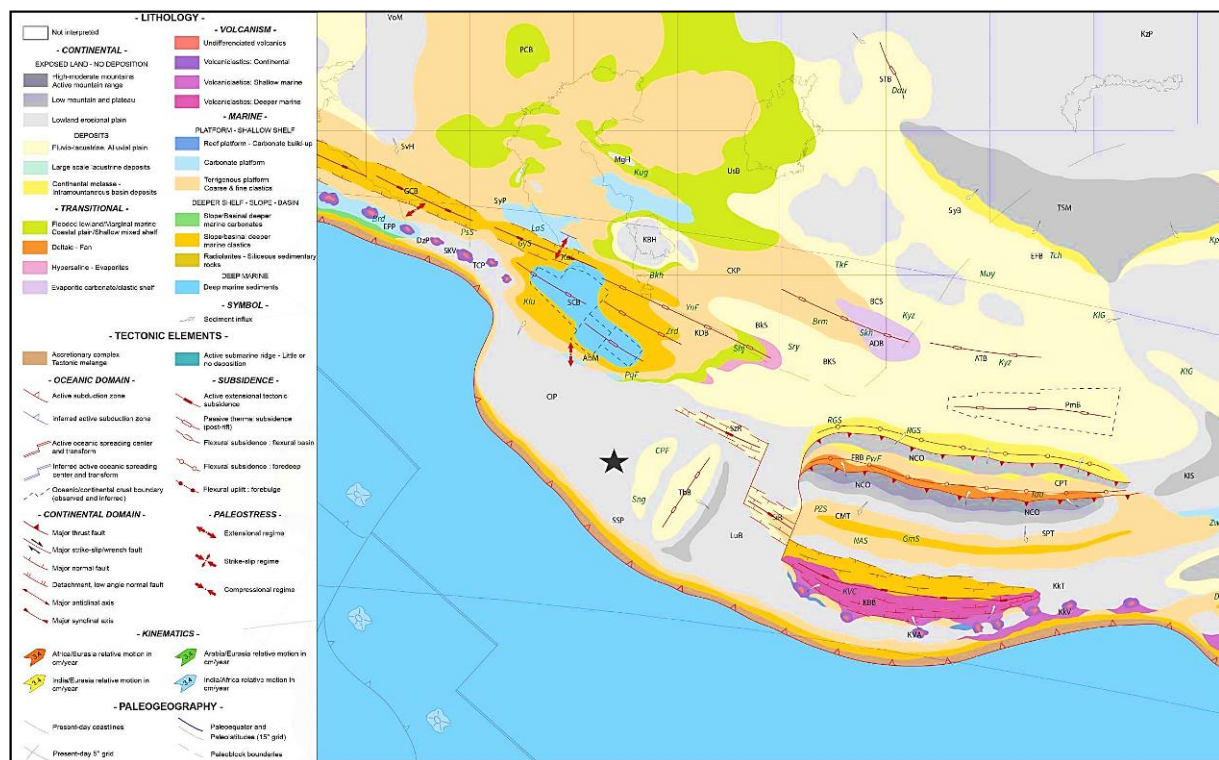
<sup>3</sup>Tropical<sup>1</sup>Chemical Index of Alteration<sup>2</sup> Index of Composition Variability



شکل ۸. A: نمودار تفکیک تابعی روسر و کورش (۱۹۸۸)، نمونه‌های کرتاسه زیرین در محدوده کوارتز رسوبی و در مرز با آذرین اسیدی است (اقتباس با تغییراتی از صالحی و همکاران، ۲۰۱۸). B: نمودار  $La/Th$  در مقابل  $Hf$  (فلوید و لوریچ، ۱۹۸۷) بیانگر قرارگیری پراکنده‌ی داده‌ها در نزدیکی منشأ با محدوده مخلوط، حاشیه غیرفعال، فلسیک و آندزیتی می‌باشد. C: ترسیم داده‌ها بر روی نمودار  $Zr-15Al_2O_3-300TiO_2$  بیانگر افزایش زیرکن می‌باشد. D: نمودار  $Zr$  در مقابل  $TiO_2$  به منظور تفکیک نوع سنگ منشأ. E: نمودار نمودار میزان  $Rb$  به  $K_2O$



شکل ۹. ترسیم نتایج آنالیز ژئوشیمیایی بر روی نمودارهای تعیین میزان هوازگی، A: نمودار مثلثی A-CN-K (نسبیت و یانگ، ۱۹۸۴)، B: نمودار نسبت  $Th/U$  در مقابل  $Th$  در ماسه‌سنگ‌های کرتاسه زیرین (مکلان و همکاران، ۱۹۹۳)



شکل ۱۰. نقشه جغرافیای دیرینه ایران مرکزی در طی زمان کرتاسه (اشکوب هوتیوین) (برگرفته با تغییراتی باربر و همکاران، ۲۰۱۸)، موقعیت تقریبی منطقه مورد مطالعه با علامت ستاره مشخص شده است.

## نتیجه‌گیری

توالی مورد مطالعه شامل نهشته‌های قرمز سیلیسی-آواری کرتاسه زیرین در شمال شرق اصفهان، دارای ۱۳۷ متر ضخامت بوده که ۹ واحد چینه‌سنگی در آن تفکیک شده است. نتایج حاصل از آنالیز ژئوشیمیایی عناصر اصلی، کمیاب و نادرخاکی بیانگر جایگاه تکتونیکی حاشیه

قاره‌ای غیرفعال و جزایر قوسی قاره‌ای می‌باشد. مطالعات ژئوشیمیایی حاکی از سنگ منشأ آذرین اسیدی و بازی مخلوط است. بررسی هوازگی دیرینه نیز نشان‌دهنده هوازگی بالا در ناحیه منشأ است. نتایج حاصل با نتایج به دست آمده از بررسی‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی دارای هم‌خوانی و مطابقت می‌باشد. حرکات تکتونیکی

منانی، م.، و یزدی، م. (۱۳۹۴) پالئواکولوژی و محیط دیرینه نهشته‌های تریاس پسین ایران با تأکید بر یافته‌های جدید در برش دیزلو (شمال‌شرق اصفهان)، براساس حضور مرجان‌های اسکراکتینا. فصلنامه علوم‌زمین، شماره ۹۵، ص ۲۸۱-۲۹۰.

Barrier, E., Vrielynck, B. (2008) (Eds.), *Palaeotectonic maps of the Middle East-tectono-sedimentary-palinospastic maps from the Late Norian to Pliocene. Commission for the Geological Map of the World: (CGMW / CCGM), Paris.*

Barrier, E., Vrielynck, B., Brouillet, J. F., and Brunet, M. F., editors (2018) *Paleotectonic reconstruction of the central Tethyan realms. paris, commission for Geological Map of the World: CGMW/CCGM.*

Berberian, M., and King, G. C (1981) *Towards a paleogeography and tectonic evaluation of Iran. Canadian Journal of Earth science, 18: 210-265.* Bhatia, M. R (1983) *Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. The Journal of Geology, 91: 611-627.*

Bhatia, M. R., Crook, K. A. W (1986) *Trace element characteristics of greywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. Contributions of Mineralogy and Petrology, 181: 92-193.*

Bock, B., McLennan, S. M., Hanson, G. N (1994) *Rare earth element redistribution and its effects on the neodymium isotope system in the Austin Glen Member of the Normanskill Formation. New York, USA: Geochimica et Cosmochimica Acta, 52(3): 5224-5253.*

Condie, K. C., Dengata, J., Cullers, R. L (1995) *Behavior of rare earth element in paleowathering profile on granodiorite in front range. Colorado, USA. Geochimica et Cosmochimica Acta, 59: 279-294.*

Cox, R., Low, D. R., Cullers, R. L (1995) *The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. Geochimica et Cosmochimica Acta, 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: 45-88.*

Dickinson, W. R (1985) *Interpreting provenance relation from detrital modes of sandstone: In Zuffa, G. G. (Ed.), Provenance of Arenites. Redial Publishing Company, 407:333-363.*

Fedo, C. M., Eriksson, K. A., Krogstad, E (1996) *Geochemistry of shales from the Archean (3.0 Ga) Buhwa Greenstone Belt, Zimbabwe: implications of provenance and source-area*

سیمرین پسین در ژوراسیک پسین - کرتاسه پیشین ایران منجر به ایجاد حاشیه فعال شده است، اما چرخه مجدد رسوبی حدواسط تا شدید و هوازدگی شیمیایی بالای ناحیه منشأ، اثرات این حاشیه فعال را تا حدودی تغییر داده است.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان از سردبیر محترم مجله رسوب‌شناسی کاربردی دانشگاه بوعلی‌سینا همدان و ریاست محترم انجمن رسوب‌شناسی ایران به‌خاطر راهنمایی‌های علمی ارزنده که منجر به غنای بیش‌تر مقاله حاضر گردیده است، کمال تشکر را دارند.

## منابع

آقائباتی، ع (۱۳۸۵) زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.

سرباز، ن.، محبوبی، ا.، موسوی‌حرمی، س. ر.، خانه‌باد، م. و ماهانی پور، ا (۱۳۹۵) خاستگاه و جایگاه تکتونیکی سازند کشف‌رود در برش ناویا (باختر بجنورد) بر مبنای بررسی‌های پتروگرافی و ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌ها. دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۴، شماره ۸، ص ۸۹-۱۰۲.

صفری، ا (۱۳۷۴) پالئوژئوگرافی و چینه‌شناسی رسوبات کرتاسه زیرین شمال‌شرق اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، ۲۰۴ ص.

رفیعی، ب (۱۳۸۹) خاستگاه و موقعیت تکتونیکی ماسه سنگ‌های سازندهای آق‌چاگیل و آپشرون در منطقه مغان، شمال غرب ایران. دوفصلنامه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۴، شماره ۷، ص ۶۸-۷۶.

مزروعی‌سبدانی، ز.، صالحی، م. ع.، پاکزاد، ح. ر. و بهرامی، ع (۱۳۹۶) تأثیر ترکیب سنگ‌های سیلیسی آواری و کربناته بر تاریخچه پس از رسوب‌گذاری: مطالعه موردی از سازند ناپیند و نهشته‌های کرتاسه پایینی، شمال شرق اصفهان. دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۵، شماره ۱۰، ص ۲۰-۴۲.

مزروعی‌سبدانی، ز (۱۳۹۵) بررسی رخساره، محیط‌رسوبی و جایگاه تکتونیکی نهشته‌های آواری و کربناته بخش‌های پایانی تریاس و کرتاسه زیرین برش کوه بجاره در منطقه دیزلو، شمال‌شرق اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه اصفهان، ۱۱۷ ص.

- Longman Scientific and Technical. New York, 352 p.
- Roser, B. P., Cooper, R. A., Nathan, S., Tulloch, A. J (1996) Reconnaissance sandstone geochemistry, provenance and tectonic setting of the lower Paleozoic terranes of the West Coast and Nelson, New Zealand. *Journal of Geology and Geophysics*, 39:1-16.
- Roser, B. P., Korsch, R. J (1988) Provenance signature of sandstone-mudstone suite determined using discriminate function analysis of major element data. *Chemical Geology*, 67:119-139.
- Salehi, M. A., Mazroei, Z., Pakzad, H.R., Bahrami, A., Fursich, F.T., Heubeck, Ch (2018) Provenance and paleogeography of uppermost Triassic and Lower Cretaceous terrigenous rocks of central Iran: Reflection of the Cimmerian events. *N. Jb. Geol. Palaont. Abh*, 288/1: 49-77.
- Schlagintweit, F., Wilmsen, M (2014) Orbitolinid biostratigraphy of the top Taft Formation (Lower Cretaceous of the Yazd Block, Central Iran). *Cretaceous Research*, 49:125-133.
- Seyed-Emami, K., and M. Wilmsen (2016) *Leymeriellidae* (Cretaceous ammonites) from the Lower Albian of Esfahan and Khur (Central Iran). *Cretaceous Research*, 60:78-90.
- Taylor, S. R., McLennan, S. M (1985) *The Continental Crust. Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford, 312 p.
- Tucker, M. E (2001) *Sedimentary Petrology* (3ed edition). Blackwell science, 287 p.
- Weltje, G. J., Von Eynatten, H (2004) Quantitative provenance analysis of sediments review and outlook. *Sedimentary Geology*, 171:1-11.
- Wilmsen, M., Fürsich, F. T., Majidifard, M.R (2015) An overview of the Cretaceous stratigraphy and facies development of the Yazd Block, western Central Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 102:73-91.
- weathering. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60:1751-1763.
- Floyd, P. A., Winchester, J. A., Park, R. G (1989) Geochemistry and tectonic setting of Lewisian clastic metasediments from the early Proterozoic Loch Maree group of Gairloch, NW Scotland. *Percambrian Research*, 45:203-214.
- Ingersoll, R. V (1988) Tectonic of sedimentary basins. *Geological Society of America, Bulletin* 100:1704-1719.
- Kroonenberg, S. B (1994) Effects of provenance, sorting and weathering on the geochemistry of fluvial sands from different tectonic and climatic environments. 29 th International Geological Congress, 69-81.
- Lee, Y. I (2002) Provenance derived from the geochemistry of the late Paleozoic-early Mesozoic mudrocks of the Pyenogan Supergroup, Korea. *Sedimentary Geology*, 194: 219-235.
- McLennan, S. M., Taylor, R., McCulloch, M. T., Maynard, J. B (1990) Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deepsea turbidites. Crustal evolution and plate tectonic associations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54:2015-2050.
- McLennan, S. M., Taylor, S. R., Eriksson, K. A (1983) Geochemistry of Archean shales from the Pilbara Supergroup, Western Australia. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47:1211-1222.
- 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* 284. Geological Society of America, Special Paper, 21-40.
- Nesbitt, H. W., and G. M, Young (1982) Early Proterozoic climate and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299: 715-717.
- Paikaray, S., S. Banerjee, and S. Mukherji (2008) Geochemistry of shales from the Paleoproterozoic to Neoproterozoic Vindhyan Supergroup: Implications on provenance, tectonics and paleoweathering. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32: 34-48.
- Potter, P., J. B. Maynard and P. Depetris (2005) *Mud and Mudstone: Introduction and overview*. Springer Heidelberg, 279p.
- Rastad, E (1981) Geological, mineralogical, and ore facies investigations on the Lower Cretaceous stratabound Zn-Pb (Ba-Cu-) deposits of the Irankuh Mountain Range, Esfahan, west central Iran: P. D. thesis Heidelberg University, 344p.
- Rollinson, H. R (1993) *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*.