

محیط رسوبی و برخاستگاه ماسه‌سنگ‌های سازند آب‌حاجی در برش‌های چشمه بخشی و سر تخت شتران، بلوک کلرد، ایران مرکزی

علی محمد علی خاصی^۱، محبوبه حسینی برزی^{۱*} و مهدی شادان^۱

^۱دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۵/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۰/۱۵

چکیده

در این مطالعه به بررسی محیط رسوبی، برخاستگاه و جایگاه زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌های سازند آب‌حاجی (ژوراسیک پیشین) در برش‌های چشمه بخشی و سر تخت شتران، واقع در بلوک کلرد پرداخته شده است. تجزیه و تحلیل رخساره‌های رسوبی در این برش‌ها حاکی از وجود سه مجموعه رخساره‌ای آواری شامل: رخساره‌های دشت دلتایی، رخساره‌های جلوی دلتا و رخساره‌های انتهای دلتا و نیز دو رخساره کربناته مرتبط با سد است. نتایج حاصل از تجزیه مدال و داده‌های ژئوشیمیایی به برخاستگاه زمین‌ساختی کراتون و چرخه مجدد و سنگ مادر رسوبی کوارتزی (حاصل چرخه مجدد رسوبی) اشاره دارند. همچنین استفاده از نمودارهای تفکیکی جایگاه زمین‌ساختی حاشیه غیرفعال قاره‌ای را برای ماسه سنگ‌های آب‌حاجی نشان می‌دهد. شاخص‌های شیمیایی دگرسانی (آلتراسیون) (CIA) و دگرسانی پلاژیوکلاز (PIA) محاسبه شده، میزان هوازدگی در منطقه منشأ را متوسط تا شدید معرفی می‌کند. این امر با نتایج سنگ نگاری و تجزیه مدال ماسه‌سنگ‌ها مبنی بر وجود شرایط آب و هوای مرطوب تا نیمه مرطوب همخوانی دارد.

کلید واژه‌ها: محیط رسوبی، برخاستگاه، ژئوشیمی، سازند آب‌حاجی، بلوک کلرد.

***نویسنده مسئول:** محبوبه حسینی برزی

E-mail: m_hosseini@sbu.ac.ir

۱- مقدمه

سازند آب‌حاجی با سن ژوراسیک پیشین برای نخستین بار توسط Aghanabati (1977) معرفی شد. برش تیپ این سازند در نزدیکی روستای رباط‌خان قرار دارد. سازند آب‌حاجی در برش‌های مورد مطالعه، از یک واحد ماسه‌سنگی سفیدرنگ در پایین و یک واحد شیلی در بالا تشکیل شده است. مرز زیرین سازند آب‌حاجی در این ناحیه با سازند ناینبد و مرز بالایی آن با سازند بادامو به صورت هم‌شیب اما ناپیوسته است.

در کنار بررسی‌های سنگ‌نگاری و تحلیل رخساره‌ای برای تعیین مدل رسوبی سنگ‌های سیلیسی آواری، بررسی برخاستگاه این نهشته‌ها نیز همواره مورد توجه بوده است. بدین منظور علاوه بر روش‌های پیشنهاد شده پیشین که بر پایه داده‌های تجزیه مودال استوار است (Dickinson, 1985)، امروزه مطالعات ژئوشیمیایی و استفاده از نمودارهای تفکیکی نیز، ابزاری قوی برای شناسایی برخاستگاه سنگ‌های سیلیسی-آواری به شمار می‌روند. استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی امکان ارائه مدل‌هایی برای تعیین جایگاه زمین‌ساختی (Roser & Korsch, 1988) و سنگ‌شناسی ناحیه منشأ (Fedoto et al., 2007; Bracciali et al., 2006; Das et al., 2006) و هوازدگی شیمیایی (Hessler and Lowe, 2006; al., 1996) و زمین‌ساخت حوضه رسوبگذاری آواری‌ها (Bhatia and Crook, 1986; McLennan et al., 1990) فراهم می‌سازد.

در این مطالعه، ابتدا به شناسایی محیط رسوبی سازند آب‌حاجی پرداخته شده است و نیز برای نخستین بار جهت تعیین برخاستگاه نهشته‌های آواری این سازند از روش‌های تجزیه مدال و ژئوشیمی استفاده شد. با توجه به تحولات زمین‌شناسی ایران طی انتهای تریاس-ابتدای ژوراسیک، همواره نتایج حاصل از این مطالعه در کنار داده‌های تکمیلی دیگر از بلوک کلرد، می‌تواند در شناخت تکامل پوسته ایران به ویژه در این ناحیه مورد استفاده قرار گیرد.

۲- روش‌ها

در این مطالعه سازند آب‌حاجی در دو برش چشمه بخشی و سر تخت شتران به فاصله تقریبی ۳۰ کیلومتر واقع در بلوک کلرد مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱). به منظور تجزیه و تحلیل رخساره‌های رسوبی سعی شده است تا در

پیمایش‌های صحرائی انجام شده از ساختمان‌های رسوبی، ویژگی‌های هندسی و سنگ‌شناختی و نیز تغییرات جانبی و عمودی نهشته‌های رسوبی (Selley, 1996)، برداشت کاملی صورت گیرد. همچنین از ۱۲۰ نمونه برداشت شده، مقاطع نازک سنگی تهیه و مورد بررسی میکروسکوپی قرار گرفت. افزون بر این، ۴۳ نمونه مناسب ماسه سنگی (متوسط دانه و خوب جور شده) برای انجام نقطه شماری انتخاب شد و سپس نقطه شماری به روش (Gazzi (1966) و Dickinson (1970) با شمارش ۳۵۰-۵۰۰ نقطه در هر مقطع صورت گرفت. برای حذف اثرات دیاژنزی بر روی ترکیب و بافت اولیه سنگ، تغییرات دیاژنزی تا حد ممکن در حین نقطه‌شماری مورد توجه قرار گرفت (McBride, 1985). به منظور انجام تجزیه XRF ۹ نمونه از ماسه‌سنگ‌های ریز دانه از برش چشمه بخشی انتخاب و پس از تهیه پودر از نمونه‌ها در دانشگاه شهید بهشتی، به آزمایشگاه کانسارسازان بینالود ارسال گردید. دقت اندازه‌گیری برای اکسیدهای اصلی (MgO و K_2O ، Fe_2O_3 ، CaO ، SiO_2 ، Al_2O_3) ۰/۱٪ و برای اکسیدهای MnO ، P_2O_5 و TiO_2 ۰/۰۱٪ و برای عناصر فرعی ۱ ppm می‌باشد.

۳- رخساره‌ها و محیط رسوبی

رخساره‌های سنگی توسط فرایندهای رسوبی که در مناطق رسوبی خاصی از محیط رسوبگذاری عمل می‌کنند، کنترل می‌شوند از این رو شناخت رخساره‌های سنگی به تفسیر فرایندهای همزمان با رسوبگذاری، کمک شایانی می‌کند (Catuneanu, 2003). تجزیه و تحلیل رخساره‌های شناسایی شده در سازند آب‌حاجی منجر به معرفی ۳ مجموعه رخساره‌ای دلتایی شامل (۱) دشت دلتایی (Delta Plain)، (۲) جلوی دلتا (Delta Front) و (۳) قسمت انتهایی دلتا (Prodelta) گردید که به ترتیب در زیر ارائه می‌شوند:

۳-۱. مجموعه رخساره‌ای دشت دلتایی (Delta Plain)

دشت دلتایی به دو قسمت، دشت دلتایی بالایی (Upper Delta Plain) و دشت دلتایی پایینی (Lower Delta Plain) تقسیم می‌شود (Reading, 1996). در سازند آب‌حاجی در برش‌های مورد مطالعه، تنها دشت دلتایی پایینی مشاهده شد که تحت تأثیر فرایندهای دریایی قرار گرفته است.

– (کنگلومرا) رخساره کانال رودخانه (معادل رخساره Gm)

در قاعده سازند آب حاجی، رسوبات کنگلومرای (الیگومیکتیک) قرمز رنگ به شکل کانالی با جورشدگی و گرد شدگی نسبتاً خوب و اندازه دانه در حد پیل (به طور عمده از چرت) معرف این رخساره است (شکل ۲- A). کنگلومراها قاعده‌ای تخریبی داشته و با تغییرات جانبی سریع، روندی ریزشونده نشان می‌دهند. آنها دارای دانه‌بندی تدریجی، بافت دانه پشتیبان و فابریک ایمبریکاسیون (Imbrication) هستند و در نهایت توسط ماسه‌های دارای لایه‌بندی در بخش‌های بالاتر جانشین می‌شوند (شکل ۲- B). همچنین این رخساره در ماسه‌سنگ‌های پایینی سازند آب حاجی همراه با رخساره‌های جلوی دلتا (Delta Front) دیده می‌شود. کف این نهشته‌ها به صورت تخریبی بر روی رسوبات ماسه‌سنگی دانه‌ریز قرار می‌گیرد و به طرف بالا به ماسه‌سنگ‌های با لایه‌بندی ترف تبدیل می‌شوند که در برخی مناطق با تحلیل رفتن این رخساره رسوبات دانه درشت آن به صورت تجمعات باقی مانده دیده می‌شوند (شکل ۲- C).

– تفسیر

رنگ قرمز رسوبات مورد مطالعه نشان از تشکیل آنها در محیط اکسیدان قاره‌ای است. وجود دانه‌بندی تدریجی با فابریک ایمبریکاسیون و بافت دانه پشتیبان که به طرف بالا به ماسه‌سنگ‌های دارای لایه‌بندی تبدیل می‌شود از ویژگی‌های نهشته‌های رودخانه‌ای است (Nemec and Steel, 1984). رسوبات کنگلومرای به شکل کانالی با قاعده تخریبی همراه با تغییرات جانبی سریع که دارای فابریک ایمبریکاسیون بوده و در مواردی واجد لایه‌بندی افقی ضعیف هستند گویای رسوبگذاری آنها در کانال‌های رودخانه‌ای می‌باشد (Nemec and Postama, 1993; Einsele, 2000). جهت‌یافتگی گراول‌ها نشان دهنده انتقال یک جهت مطابق با شیب منطقه و انتقال آنها توسط بخش انتهایی رودخانه است (Ramos & Sopena, 1983). نبود دانه‌های در اندازه کوبل و بولدر در برش‌های مورد مطالعه به رسوبگذاری در رودخانه مائندری با شیب کم و تقریباً دور از سرچشمه اشاره دارد (Erikson et al., 1998; Miall, 1996).

از سویی دیگر، در پاره‌ای از بخش‌های برش‌های مورد مطالعه همراه بودن این کنگلومراها با رخساره‌های جلوی دلتا (Delta Front) و قرارگیری آنها بر روی رسوبات ماسه‌سنگ‌های دانه‌ریز، داشتن دانه‌بندی تدریجی ریزشونده به طرف بالا که در نهایت به ماسه‌سنگ‌های با لایه‌بندی ترف تبدیل می‌گردند، می‌تواند از مشخصات مربوط به کانال‌های انشعابی باشد (Coleman, 1964; 1981). از بین رفتن کانال‌ها و باقی ماندن آثار آنها به صورت تجمعات باقی مانده دانه درشت، می‌تواند ناشی از تحت تأثیر قرار گرفتن این رسوبات توسط امواج قوی می‌باشد.

– رخساره ماسه سنگی: بین کانال انشعابی (معادل رخساره Sh)

این رخساره را ماسه‌سنگ‌های با جورشدگی و گردشدگی خوب تا متوسط تشکیل می‌دهند که به شکل ممتد در بخش‌های مختلف دو برش مورد مطالعه دیده می‌شوند. این ماسه‌سنگ‌ها دارای لامیناسیون موازی بوده که متشکل از تناوب ماسه‌سنگ‌های بسیار ریز دانه تا دانه درشت هستند (شکل ۲- D).

– تفسیر

وجود ماسه‌سنگ‌های با جورشدگی خوب نشان از تشکیل این رخساره در یک محیط با انرژی بالاست (Tucker, 2001). لامینه‌های موازی در اندازه ماسه بسیار ریز تا درشت دانه، نشان‌دهنده تشکیل این ساخت‌ها در اثر حمل و نقل بار بستر در سرعت‌های مختلف جریان است (Tucker, 2001). به طوری که ماسه‌سنگ‌های درشت‌دانه در سرعت‌های پایین آب و ماسه‌سنگ‌های ریز دانه در سرعت بالای جریان آب بر جای گذاشته می‌شوند (Miall, 1994; Eriksson et al., 1998). بدین ترتیب نهشت این رخساره می‌تواند در مناطق بین کانال‌های انشعابی از

محیط دلتایی توسعه یابد که متأثر از نوسانات پیاپی انرژی جزر و مد است (Ramos and Galloway, 1990).

۲-۳. مجموعه رخساره‌های قسمت جلوی دلتا

رخساره‌های قسمت جلوی دلتا (Prodelta) شامل: رخساره حاشیه ساحل (Shoreface)، مجموعه رخساره‌های سدهای ماسه‌ای (Sandy Barrier Complex) و رخساره ورقه‌های ماسه‌ای دور از ساحل (Distal Sand Sheet) هستند.

– رخساره‌های حاشیه ساحل (Shoreface)

این رخساره را ماسه‌سنگ‌های ریز تا درشت دانه با جورشدگی و گردشدگی نسبتاً بالا تشکیل می‌دهند. این ماسه‌سنگ‌ها دارای لایه‌بندی موازی (شکل ۲- E)، ساختمان مورب ترف (شکل ۲- F)، لامیناسیون‌های موازی و ریپل مارک هستند. ریپل مارک‌های موجود شامل انواع با خط‌الرأس مستقیم و ریپل مارک‌های دو شاخه‌ای می‌باشند (شکل ۲- G و ۲- H). این رسوبات دارای فسیل‌های گیاهی (شکل ۳- A) بوده و آثاری از حفاری‌های عمودی توسط موجودات (شکل ۳- B) و نیز حفاری توسط جریان (Flute Cast) دارند (شکل ۳- C). این رخساره بر روی رخساره‌های دشت دلتایی قرار می‌گیرد.

– تفسیر

قرار گرفتن این رخساره بر روی رخساره‌های دشت دلتایی، جورشدگی و گردشدگی خوب رسوبات و همچنین وجود فسیل‌های گیاهی بیانگر منطقه جلوی دلتا است (Carlos and Ronland, 2008). گسترش طبقه‌بندهای ترف حاکی از تحت تأثیر قرار گرفتن محیط رسوبگذاری توسط امواج قوی است (Walker, 1983; Walker and Plint, 1992). آثار حفر عمودی توسط موجودات، شاخصی برای محیط‌های پر انرژی است و به حضور جریان‌های جزر و مد اشاره دارد (Bromley, 1996). همچنین ریپل مارک‌های با خط‌الرأس مستقیم نیز از شاخصه‌های عملکرد جریان‌های جزر و مدی به شمار می‌روند که به همراه ریپل مارک‌های دو شاخه‌ای مشاهده شده نشان‌دهنده تداخل عملکرد فرایندهای رودخانه‌ای و دریایی هستند (جزر و مد و موج) (Dalrymple et al., 1992). آثار حفر توسط جریان در این منطقه نیز نشان از افزایش ناگهانی سرعت جریان و کنده‌شدگی رسوبات دارد (Tucker, 2001).

– رخساره سدهای زیر آبی (Subaqueous Bars Complex)

این رخساره شامل دو زیر رخساره آواری و کربناتی زیر است:

- ماسه‌سنگ‌های متوسط تا درشت دانه با سیمان کربناتی که جورشدگی و گردشدگی بالایی داشته و دارای ساختمان‌های مورب ترف و مورب ترف فرورفته (Swaly Cross Stratification) هستند (شکل ۳- D). در این ماسه‌سنگ‌ها خرده‌های اسکلتی کربناتی از جمله براکیوپود و خارپوست مشاهده می‌شود.

- گرینستون آئیدی: شامل آئیدهای با فابریک مماسی با هسته‌هایی از جنس پلویید و قطعات بایوکلاستی (شکل ۳- E) که گاه با مقادیر کمی از خرده‌های اسکلتی دو کفه‌ای و دانه‌های کوارتز (کمتر ۱۰ درصد) همراه هستند. همچنین فرایندهای انحلالی سبب گسترش تخلخل قالبی در آنها شده است.

- گرینستون‌های بیوکلاستی ماسه‌دار: از دانه‌های اسکلتی مانند برکیوپودا، خارپوست و دو کفه‌ای‌ها که درصد عمده آنها میکربیتی شده‌اند، تشکیل گردیده است (شکل ۳- F). از اجزای اصلی غیر کربناتی می‌توان به پراکندگی دانه‌های کوارتز اشاره داشت. در برخی موارد افزایش فشردگی باعث شکسته شدن دانه‌ها و تشکیل رگه‌های استیلولایتی گردیده است.

– تفسیر

ساخت‌های رسوبی مورب ترف در این رخساره نشان دهنده محیط‌های تحت تأثیر امواج و جریان‌های پرانرژی است (Moslow & Tye, 1985).

- نبود دیگر رخساره‌های رودخانه‌ای مانند خاکریزهای طبیعی (Natural Levees)، دشت سیلابی (Flood Plain)، کروس‌های پهن (Crevasse-Splay) و حوضه‌های سیلابی (Flood Basins) در کنار رخساره کانال رودخانه‌ای نشان از قرارگیری کانال‌های اصلی رودخانه در انتهای دشت دلتایی به طرف دریا است که تحت تأثیر امواج و جزر و مد پاره‌ای از رخساره‌ها حذف گردیده است.
- حضور ساختمان‌های رسوبی پر انرژی و ریپل مارک‌های با خط الرأس مستقیم و دو شاخه‌ای در ماسه‌سنگ‌های با مچوریتی بالا که حاوی فسیل‌های گیاهی هستند بیانگر رسوبگذاری در حاشیه ساحلی از محیط دلتایی است.
- ماسه‌سنگ‌های با سیمان آهکی و ساختمان‌های رسوبی پر انرژی که در مجاورت با رخساره‌های گریستونی قرار دارند شرایط رسوبگذاری در سدهای زیر آبی در جلوی دلتا را نشان می‌دهد.
- تداخل رخساره‌های محیط خشکی (رودخانه‌ای) و محیط دریایی و همچنین قرار گرفتن رخساره‌های دریایی بر روی رخساره‌های رودخانه‌ای بیانگر رسوبگذاری نهشته‌های سازند آب‌حاجی در محیط دلتایی است.
- تطابق دو برش مطالعه شده، حاکی از حضور رخساره‌های ژرف‌تر با ستبرای قابل توجه‌تری در برش سر تخت شتران است (شکل ۵) که ژرفای بیشتر حوضه را در این ناحیه نشان می‌دهد.

۵- ترکیب سنگ‌شناسی ماسه سنگ‌های سازند آب‌حاجی

بر اساس مطالعات میکروسکوپی و به کارگیری داده‌های حاصل از نقطه‌شماری (جدول ۲) در نمودار Folk (1980) ماسه‌سنگ‌های سازند آب‌حاجی از نوع کوارتز آرنایت، ساب‌لیتارنایت و لیتارنایت (چرت آرنایت) هستند (شکل ۶). دانه‌های کوارتزی در مقاطع نازک سنگی را به طور عمده انواع مونو کریستالین با خاموشی مستقیم تشکیل می‌دهند. اغلب قطعات سنگی موجود در این ماسه سنگ‌ها از نوع رسوبی (چرت، ماسه‌سنگ و شیل) بوده و قطعات سنگی دگرگونی (اسلیت) به مقدار خیلی کم دیده می‌شوند. دانه‌های فلدسپار بیشتر از نوع فلدسپار پتاسیم (ارتوز) و به مقدار کمتر پلاژیوکلاز هستند که تحت تأثیر هوازدگی قرار گرفته‌اند. کانی‌های سنگین موجود در این ماسه سنگ‌ها شامل بیوتیت، مسکوویت، کانی‌های کدر (اپاک)، زیرکن و تورمالین است.

داده‌های حاصل از تجزیه ژئوشیمیایی اکسیدهای عناصر اصلی ماسه‌سنگ‌های سازند آب‌حاجی (جدول ۳) بر روی نمودار Pettijohn, et al. (1987) (شکل A-۷) و Herron (1988) (شکل B-۷)، نیز ترکیب ماسه‌سنگ‌ها را کوارتز آرنایت و ساب‌لیتارنایت نشان می‌دهد. همچنین به نظر می‌رسد حضور سیمان هماتیته در برخی نمونه‌ها موجب قرارگیری آنها در محدوده ماسه‌های آهن‌دار از نمودار هرون شده است.

۶- هوازدگی ناحیه منشأ

داده‌های حاصل از تجزیه مدال ماسه‌سنگ‌های آب‌حاجی بر روی نمودارهای Suttner and Dutta (1986) (شکل A-۸) نشان‌دهنده حاکمیت چیره شرایط آب و هوایی نیمه مرطوب و حاکمیت فرعی شرایط مرطوب (معتدل) (و همچنین، سنگ مادر دگرگونی) طی نهشت این ماسه سنگ‌ها است. (Grantham & Velbel, 1988)، ضریب هوازدگی (Wi) را برای سنگ‌های سیلیسی آواری به صورت رابطه زیر تعریف می‌کنند:

در این رابطه، c نرخ و سرعت هوازدگی (آب و هوا) و t مدت زمان اقامت رسوبات در این شرایط هوازدگی (برجستگی) است. در سیستم‌های رسوبی قدیمه میزان c و t بر پایه نمودار Weltje (1994) محاسبه می‌شود که از طریق آن می‌توان رابطه‌ای روشن بین ترکیب ماسه‌سنگ‌ها، ضریب هوازدگی و نوع سنگ منشأ

(Fursich & Pandey, 2003). وجود ساختمان مورب تراف فرورفته که در شرایط توفانی شکل می‌گیرند اشاره به نوسانات شدید انرژی در محیط رسوبگذاری این ماسه‌سنگ‌ها دارد (Walker and Plint, 1992). همچنین رخساره‌های گریستونی نیز، به‌ویژه با داشتن الیپس‌های با فابریک مماسی، بیانگر نهشت کربنات‌ها در محیط با انرژی بالا است (Flugel, 2004). با توجه به ساخت‌های رسوبی، جورشدگی و گردشدگی بالای ماسه‌سنگ‌ها و همراهی آنها با رخساره‌های کربناتی پرانرژی، این رخساره به سدهای زیر آبی نسبت داده می‌شود.

۲- ورقه‌های ماسه‌ای دور از ساحل (Distal Sand Sheet)

این رخساره را ماسه‌سنگ‌های با جورشدگی و گردشدگی متوسط تشکیل می‌دهند که به سمت بالا روندی ریزشونده دارند. ماسه‌سنگ‌ها دارای لامینه‌های موازی بوده و با ستبرای لایه‌ای بین ۰/۳ تا ۰/۵ متر با میان‌لایه‌های شیلی دیده می‌شوند (شکل G-۲). این نهشت‌ها فاقد آثار و ساخت‌های حاصل از امواج و جریان‌های جزر و مد هستند. این رخساره بر روی رخساره‌های سدی قرار می‌گیرد و به طور تدریجی به رخساره‌های قسمت انتهایی دلتا (Prodelta) تبدیل می‌شود.

تفسیر

حفظ شدن لامینه‌ها و نبود آثار حاصل از امواج و جزر و مد می‌تواند نشان از یک محیط با انرژی نسبتاً پایین و نهشت ورقه‌های ماسه‌ای دور از ساحل باشد (Galloway and Hobday, 1996). با توجه به موقعیت چینه‌شناسی این رخساره که بر روی رخساره‌های سدی قرار دارد، می‌توان پیشنهاد کرد که این رخساره در محیط‌های دورتر از ساحل جایی که انرژی امواج و جزر و مد ضعیف بوده تشکیل شده است.

۳-۳. رخساره‌های قسمت انتهایی دلتا (Prodelta)

نهشته‌های آواری شیلی به صورت پراکنده دارای لامیناسیون‌های مسطح بوده ولی بخش عمده آنها که در قسمت‌های میانی و بالایی سازند جای دارند به صورت توده‌ای و بدون هرگونه لایه‌بندی هستند. این رسوبات همچنین با میان‌لایه‌های نازک ماسه سنگی ریز دانه و سیلتستونی همراه هستند (شکل H-۳) و در محل تماس رسوبات ماسه‌ای با شیلی ساخت‌های وزنی دیده می‌شوند. ستبرای رخساره شیلی در برش سر تخت شتران به مراتب بیشتر از برش چشمه‌بخشی است و نیز دارای میان‌لایه‌های ماسه‌سنگ و سیلتستونی کمتری است که این امر می‌تواند به ژرفای بیشتر حوضه در برش سر تخت شتران مرتبط باشد.

تفسیر

فابریک لامینه‌ای و نبود نشانه‌ها و پیکره‌های فسیلی، نشانگر شرایط محیطی فاقد اکسیژن (Anoxic) است (Cotter and Dries, 1998). قالب‌های وزنی در رسوبات قسمت انتهایی دلتا و جایی که لایه‌های از رسوبات درشت‌تر بر روی رسوبات گلی قرار می‌گیرند، تشکیل می‌شوند. حجم عظیم رسوبات شیلی که به طور عمده توده‌ای هستند و همراهی آنها با رخساره‌های دریایی و رودخانه‌ای می‌تواند گویای رسوبگذاری در بخش انتهایی دلتا و طی رسوبگذاری سریع ذرات معلق باشد (Einsele, 2000).

۴- مدل رسوبی و انطباق چینه‌شناسی سازند آب‌حاجی در دو برش مورد مطالعه

با توجه به بررسی رخساره‌های سنگی و شواهد سنگ‌شناسی پیشنهاد می‌شود که نهشته‌های سازند آب‌حاجی در برش‌های مورد مطالعه متعلق به یک محیط دلتایی متأثر از فرایندهای دریایی باشد (شکل ۴ و ۵). این شواهد عبارتند از:

- با توجه به جورشدگی و گردشدگی نسبتاً خوب رسوبات کنگلومرایی که دارای فابریک ایمبریکاسیون و شکل هندسی کانالی هستند، به همراه ویژگی‌هایی همچون عدم امتداد جانی، تغییرات عمودی در اندازه ذرات و ریزشوندگی به سمت بالا، حاکی از رسوبگذاری در بخش کانال رودخانه است.

برخورد صفحه ایران با توران (Fursich et al., 2009) و بیرون‌زدگی‌های ناشی از آن طی این دوره منطبق باشد؛ به طوری که رسوبات حاصل از فرسایش بلندی‌های ایجاد شده به مناطق حاشیه غیرفعال قاره‌ای انتقال یافته و نهشته شده‌اند. وجود چرخه مجدد رسوبی توسط شواهد سنگ‌نگاری نمونه‌های مورد مطالعه و نتایج نقطه‌شماری در نمودارهای (Dickinson (1985) $(Qt_{85.33}F_{1.81}L_{12.86})$ مینی بر خاستگاه کوهزایی چرخه مجدد مورد تأیید قرار می‌گیرد (شکل ۱۲- B و A).

۸- جایگاه زمین ساختی

داده‌های ژئوشیمیایی حاصل از تجزیه و تحلیل ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌های سازند آب‌حاجی بر روی نمودارهای تفکیکی (Bhatia (1983) در محدوده حاشیه غیرفعال قاره‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۱۳) به همین ترتیب، نسبت K_2O/Na_2O در برابر SiO_2 در نمودار (Roser and Korsch (1986) و مقادیر Fe_2O_3 ، MgO ، Na_2O ، TiO_2 و SiO_2 در نمودار مثلثی (Kroonenberg (1994) نشان‌دهنده رسوبگذاری ماسه‌سنگ‌های سازند آب‌حاجی در حاشیه غیرفعال قاره‌ای است (شکل ۱۴ و ۱۵).

۹- نتیجه‌گیری

- مطالعات صحرایی، ساختمان‌های رسوبی و رخساره‌های سنگی در سازند آب‌حاجی، در دو برش چشمه بخشی و سر تخت شتران، منجر به شناسایی سه دسته رخساره آواری شامل رخساره‌های دشت دلتایی، رخساره‌های جلوی دلتا و رخساره‌های انتهای دلتا و نیز دو رخساره کربناته مرتبط با سد گردید.
- داده‌های نقطه‌شماری ماسه‌سنگ‌های سازند آب‌حاجی و همچنین، تجزیه ژئوشیمیایی عناصر اصلی این ماسه‌سنگ‌ها، ترکیب آنها را کوارتزآرنایت، ساب‌لیتارنایت، لیتارنایت و ماسه‌های آهن‌دار نشان می‌دهد.
- نتایج تجزیه مدال و داده‌های ژئوشیمیایی بیانگر برخاستگاه زمین ساختی کراتون و چرخه مجدد و سنگ مادر رسوبی کوارتزی (حاصل چرخه مجدد رسوبی) است.
- شواهد سنگ‌نگاری و تجزیه مدال ماسه‌سنگ‌ها به وجود شرایط آب و هوایی مرطوب تا نیمه مرطوب اشاره دارد.
- شاخص‌های شیمیایی دگرسانی (CIA) و دگرسانی پلاژیوکلازها (PIA) محاسبه شده میزان هوازگی در منطقه منشأ را متوسط تا شدید معرفی می‌کند.
- نمودارهای تفکیک‌کننده حوضه‌های زمین‌ساختی بیانگر رسوبگذاری ماسه‌سنگ‌های سازند آب‌حاجی در حاشیه مناطق غیرفعال قاره‌ای است.

سپاسگزاری

بدینوسیله از همکاری آقایان اسد عبدی و نارام بایت گل در عملیات صحرایی و نمونه‌برداری صمیمانه قدردانی شده و از سرکار خانم مهندس نجمه اعتماد سعید برای کمک در تنظیم نهایی مقاله سپاسگزاری می‌گردد.

برقرار کرد. با به‌کارگیری داده‌های حاصل از نقطه‌شماری ماسه‌سنگ‌های سازند آب‌حاجی در این نمودار (شکل ۸-B)، بیشتر ماسه‌سنگ‌های این سازند در محدوده ضریب هوازگی ۱ و ۲ قرار می‌گیرند. این امر نشان‌دهنده ناحیه منشأ دگرگونی و پلوتونیک (با چیرگی منشأ دگرگونی)، برجستگی متوسط و آب و هوای نیمه‌مرطوب تا مرطوب است.

از سوی دیگر شاخص شیمیایی دگرسانی (CIA) ماسه‌سنگ‌های سازند آب‌حاجی از ۴۵ تا ۹۰ و به طور میانگین ۷۳ محاسبه شده است (جدول ۳). افزون بر این، براساس شاخص دگرسانی پلاژیوکلازها (PIA) (Fedo et al., 1995) که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

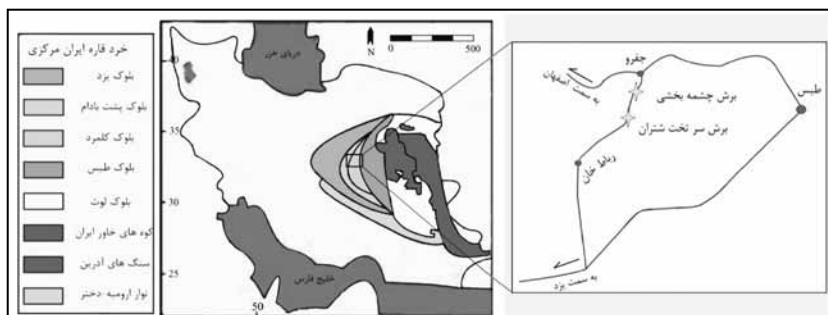
$$PIA = \frac{Al_2O_3 - K_2O}{(Al_2O_3 - K_2O) + CaO + Na_2O} \times 100$$

مقدار ۴۵ تا ۹۸ (میانگین ۷۷ درصد) برای ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه به دست آمده است (جدول ۳). این مقادیر حاکی از دگرسانی متوسط تا شدید در ناحیه منشأ است. همچنین بررسی روند‌های هوازگی (Nesbitt & Young, 1982) نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که ماسه‌سنگ‌های آب‌حاجی از درجه متوسط تا بالایی از دگرسانی برخوردارند (شکل ۹). شرایط آب و هوایی منتج شده از داده‌های ژئوشیمیایی سازند آب‌حاجی (معتدل) با موقعیت دیرینه جغرافیایی سرزمین‌های ایران طی دوره ژوراسیک که در عرض‌های ۴۰ تا ۵۰ درجه شمالی واقع شده است (Golonka and Ford, 2000)، قابل انطباق است. از سویی دیگر نتایج مطالعات سنگ‌نگاری این نمونه‌ها مبنی بر مقادیر کم فلدسپار و حضور فلدسپارهای هوازده، تأثیر فرایندهای هوازگی شیمیایی طی شرایط آب و هوایی معتدل تأیید می‌نماید.

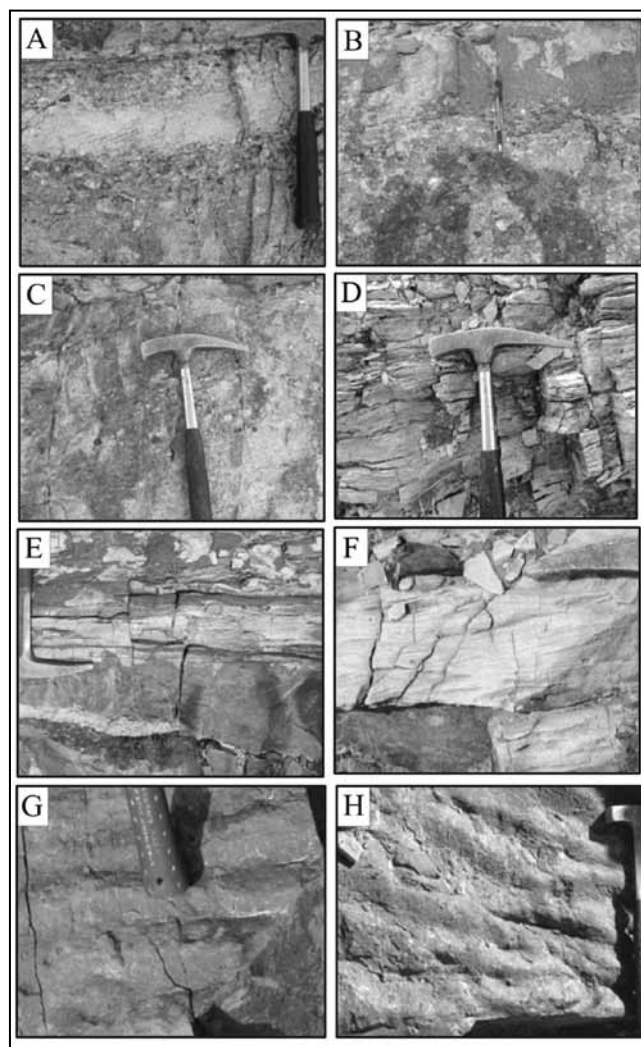
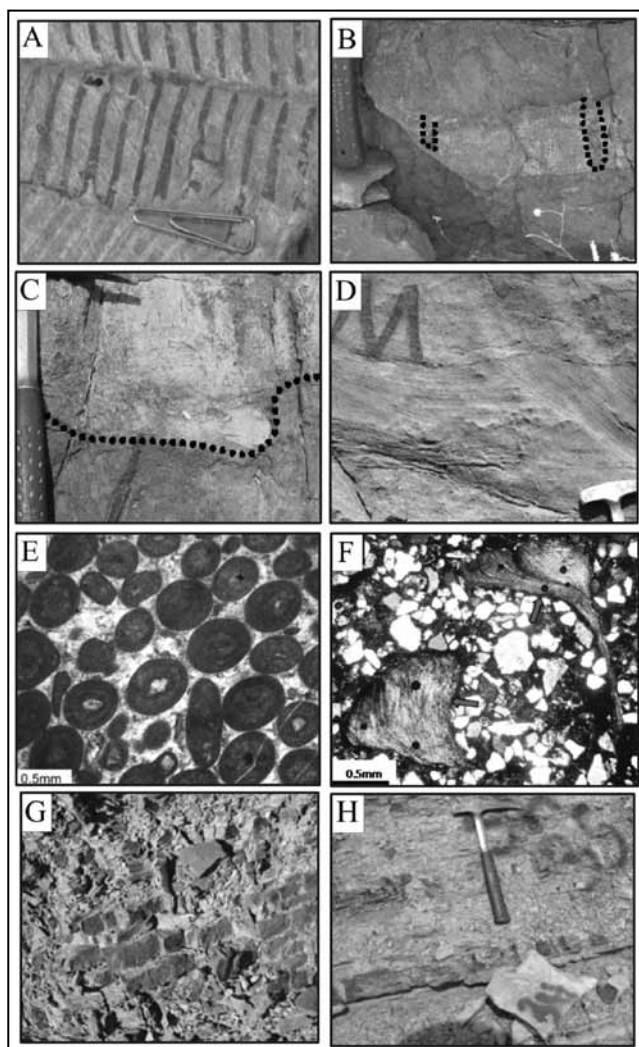
بر این اساس، ماسه‌سنگ‌های سازند آب‌حاجی، هوازگی متوسط تا شدیدی را تحمل نموده‌اند و از این عوامل مؤثر بر ترکیب شیمیایی آنها، نقش آب و هوای گرم و مرطوب غیر قابل انکار به نظر می‌رسد.

۷- سنگ مادر

همان‌گونه که در نمودار (Weltje (1994) (شکل ۸-B) نشان داده شده است، سنگ مادر ماسه‌سنگ‌های آب‌حاجی به طور چیره دگرگونی تا پلوتونیک معرفی می‌گردد. همچنین نمودار چهارتابی (Basu et al. (1975) که به اهمیت بررسی کوارتزهای چند بلوری و تک بلوری و نوع خاموشی دانه‌های کوارتز در مطالعات برخاستگاهی می‌پردازد، سنگ منشأ دگرگونی (درجه متوسط تا بالا) و پلوتونیک را برای سازند آب‌حاجی پیشنهاد می‌کند (شکل ۱۰). ترسیم داده‌های اکسیدهای عناصر اصلی ماسه‌سنگ‌های سازند آب‌حاجی بر روی نمودارهای (Roser & Korsch (1988)، محدوده برخاستگاه رسوبی کوارتزی را نشان می‌دهند (شکل ۱۱-A و ۱۱-B). چنین سنگ مادری بیانگر خاستگاه چرخه مجدد رسوبی همراه با جایگاه زمین‌ساختی حاشیه غیرفعال قاره‌ای و درون کراتونی است (Cingolani et al., 2003). نتایج حاصل از داده‌های ژئوشیمی سازند آب‌حاجی می‌تواند با جنبش‌های کوهزایی سیمیرین در مرز تریاس-ژوراسیک، ناشی از

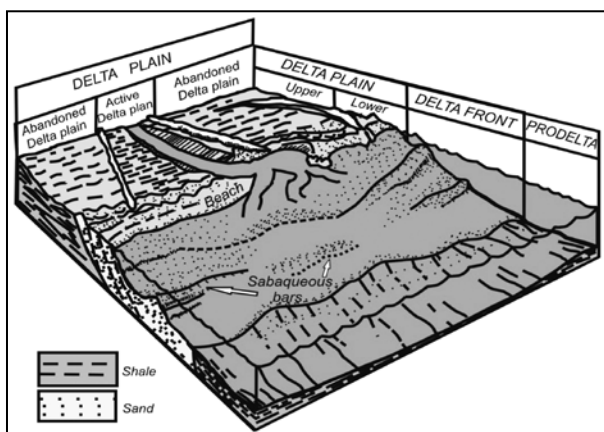


شکل ۱- موقعیت زمین شناسی منطقه مورد مطالعه در ایران مرکزی و راه‌های دسترسی به آن.

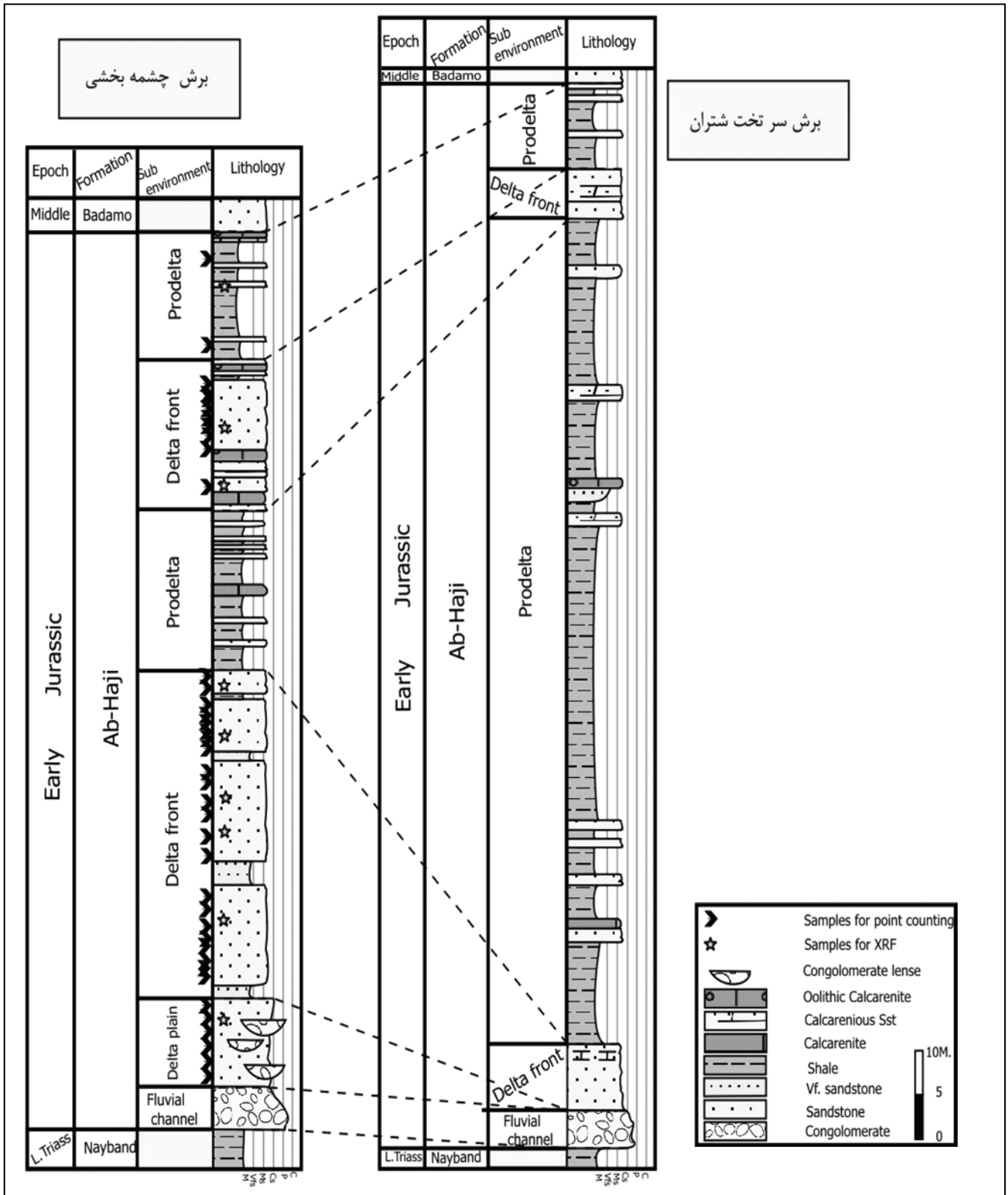


شکل ۳- A) فسیل گیاهی موجود در ماسه سنگ‌های رخساره جلوی دلتا. B) آثار حفاری‌های عمودی توسط موجودات در رخساره جلوی دلتا. C) آثار حفر توسط جریان پر انرژی (Flute cast). D) لایه‌بندی مورب فرورفته (Swelly cross stratification) تشکیل شده در ماسه سنگ‌های رخساره سدی. E) ائید گریستون از رخساره سدی شامل ائیدهای نرمال با بافت مماسی (PPL). F) بیوکلست گریستون‌های ماسه‌دار از رخساره سدی که حاوی خرده‌های بیوکلست از جمله براکیوپود است (XPL). G) ماسه سنگ‌های همراه با بین لایه‌های نازک شیلی مربوط به رخساره ماسه‌های دور از ساحل. F) شیل‌های سبز رنگ با میان لایه‌های نازک ماسه سنگ و سیلتستونی از رخساره بخش انتهایی دلتا.

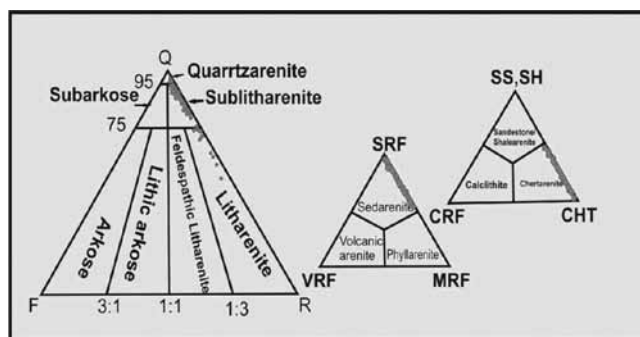
شکل ۴- A) رسوبات کنگلومرایی به شکل کانال، دارای دانه‌های چرتی با فابریک ایمریکاسیون. B) رسوبات کنگلومرایی کانال اصلی رودخانه که در روندی ریز شونده به سمت بالا به ماسه سنگ دارای لایه‌بندی تبدیل می‌شوند. C) بقایای کانال‌های انشعابی به صورت توده‌های دانه‌ای درشت بدون نظم که گویای تحت تأثیر قرار گرفتن این کانال‌ها توسط امواج است. D) ماسه سنگ‌های خیلی ریز تا درشت دانه با لایه‌های موازی از رخساره بین کانال انشعابی. E) ماسه سنگ‌های درشت تا ریز دانه با لایه‌بندی موازی تشکیل شده در قسمت جلوی دلتا. F) رخساره ماسه سنگی با لایه‌بندی مورب تراف. G) ریپل مارک با خط رأس مستقیم در رخساره جلوی دلتا. H) ریپل مارک‌های با خط رأس دوشاخه‌ای در جلوی دلتا تشکیل شده‌اند.



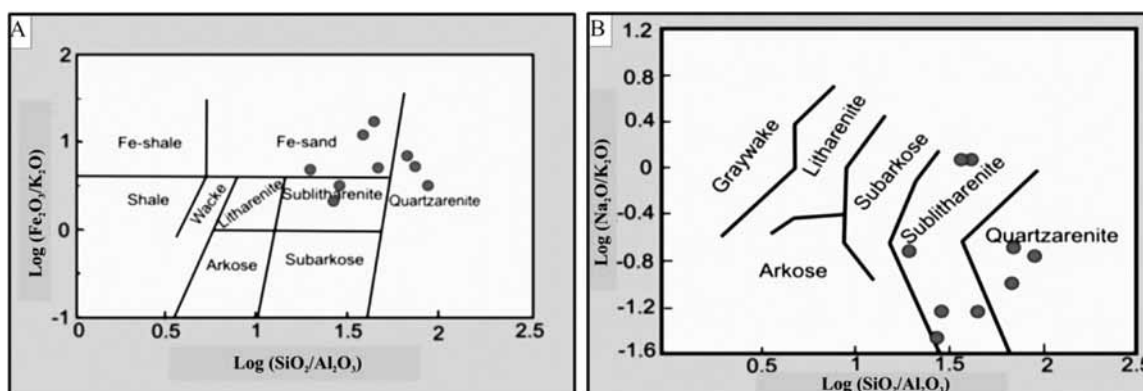
شکل ۴- ستون چینه‌شناسی برش‌های مورد مطالعه همراه با نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل رخساره و موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه برای نقطه شماری و تجزیه شیمیایی نسبت به قاعده سازند.



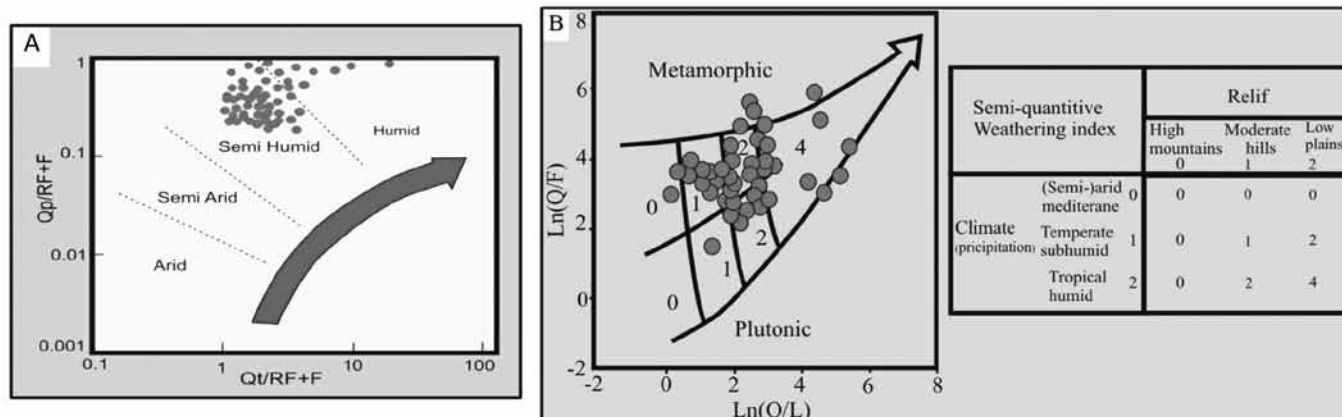
شکل ۵- مدل رسوبی پیشنهادی برای تشکیل رسوبات سازند آب حاجی در برش های مورد مطالعه.



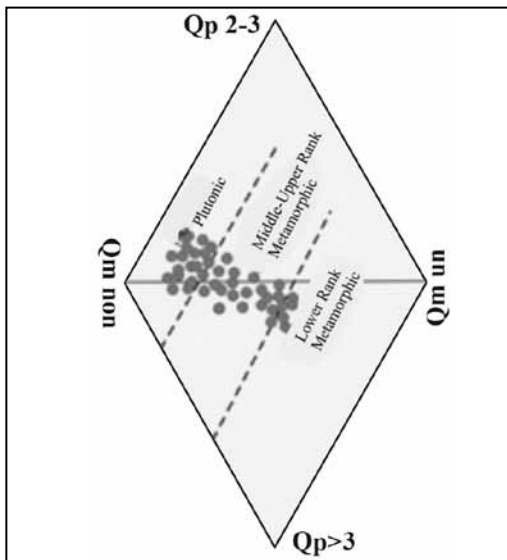
شکل ۶- داده‌های نقطه‌شماری در نمودار نامگذاری Folk (1980) که ترکیب کوارتز آرنایت، ساب‌لیتارنایت و لیت آرنایت را برای ماسه‌سنگ‌های سازند آب‌حاجی در برش‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.



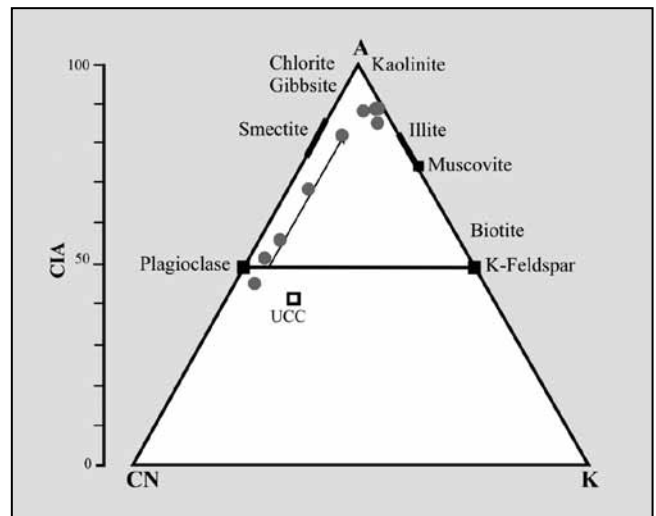
شکل ۷- A) رده‌بندی ژئوشیمیایی ماسه‌سنگ‌ها (Pettijohn et al., 1987) که نمونه‌های ماسه‌سنگی سازند آب‌حاجی در محدوده کوارتز آرنایت و ساب‌لیتارنایت قرار می‌گیرند. B) رده‌بندی ماسه‌سنگ‌ها (Herron, 1988) که ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه در محدوده‌های کوارتز آرنایت، ساب‌لیتارنایت و ماسه آهن‌دار قرار می‌گیرند.



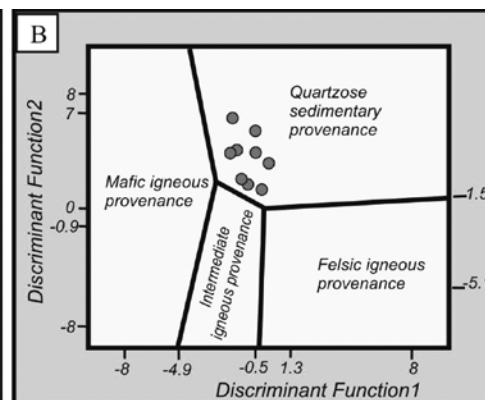
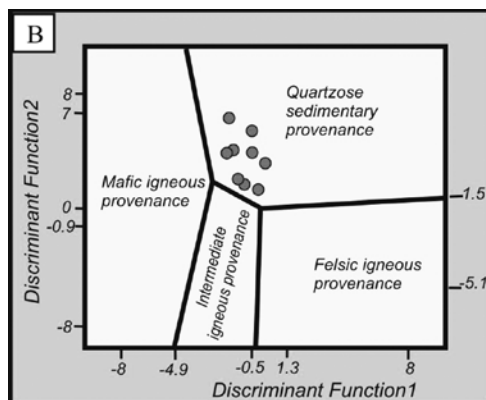
شکل ۸- A) داده‌ها در نمودار (Suttner and Dutta (1986) آب و هوای نیمه‌مرطوب تا مرطوب را برای ماسه‌سنگ‌های این سازند نشان می‌دهد. B) داده‌های حاصل از نقطه‌شماری در نمودار (Weltje (1994) نشان دهنده ناحیه منشأ دگرگونی و پلوتونیک (با چیرگی منشأ دگرگونی)، برجستگی متوسط و آب و هوای مرطوب تا نیمه مرطوب است.



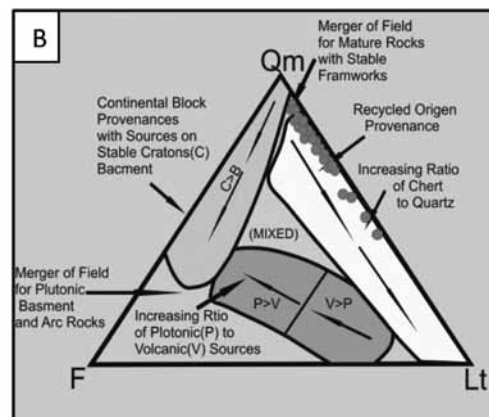
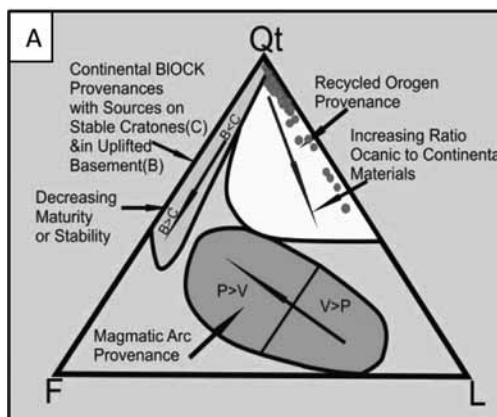
شکل ۱۰- داده‌های نقطه‌شماری در نمودار چهارتایی Basu et al. (1975). سنگ مادر پلوتونیک و دگرگونی درجه متوسط تا بالا برای ماسه‌سنگ‌های سازند آب حاجی را نشان می‌دهد.



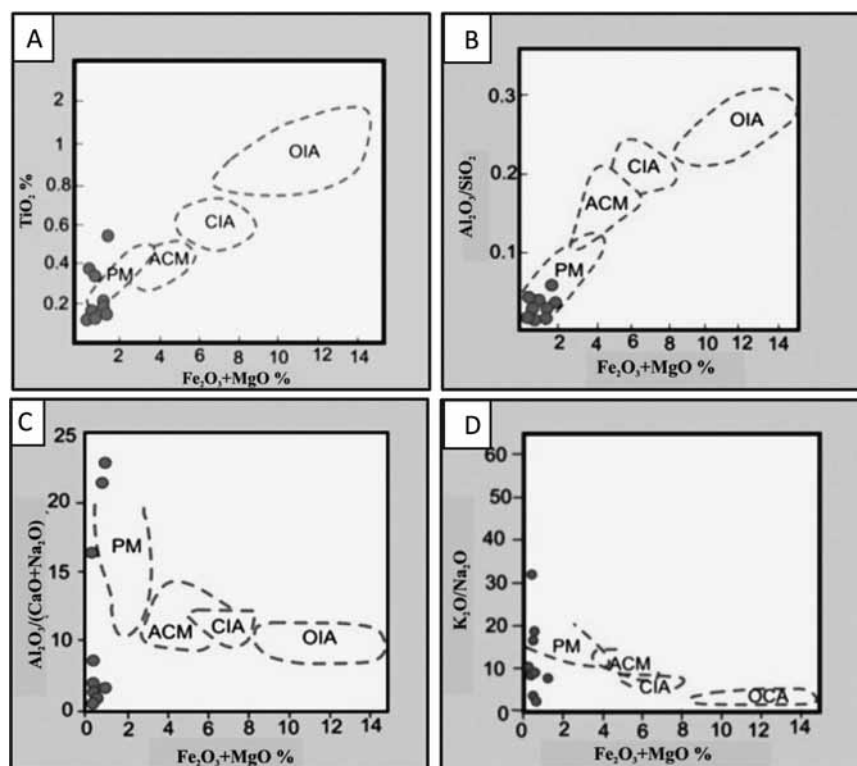
شکل ۹- داده‌های ژئوشیمیایی ماسه‌سنگ‌های سازند آب حاجی در مثلث A-CN-K (Nesbitt and Young, 1982) $(Al_2O_3 - CaO + Na_2O - K_2O)$ محدوده هوازگی متوسط تا شدید را نشان می‌دهند.



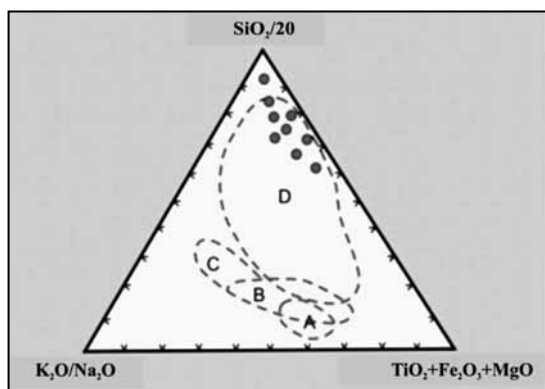
شکل ۱۱- (A) نمودار تابعی مشخص کننده برخاستگاه ماسه‌سنگ‌ها با استفاده از اکسیدهای عناصر اصلی (Roser and Korsch, 1988). داده‌های نمونه‌های ماسه‌سنگی سازند آب حاجی در محدوده برخاستگاه رسوبی کوارتزی قرار گرفته‌اند. (B) نمودار تابعی تفکیک کننده سنگ منشأ ماسه‌سنگ‌ها بر اساس نسبت اکسیدهای اصلی تشکیل دهنده سنگ (Roser and Korsch, 1988) در این نمودار نمونه‌های ماسه‌سنگی سازند آب حاجی در محدوده برخاستگاه رسوبی کوارتزی قرار می‌گیرند.



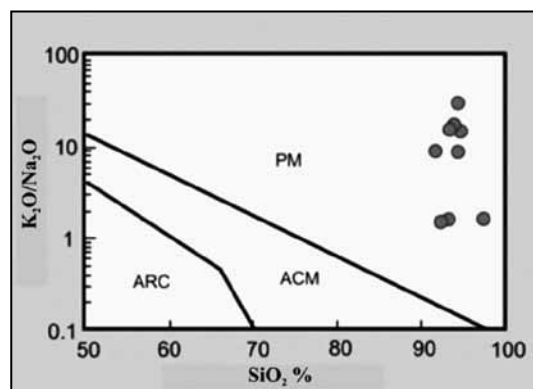
شکل ۱۲- داده‌های نقطه‌شماری در نمودارهای (A) $(Qt F L)$ و (B) $(Qm F L)$ Dickinson (1985) نشان دهنده برخاستگاه کوهزایی چرخه مجدد برای این ماسه‌سنگ‌ها است. www.SID.ir



شکل ۱۳- نمودارهای دوبعدی (Bhatia (1983) با استفاده از نسبت اکسیدهای عناصر اصلی. در این نمودارها چهار محدوده زمین ساختی، جزایر کماتی اقیانوسی (OIA)، جزایر کماتی قاره‌ای (CIA)، حاشیه فعال قاره‌ای (ACM) و حاشیه غیرفعال قاره‌ای (PM) مشخص شده است که در همه این نمودارها موقعیت زمین ساختی حاشیه غیرفعال قاره‌ای برای ماسه سنگ‌های سازند آب حاجی قابل توجه است. در شکل C-13، CaO حاصل از سیمان کربناته سبب منحرف شدن داده‌ها به سمت پایین محور شده است. در شکل d-13 تپی شدگی از K_2O به علت حذف فلدسپارهای پتاسیم موجب انتقال داده‌ها به سمت حاشیه نمودار شده است.



شکل ۱۵- نمودار سه تایی (Kroonenberg (1994)، در این نمودار نیز داده‌های حاصل از ماسه سنگ‌های سازند آب حاجی محدوده جایگاه زمین ساختی حاشیه غیرفعال قاره‌ای را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴- نمودار دوتایی $\text{Log}(K_2O/Na_2O) - SiO_2$ (Roser and Korsch, 1988). رسم داده‌های حاصل از ماسه سنگ‌های سازند آب حاجی بر روی این نمودار نشان دهنده جایگاه زمین ساختی غیرفعال حاشیه قاره‌ای برای آنها است.

جدول ۱- انواع دانه‌های نقطه شماری.

Qm non	Non-undulouse monocrystalline quartz
Qm un	Undulouse monocrystalline quartz
Qpq	Polycrystalline quartz
Qpq2-3	Qpq2-3 crystal units per grain
Qpq>3	Qpq>3 crystal units per grain
Cht	Chert
Qp	Polycrystalline quartzose (or calcedonic) lithic fragments (Qpq + Cht)
Qt	Total quartzose grains (Qm + Qp)
Q	Total (Qm non + Qm un) and Qpq used for classification (Qm + Qpq)

P	Plagioclase feldspar
K	Potassium feldspar
F	Total feldspar grains (P + K)
Lv	Volcanic-metavolcanic rock fragments
Ls	Sedimentary rock fragments
Lsm	Metasedimentary rock fragments
Lc	Carbonate (reworked fossils and limeclasts include mudstone) rock fragments
L	Unstable (siliciclastic) lithic fragments (Lv + Ls + Lsm)
Lt	Total siliciclastic lithic fragments (L + Qp)
RF	Total unstable rock fragments and chert

جدول ۲- داده‌های نقطه شماری نمونه‌های ماسه‌سنگی در برش چشمه بخشی.

S.N	Qm non	Qm un	Qpq >3	Qpq 2-3	K	P	Lsm	Lv	Ls	Le	M	Cht	Acc	Cem	Hc	Sum	L	RF	F	Qpq	Qm	Qp	Qt
3B	254	30	4	3	3	0	4	0	4	0	5	83	4	47	5	447	4	87	3	7	284	91	291
4B	250	13	8	4	7	0	8	0	0	0	7	66	3	54	2	422	8	74	8	12	263	78	275
7B	294	12	8	3	8	0	3	0	0	0	2	50	9	98	15	492	3	53	8	11	306	61	317
9B	242	38	16	27	5	0	8	0	8	0	5	37	2	50	0	458	8	45	5	43	282	80	325
13B	225	28	9	4	3	0	5	0	6	0	8	56	5	56	4	404	11	78	3	13	253	69	266
17B	298	37	6	5	8	0	1	0	2	0	4	35	3	116	0	513	2	37	8	11	335	46	346
18B	306	24	5	1	3	5	0	0	5	0	3	12	3	90	10	467	5	17	8	6	336	18	342
20B	313	29	8	10	8	5	0	0	0	0	2	10	5	102	8	500	0	10	13	18	342	28	360
25B	267	50	15	6	15	0	0	0	0	0	6	16	3	50	15	438	1	17	15	21	317	37	338
26B	278	40	12	7	5	2	6	0	0	0	1	50	4	75	10	474	0	50	7	19	318	69	337
29B	302	15	8	5	9	6	0	0	0	0	18	32	2	25	15	437	0	32	15	13	317	45	330
30B	278	26	6	7	3	4	3	0	0	0	4	25	3	32	5	386	3	28	7	13	304	38	317
32B	264	24	18	8	5	7	4	0	0	0	2	16	2	85	2	443	0	16	12	26	288	42	314
33B	280	63	16	12	5	0	11	0	0	0	5	11	3	50	4	471	11	22	5	28	343	39	371
34B	299	35	24	10	3	0	3	0	1	0	3	12	5	74	0	469	4	16	3	34	334	46	368
38B	270	50	8	10	8	1	11	0	0	0	0	48	2	40	0	448	11	59	9	18	320	66	338
41B	280	50	22	15	5	0	5	0	1	0	10	36	4	12	0	401	6	42	5	37	330	72	367
4A	139	18	30	24	3	0	21	0	4	0	11	147	7	14	23	541	25	172	3	54	157	211	211
6A	250	15	20	25	0	0	14	0	3	0	4	125	2	12	21	491	17	142	0	45	265	170	305
7A	169	12	7	11	0	0	7	0	5	0	4	87	4	14	17	336	12	99	0	18	181	105	199
8A	175	20	20	25	7	0	10	0	4	0	3	120	2	24	4	514	14	134	7	32	195	152	222
9A	246	27	10	2	7	0	9	0	2	0	4	75	3	38	5	426	11	86	7	12	272	87	294
10A	297	10	20	10	7	0	0	0	0	0	3	38	1	28	10	334	0	38	7	17	307	45	324
13A	255	18	15	15	6	0	12	0	3	0	0	80	2	22	21	349	15	95	6	30	273	110	303
14A	265	8	19	14	7	0	4	0	2	0	6	75	2	32	21	455	6	81	7	33	273	108	306
15A	300	20	12	6	5	0	10	0	1	0	5	41	2	28	3	433	11	52	8	11	320	42	331
16A	290	35	5	6	10	0	2	0	2	0	7	38	0	35	4	433	4	42	10	11	325	49	336
18A	270	25	12	14	3	1	2	0	4	0	3	36	2	39	1	412	6	40	4	26	295	62	321
S.N	Qm non	Qm un	Qpq >3	Qpq 2-3	K	P	Lsm	Lv	Ls	Le	M	Cht	Acc	Cem	Hc	Sum	L	RF	F	Qp q	Qm	Qp	Qt
22A	282	37	6	3	4	0	5	0	0	0	12	21	7	42	11	425	5	26	4	9	319	27	325
23A	293	24	6	3	5	0	16	0	2	0	5	44	5	33	12	449	18	62	5	9	317	53	326
24A	300	25	10	4	5	0	13	0	2	0	3	40	4	65	0	471	15	55	5	14	325	54	339
30A	345	23	15	4	2	0	1	0	0	0	2	5	2	21	21	431	0	5	2	19	368	24	386
45A	397	22	10	4	6	0	0	0	0	0	5	49	4	82	25	598	0	49	6	14	419	63	513
46A	347	21	8	4	5	0	0	0	0	0	4	9	0	105	11	514	0	9	5	12	368	21	380
48A	397	21	7	5	7	0	0	0	0	0	2	39	2	111	12	613	0	39	7	12	418	51	430
52A	442	30	15	4	7	0	2	0	0	0	3	28	4	45	9	580	2	30	7	19	472	47	491
53A	352	24	10	6	3	0	13	0	0	0	0	21	3	21	4	457	13	43	3	16	376	37	392
56A	416	35	5	2	2	0	2	0	0	0	0	33	1	28	4	528	2	35	2	7	451	40	458
57A	300	27	15	10	6	0	1	0	2	0	2	25	1	68	8	465	3	28	6	25	327	50	352
Aa	338	27	9	7	7	0	1	0	2	0	5	17	2	72	18	505	3	20	7	16	364	31	380
Ab	342	25	10	5	3	0	2	0	0	0	2	15	4	25	1	434	2	17	3	15	367	30	382
Ac	314	11	5	3	2	0	3	0	1	0	2	15	2	29	4	391	4	19	2	8	325	23	333
Max	139	8	4	1	0	0	0	0	0	0	0	9	0	21	336	0	5	0	6	157	157	18	199
Min	397	63	30	27	15	7	21	0	8	0	18	147	9	116	23	613	25	142	15	54	472	211	513
Ave	291	27	12	8	10	0.7	5	0	2	0	5	43	3	50	9	456	6	50	6	19	318	61	456
Std	59	12	6	6	3	1.7	5	0	2	0	4	32	2	29	7	61	6	36	3	11	61	40	61

جدول ۳- درصد فراوانی عناصر اصلی و مقدار CIA و PIA در ماسه‌سنگ‌های سازند آب‌حاجی.

lithology	S.N	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	CIA	PIA
Sst.1	Ab	94.09	2.09	0.39	2.32	0.01	0.18	0.13	0.103	0.006	0.021	45	45
Sst.2	Ai	96.35	1.44	0.34	1.00	0.01	0.1	0.06	0.132	0.006	0.019	56	57
Sst.3	54A	94.70	2.47	0.87	0.82	0.15	0.13	0.18	0.155	0.008	0.052	69	71
Sst.4	52A	93.29	2.23	1.25	1.81	0.14	0.12	0.21	0.142	0.034	0.024	52	52
Sst.5	31A	91.87	4.87	1.21	0.10	0.11	0.59	0.25	0.591	0.002	0.024	86	95
Sst.6	29A	95.53	3.65	0.21	0.09	0.01	0.34	0.06	0.434	0.001	0.03	89	97
Sst.7	22A	97.88	1.14	0.07	0.17	0.01	0.06	0.08	0.175	0.001	0.048	83	86
Sst.8	18A	94.88	3.41	0.40	0.03	0.02	0.35	0.17	0.382	0.001	0.007	90	98
Sst.9	9A	97.52	1.35	0.20	0.07	0.01	0.09	0.04	0.127	0.001	0.010	89	94

References

- Aghanabati, A., 1977- Etude geologique de la region de Kalmard (W. Tabas). Geological Survey of Iran, Report No.35, 230p.
- Basu, A., Young, S.W., Suttner, L.J., James, W.C., Mack, G.H., 1975- Re-evaluation of the use of undulatory extinction and polycrystallinity in detrital quartz for provenance interpretation. *Journal of Sedimentary Petrology*. 45, 873–882.
- Bhatia, M.R., 1983- Plate tectonics and geochemical composition of Sandstones. *Journal of Geology*. 91, 611-627.
- Bhatia, M.R., Crook, K.A.W., 1986- Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basin. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 92, 181–193.
- Bracciali, L., Marroni, M., Pandolfi, L., Rocchi, S., 2007- Geochemistry and petrography of Western Tethys Cretaceous sedimentary covers (Corsica and Northern Apennines): From source areas to configuration of margins, in: Arribas, J., Critelli, S., Johnsson, M.J. (Eds.), *Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry*. Geological Society of American Special Paper. 420, 73-93.
- Bromley, R.G., 1996- Trace fossils: Biology, taphonomy and applications. Chapman & Hall. 361p.
- Carlos, A.U, Ronald, J.S., 2008- A highstand shelf-margin delta system from the Eocene of West Spitsbergen, Norway. *Sedimentary Geology*. 2038, 229-245.
- Catuneanu, O., 2003- Sequence Stratigraphy of Clastic Systems. Geological Association of Canada, Short Course Notes. 16, 248.
- Cingolani, C.A., Marcelo, M., Paulina, A., 2003- Composition, provenance, and tectonic setting of Ordovician siliciclastic rocks in the San Rafael block: Southern extension of the Precordillera crustal fragment, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*. 16, 91-106.
- Coleman, J.M., 1964- Deltas, Processes of Deposition and Models for Exploration. International Human Resources Development Corporation. 124p.
- Coleman, J.M., 1981- Periodic mudflat progradation, northeastern coast of South America; a *Journal of Sedimentary Research*. 51, 1069-1075.
- Cotter, E., Driese, S.G., 1998- Incised valley fills and other evidence of sea level fluctuations affecting deposition of the Catskill formation (upper Devonian), Appalachian Foreland Basin, Pennsylvania. *Journal of Sedimentary Petrology*. 62, 1130-1146.
- Dalrymple, R.W., Zaitline, B.A., Boyd, R., 1992- Estuarine facies models: Conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Research*. 62, 1130-1146.
- Das, A., AL-Mikhlaifi, A.S., Kaur, P., 2006- Geochemistry of Mansar Lake sediments, Jammu, India: Implication for source-area weathering, provenance, and tectonic setting. *Journal of Asian Earth Sciences* 26, 649-668.
- Dickinson, W.R., 1970- Interpreting detrital modes of greywacke and arkose. *Journal of Sedimentary Petrology*. 40, 695–707.
- Dickinson, W.R., 1985- Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In: Zuffa, G.G., (Eds.), *Provenance of Arenites*. Reidel Publ., Dordrecht. 333–363.
- Einsele, G., 2000- *Sedimentary Basins: Evolution, Facies and Sediment Budget* (2th Ed), Springer Verlag. 292p.
- Eriksson, L.H., Eriksson, P.G., Condie, K.C., Tirsgaard, H., Muellwe, W.U., Altermann, W., Miall, A., Daspler, L.B., 1998- Precambrian clastic sedimentation systems, *Sedimentary Geology* 120, 5–53.
- Fedo, C.M., Nesbitt, H.W., Young, G.M., 1995- Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology*. 23, 921-924.
- Fedo, A.J., Eriksson, K.A., Krogstad, E.J., 1996- Geochemistry of shales from the Archean (3.0 Ga) Buhwa Greenstone Belt, Zimbabwe: implications of provenance and source-area weathering. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 60, 1751–1763.
- Flügel, P., 2004- *Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 976p.
- Folk, R. L., 1980- *Petrography of sedimentary rocks*. Hemphill Publishing Company. 182p.
- Fursich, F. T., Wilmsen, M., Seyed-Emami, K. Majidifard, M. R. , 2009- Lithostratigraphy of the Upper Triassic–Middle Jurassic Shemshak Group of Northern Iran. In: Brunet, M. F., Wilmsen, M., Granath, J. W. (Eds) *South Caspian to Central Iran Basins*. Geological Society, London, Special Publication. 312, 129–160.
- Fursich, F.T., Pandey, D. K., 2003- Sequence stratigraphic significance of sedimentary cycles and shell concentrations in the Upper Jurassic–Lower Cretaceous of Kachchh, western India. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 193, 285-309.
- Galloway, W.E., Hobday, D.K., 1996- *Terrigenous clastic depositional systems*. Second edition, Springer-Verlag. 489p.
- Gazzi, P., 1966- Le arenarie del flysch sopracretaceo dell'Appennino modenese; correlazioni con il flysch di Monghidoro. *Mineralog. Petrograph. Acta*. 12, 69–97.
- Golonka, J., Ford, D., 2000- Pangean (Late Carboniferous–Middle Jurassic) paleoenvironment and lithofacies, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 161, 1–34.
- Grantham, J.H., Velbel, M.A., 1988- The influence of climate and topography on rock fragment abundance in modern fluvial sands of the southern Blue Ridge Mountains, North Carolina. *Journal of Sedimentary Petrology*. 58, 219-227.
- Herron, M. M., 1988- Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Petrology*. 58, 820-829.

- Hessler, A.M., Lowe, D.R., 2006- Weathering and sediment generation in the Archean: an integrated study of the evolution of siliciclastic sedimentary rocks of the 3.2 Ga Moodies Group, Barberton Greenstone Belt, South Africa. *Precambrian Research*. 151 (3–4), 185.
- Kroonenberg, S.B., 1994- Application of bulk sand geochemistry in mineral exploration and Quaternary research: a methodological study of the Allier and Dore terrace sands, Limagne rift valley, France. *Applied Geochemistry*. 8, 177-187.
- McBride, E.F., 1985- Diagenetic process that affect provenance determinations in sandstone, In: G.G. Zuffa (Eds.), *Provenance of arenite*. Reidel Publishing Company. 115-138.
- McLennan, S.M., Taylor, S.R., McCulloch, M.T., Maynard, J.B., 1990- Geochemical and Nd–Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: crustal evolution and plate tectonic association. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 54, 2015–2050.
- Miall, A.D., 1994- Reservoir heterogeneities in fluvial sandstones: lessons from outcrop studies. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. 72, 682– 697.
- Miall, A.D., 1996- *The Geology of Fluvial Deposits*. Springer-Verlag. 582 p.
- Moslow, T.F. and Tye, R.S. , 1985- Recognition and characterization of Holocene tidal inlet sequences: *Marine Geology*. 63. 129-151.
- Nemec, W., Postma, G., 1993- Quaternary alluvial fans in southwestern Crete: sedimentation processes and geomorphic evolution. In: Marzo, M., Puigdefábregas, C. (Eds.), *Alluvial Sedimentation*. International Association of Sedimentologists, Special Publication. 235–276.
- Nemec, W., Steel, R.J., 1984- Alluvial and coastal conglomerates: their significant features and some comments on gravelly mass-flow deposits; In: *Sedimentology of Gravels and Conglomerates* (Eds.), E H Koster and R J Steel, Canadian Society Petroleum Geology Memoir. Pp 10–31.
- Nesbitt, H.W., Young, G.M., 1982- Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamics and kinetic considerations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 48, 1523–1534.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R., 1987- *Sand and Sandstone*, 2nd ed. Springer. 553p.
- Ramos, A., Sopena, A., 1983- Evolving fluvial architecture during a marine transgression: Upper Buntsandstein, Triassic, central Spain. *Sedimentary Geology*. 75, 257-281.
- Ramos, A., Galloway, W.E., 1990- Facies and sand-body geometry of the Queen City (Eocene) tide-dominated delta-margin embayment, NW Gulf of Mexico basin. *Sedimentology*. 37, 1079-1098.
- Reading, H.G., 1996- *Sedimentary Environment*. Third ed., Blackwell. 888p.
- 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.
- Roser, B.P., Korsch, R.J., 1986- Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *Journal of Geology*. 94, 635–650.
- Selly, F.L., 1996- *Ancient Sedimentary Environment*. 4th ed. Chapman & Hall. 300p.
- Suttner, L.J., Dutta, P.K., 1986- Alluvial sandstone composition and paleoclimate, I. Framework mineralogy. *Journal of Sedimentary Petrology*. 56, 329-345.
- Suttner, L.J., Basu, A., Mack, G.M., 1981- Climate and the origin of quartzes. *Journal of Sedimentary Petrology*. 51, 1235–1246.
- Tucker, M.E., 2001- *Sedimentary Petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks*, Blackwell Scientific Publication. 260p.
- Walker, R.G., Plint, A.G., 1992- Wave and storm-dominated shallow marine systems. In: Walker, R.G., James, N.P. (Eds.), *Facies Models: Response to sea level change*. Geological Association of Canada. 219–238.
- Walker, R.G., 1983- Particle transport by continental water flows in relation to erosion, deposition, soils, and human activities, *Sedimentary Geology*. 20, 81-139.
- Weltje, G.J., 1994- Provenance and dispersal of sand-sized sediments: Reconstruction of dispersal patterns and sources of sand-sized sediments by means of inverse modelling techniques. *Faculteit Aardwetenschappen, Universiteit Utrecht*. 121, 1- 28.