

بازسازی شرایط تهنشینی نهشته‌های آواری پالئوسن (سازند کرمان) در شمال شرق ایران مرکزی (گستره کاشمر) بر مبنای ویژگی‌های سنگ‌رخساره‌ای و رخساره‌های میکروسکوپی

سیده‌حلیمه هاشمی عزیزی^{۱*}، پیمان رضائی^۲ و حسین عسکری^۳

۱- دانش‌آموخته دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

نویسنده مسئول: s.hashemiazizi@basu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۹/۱۴ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

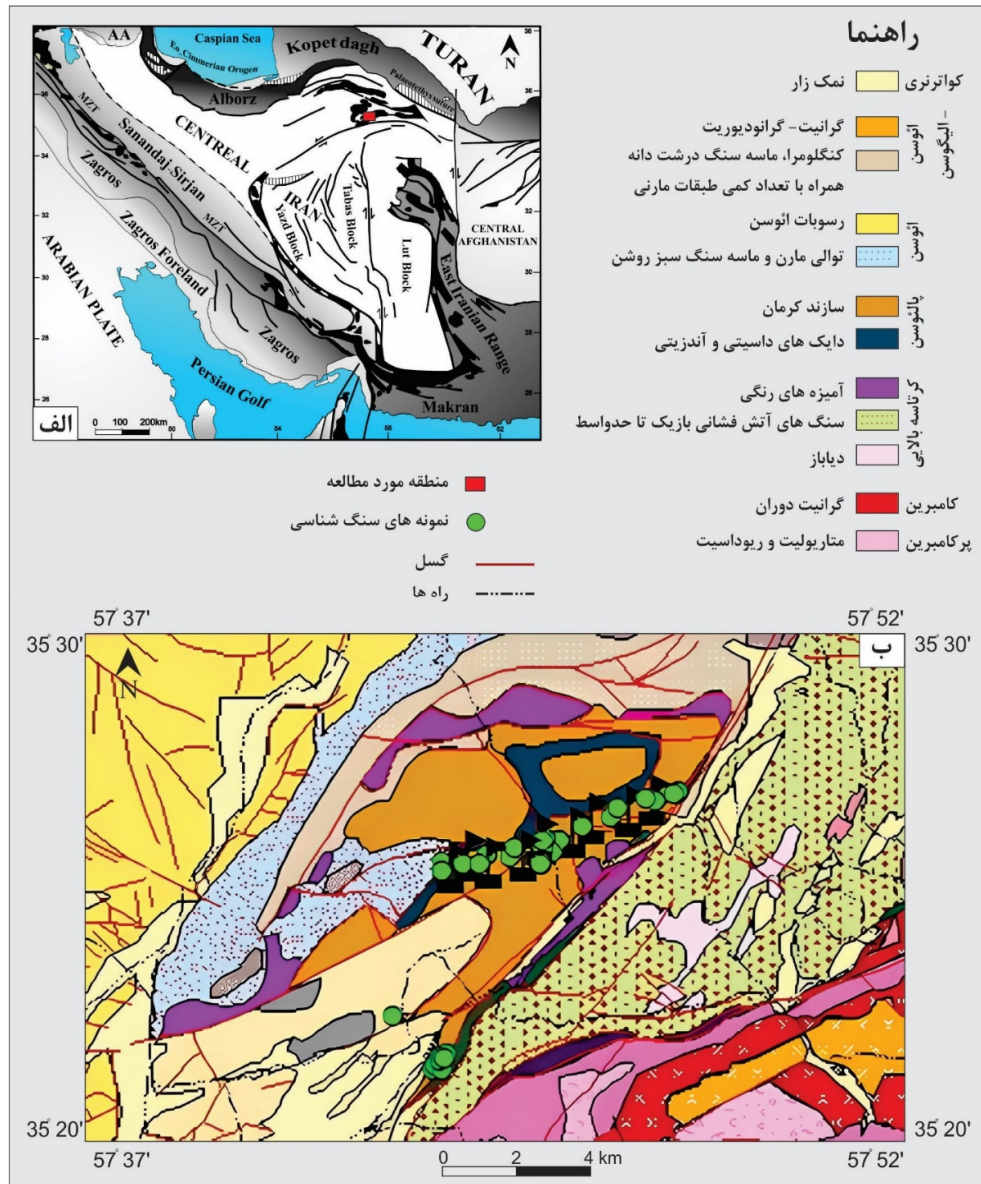
این مطالعه به بررسی سنگ‌رخساره و رخساره‌های میکروسکوپی و بازسازی محیط رسوبی سازند کرمان به سن پالئوسن واقع در شمال شرق ایران مرکزی پرداخته است، که مرکب از توده‌های کنگلومرای پلی‌میکتیک (چند منشأیی) و میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی درشت‌دانه است. مطالعه دقیق رسوب‌شناسی مانند اندازه دانه غالب، درجه گردشدگی و جورشدگی دانه‌ها، بافت و چین‌بندی منجر به شناسایی پنج سنگ‌رخساره شده است: کنگلومرای توده‌ای دانه‌پشتیبان (Gcm)، کنگلومرای توده‌ای زمین‌پشتیبان (Gmm)، کنگلومرا با طبقه‌بندی افقی (Gh)، ماسه‌سنگ با طبقه‌بندی افقی (Sh) و ماسه‌سنگ توده‌ای (Sm). بررسی سنگ‌شناسی در این سازند به شناسایی سه رخساره میکروسکوپی شامل کنگلومرای پترومیکت، ولکانیک‌آرنایت و فلدسپاتیک لیتارنایت منجر شده است. کنگلومرای سازند کرمان عمدتاً از گراول‌های بازالتی و آندزیتی و کمتر سنگ‌آهک و توف تشکیل شده است. همراهی سنگ‌رخساره‌ها با یکدیگر مرتبط با عناصر ساختاری جریان ثقیلی رسوب (SG) و توده‌های ماسه‌سنگ پرکننده کانال (CH) هستند که در سیستم‌های مخروط‌افکنه و رودخانه گیسویی نزدیک به منشأ برجای گذاشته شده‌اند. مطالعه حاضر شناخت مهمی را از محیط رسوبی سازند کرمان فراهم می‌کند.

واژگان کلیدی: ایران مرکزی، سازند کرمان، سیلیسی‌آواری، کنگلومرا، رسوبات آبرفتی

۱- پیشگفتار

سنگ‌شناسی این منطقه را سنگ‌های دگرگونی و آذرین تشکیل داده‌اند. گسل بزرگ درونه که روندی شرقی-غربی دارد، بزرگ‌ترین و فعال‌ترین گسل منطقه است. سازند کرمان عمدتاً از سنگ‌های سیلیسی‌آواری درشت‌دانه همراه با تعداد کمی میان‌لایه ماسه‌سنگی قرمز رنگ تشکیل شده است، که نشان‌دهنده محیط رسوبی قاره‌ای است. واحدهای کنگلومرای این سازند ضخیم‌لایه بوده و قلوه‌های آن بیشتر از جنس سنگ‌های آتش‌فشانی هستند. لایه‌های ماسه‌سنگی درشت‌دانه قرمز رنگ در بین لایه‌های کنگلومرای وجود دارند. سازند کرمان در بیشتر رخنمون‌ها با ناپیوستگی زاویه‌دار بر روی نهشته‌های قدیمی‌تر از خود قرار گرفته است. در منطقه مورد مطالعه، سازند کرمان با مرز گسلی بر روی نهشته‌های کربناته کرتاسه بالایی و با ناپیوستگی فرسایشی در زیر نهشته‌های آئوسن از جنس ماسه‌سنگ و مارن قرار گرفته است.

سازند کنگلومرای کرمان به سن پالئوسن در شمال شرق ایران مرکزی رخنمون دارد. تحقیقات اولیه بر روی این سازند بر این باور است که این توالی کنگلومرای در نتیجه حرکات کوهزایی در آغاز دوره ترشیری شکل گرفته است، که بیشتر نواحی شمال و مرکز ایران را تحت تأثیر قرار داده است (سیدامامی، ۱۳۵۱). سازند کرمان دارای هم‌ارزهایی در نواحی البرز، کرمان، طبس و لوت است (سیدامامی، ۱۳۵۱). سازند کرمان در نواحی مختلفی از منطقه بردسکن رخنمون دارد. منطقه بردسکن در شمال شرق ایران مرکزی واقع شده و جزو پهنه رسوبی-ساختاری ایران مرکزی است. شکل ۱ وضعیت قرارگیری منطقه مورد نظر را نسبت به سایر واحدهای رسوبی-ساختاری ایران نشان می‌دهد. در این منطقه بازه‌ای از واحدهای سنگی پرکامبرین تا عهد حاضر رخنمون دارند. بیشترین وسعت



شکل ۱. الف) نقشه ایران نشان دهنده واحدهای رسوبی - ساختاری (با تغییراتی پس از بربریان و کینگ، ۱۹۸۱؛ آنژیولینی و همکاران، ۲۰۰۷) و ب) نقشه زمین‌شناسی برگرفته از چهارگوش ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن (با تغییراتی پس از شهرابی و همکاران، ۱۳۸۸).

Fig. 1. (A) Iran map illustrating the sedimentary-structural units (after Berberian and King, 1981; Angiolini et al., 2007); (B) Geology map redrawn from Bardaskan 1:100,000 quadrangle map (after Shahrabi et al., 2010).

سازند احساس می‌شود. این مطالعه سعی بر آن دارد تا این فقدان را با بررسی دقیق شرایط ته‌نشینی سازند کرمان جبران کند. در این مطالعه برشی به ضخامت ۱۰۱۷ متر از این سازند به لحاظ سنگ‌شناسی و سنگ‌رخساره مورد بررسی قرار گرفته است. رخنمون این سازند کنگلومرایی در منطقه خشن و ناهموار است، رنگ آن قرمز مایل به قهوه‌ای و خاکستری بوده، دارای دانه‌بندی تدریجی نرمال و در برخی نقاط کانال‌های فرسایشی است. اندازه قلووها در این توالی ۸ تا ۱۹۵ میلی‌متر است. میان‌لایه‌های

بررسی رخساره‌های سنگی و میکروسکوپی در شناخت فرایندهای رسوبی حائز اهمیت است (برای مثال: ژانگ و همکاران، ۲۰۲۱؛ اسمیت و پلت، ۲۰۲۳؛ لی و گیهم، ۲۰۲۳؛ عبدالفتاح و سهساه، ۲۰۲۳). با وجود مطالعات پیشین بر روی چینه‌شناسی، محتوای فسیلی (نابرجا)، مرزهای پایین و بالا، و سنگ‌شناسی سازند کرمان (برای مثال: هوکریده و همکاران، ۱۹۶۲؛ سیدامامی، ۱۳۵۱؛ بربریان و کینگ، ۱۹۸۱؛ مک‌کال، ۱۹۸۵)، فقدان اطلاعات دقیق در مورد رخساره‌های سنگی و میکروسکوپی این

این رخساره‌ها شامل ساخت توده‌ای، دانه‌بندی تدریجی، لایه‌بندی افقی و کانال‌های فرسایشی هستند. اندازه دانه در رخساره‌های کنگلومرای از ۲ تا حدود ۱۰۰۰ میلی‌متر در نوسان است، که میانگین آن در قاعدهٔ برش ۶۵ تا ۱۸۰ میلی‌متر، در بخش میانی توالی ۵۳ تا ۹۵ میلی‌متر و در نزدیکی رأس برش ۲۵ تا ۷۵ میلی‌متر است. به این ترتیب اندازه دانه‌ها در لایه‌های کنگلومرای از قاعده به سمت رأس برش مورد مطالعه کاهش می‌یابد. گردشگری این دانه‌ها بر اساس نمودار تعیین میزان گردشگری و کرویت فولک (۱۹۸۰) از گوشه‌دار تا خیلی گردشده و کرویت آن‌ها از کم تا زیاد در نوسان است. این گردشگری و کرویت در جهات جانبی و عمودی سازند کرمان از نظم خاصی پیروی نمی‌کند. تنوع گردشگری و کرویت موجود در دانه‌های گراولی این سازند ناشی از وجود سنگ‌منشأهای مختلف با مقاومت‌های متفاوت است. برخی از خصوصیات رسوبی لایه‌های کنگلومرای در تصاویر صحرایی شکل ۲ قابل مشاهده است. سه سنگ‌رخساره کنگلومرای توده‌ای دانه‌پشتیبان، کنگلومرای توده‌ای زمینه‌پشتیبان، و کنگلومرا با طبقه‌بندی افقی در سازند کرمان شناسایی شدند، که در ادامه به تفصیل آمده‌اند.

کنگلومرای توده‌ای دانه‌پشتیبان^۱: شاخص این سنگ‌رخساره نبود لایه‌بندی و ساختمان‌های رسوبی است. گراول‌ها در این رخساره در زمینه خاکستری ریزدانه قرار دارند. اندازه دانه‌ها در آن بین پیل و کابل در نوسان است و به ۱۷۰ میلی‌متر نیز می‌رسد. این قلوها که اغلب زاویه‌دار تا نیمه‌گردشده هستند، رنگ قرمز تا قهوه‌ای و خاکستری را از خود نشان می‌دهند (شکل ۲ الف). گراول‌های این سنگ‌رخساره عمدتاً آتش‌فشانی، و کمتر سنگ‌آهک، سیلتستون و آگلومرا هستند. نواحی مشخصی همچون پرشدگی کانال موجب تشکیل این رخساره می‌شوند. تشکیل سنگ‌رخساره کنگلومرای توده‌ای دانه‌پشتیبان می‌تواند به جریان خرده‌دار سودوپلاستیک پرانرژی^۲ نسبت داده شود و شکل توده‌ای آن حاصل جریان پرچگال و آشفته است (کوستیک و همکاران، ۲۰۰۵؛ گنگون و والدرون، ۲۰۱۱).

کنگلومرای توده‌ای زمینه‌پشتیبان^۳: گرچه این سنگ‌رخساره دانه‌بندی تدریجی نرمال متوسطی را نشان

ماسه‌سنگی عمدتاً توده‌ای، درشت‌دانه و به رنگ قرمز تا خاکستری هستند. برخی از لایه‌ها طبقه‌بندی افقی نازکی را از خود نشان می‌دهند. ضخامت کلی بخش‌های کنگلومرای سازند کرمان ۹۱۱/۵ متر، معادل ۸۹/۶٪ از سازند است؛ در حالی که بخش‌های ماسه‌سنگی با ضخامت کلی ۱۰۵/۵ متر، ۱۰/۴٪ از سازند را تشکیل می‌دهند.

۲- مواد و روش‌ها

برای پی‌جویی اهداف مورد نظر این مطالعه بررسی‌های صحرایی و نمونه‌برداری از برش منتخبی از رخنمون این سازند انجام شد. هنگام بررسی سنگ‌رخساره‌ها تعدادی عوارض رسوبی مهم اندازه‌گیری شدند که شامل اندازه‌گیری اندازه دانه، بافت، گردشگری و جورشدگی، ضخامت لایه‌ها، بررسی وضعیت لایه‌بندی و ثبت ساختمان‌های رسوبی موجود بودند. در لایه‌های کنگلومرای با توجه به تغییرات جانبی و عمودی لایه‌ها، تغییر در بافت و ساخت، رنگ و اندازه قطعات تعداد ۳۵۰ نمونه جمع‌آوری شد. تعداد ۴۰ نمونه نیز از لایه‌های ماسه‌سنگی برداشت شد. از میان نمونه‌های برداشت شده، تعداد ۵۳ عدد برش نازک، شامل ۲۵ عدد گراول و ۲۸ عدد ماسه‌سنگ برای مطالعه میکروسکوپی تهیه شدند. از میان برش‌های نازک ماسه‌سنگی تعداد ۱۰ نمونه با روش گزی-دیکینسون (اینگرسول و همکاران، ۱۹۸۴) نقطه‌شماری شدند. شناسایی و نام‌گذاری رخساره‌های سنگی با استفاده از طبقه‌بندی رخساره‌های آبرفتی میال (میال، ۱۹۷۷؛ ۱۹۷۸؛ ۱۹۸۵؛ ۲۰۰۶) انجام شد. برای شناسایی رخساره‌های میکروسکوپی کنگلومرای از طبقه‌بندی باگز (۲۰۰۹) استفاده شد. شناسایی رخساره‌های میکروسکوپی ماسه‌سنگی نیز مطابق با طبقه‌بندی‌های فولک (۱۹۸۰) و پتی‌جان و همکاران (۱۹۸۷) انجام شد.

۳- نتایج

۳-۱- سنگ‌رخساره‌ها

سنگ‌رخساره‌های گراولی: رخساره‌های کنگلومرای با ضخامت ۹۱۱/۵ متر بخش عمده سازند کرمان را تشکیل داده است. مهم‌ترین ساخت‌های رسوبی مشاهده شده در

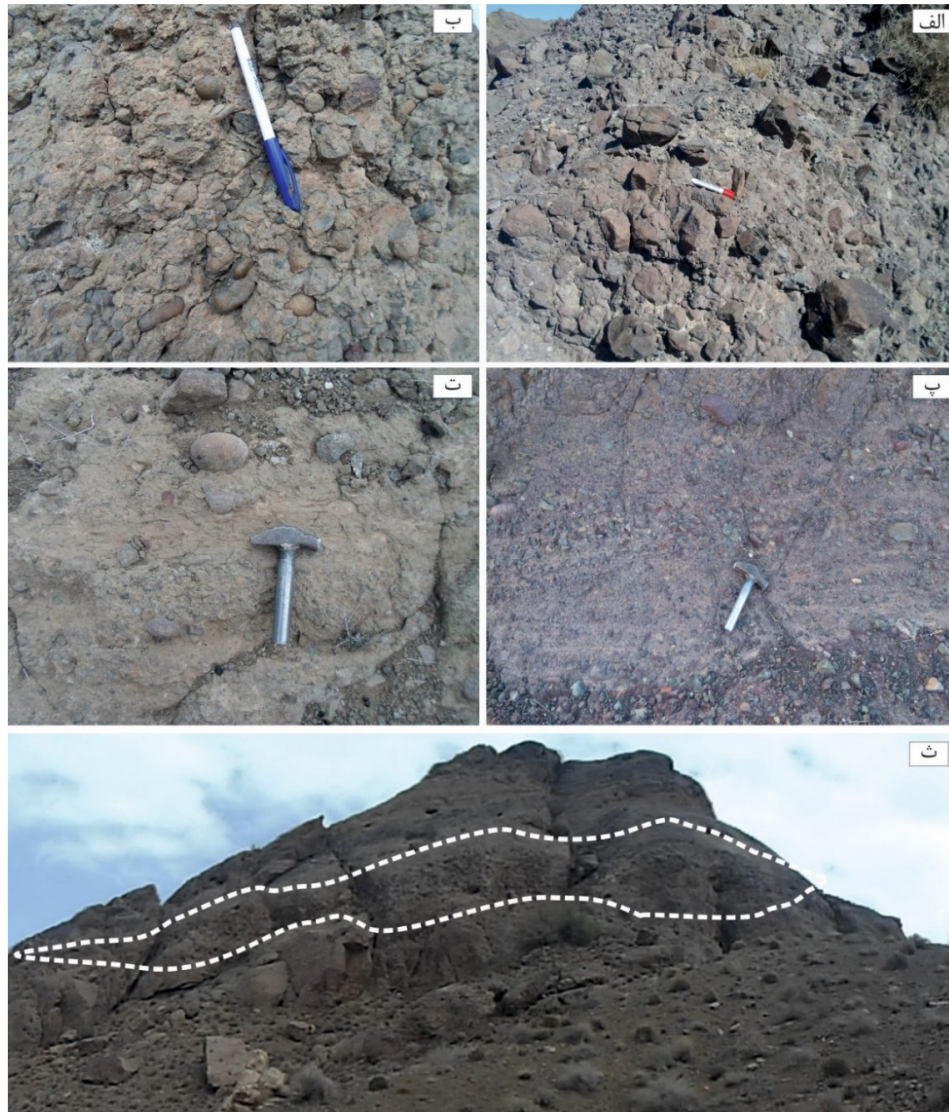
³ Matrix-supported massive conglomerate (Gmm)

¹ Clast-supported massive conglomerate (Gcm)

² high-energy pseudoplastic debris flow

خوب‌گردشده دارند. کانال‌های فرسایشی در بخش‌های مشخصی از این رخساره شناسایی شده‌اند. ضخامت طبقات به چندین متر هم می‌رسد. شواهد بافتی و ساختی کنگلومرای توده‌ای زمینه‌پشتیبان نهشت آن را به جریان‌های خرده‌دار چسبناک و پر قدرت^۴ نسبت می‌دهد (میال، ۲۰۰۶).

می‌دهد، اما مشخصات کلی آن مشابه با کنگلومرای توده‌ای دانه‌پشتیبان است (شکل ۲ ب و ت). اندازه دانه‌های آن بازه‌ای از پیل تا کابل دارد و برخی از آن‌ها تا ۲۱۰ میلی‌متر نیز می‌رسند. این رخساره از قلوه‌هایی با اندازه‌های متنوع در زمینه‌ای از مخلوط ماسه، سیلت و رس تشکیل شده است. گردشگی قلوه‌ها دامنه‌ای از نیمه‌گردشده تا



شکل ۲. منتخبی از تصاویر صحرایی بخش‌های کنگلومرای سازند کرمان، الف) ساخت توده‌ای در سنگ‌رخساره کنگلومرای توده‌ای دانه‌پشتیبان. پیل‌های زاویه‌دار در اندازه ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر به وضوح در تصویر قابل مشاهده‌اند؛ ب) گرانول و پیل‌های گرد شده و ساخت توده‌ای در سنگ‌رخساره کنگلومرای توده‌ای زمینه‌پشتیبان؛ پ) دانه‌بندی تدریجی نرمال؛ ت) افزایش میزان رسوبات دانه‌ریز در سنگ‌رخساره کنگلومرای توده‌ای زمینه‌پشتیبان و ث) ساختمان کانال فرسایشی.

Fig. 2. Selected outcrop views from conglomerate units of the Kerman Formation. (A) Massive structure in clast-supported massive conglomerate. Angular pebbles of 10–20 cm are conspicuous; (B) Rounded granules and pebbles in a massive structure of matrix-supported massive conglomerate; (C) Normal graded bedding; (D) The increase in fine-grained sediment in matrix-supported massive conglomerate; (E) Erosive channel.

⁴ high-strength and viscous debris flow

برهم‌افزایی سریع رسوبات به صورت جانبی و در جهت پایین آبراهه می‌شود (اوپلوسیتیل و همکاران، ۲۰۰۵؛ میال، ۲۰۰۶؛ سریده‌ها و همکاران، ۲۰۱۳؛ گوش، ۲۰۱۴). سنگ‌رخساره‌های ماسه‌سنگی: رخساره‌های ماسه‌سنگی در سازند کرمان به وضوح فراوانی کمتری از رخساره‌های کنگلومرایی دارند. لایه‌های ماسه‌سنگی عمدتاً توده‌ای بوده و رنگ خاکستری تا قرمز از خود نشان می‌دهند. گرچه اغلب عاری از لایه‌بندی مشخصی هستند، اما گاهی لامیناسیون محدود (شکل ۳ ت) و طبقه‌بندی افقی در آن‌ها مشاهده شده است. اندازه دانه در این ماسه‌سنگ‌ها از متوسط تا بسیار درشت در نوسان است، و روند کلی ریزشونده به سمت بالای توالی را نشان می‌دهد. دو سنگ‌رخساره ماسه‌سنگ با طبقه‌بندی افقی و ماسه‌سنگ توده‌ای در سازند کرمان شناسایی شدند، که در ادامه آمده است.

کنگلومرا با طبقه‌بندی افقی^۱: اندازه دانه‌های این سنگ‌رخساره از گرانول تا پیل بوده و کمی کابل نیز دارد. طبقه‌بندی افقی در آن ناکامل است و گاهی روند سریع ریزشوندگی به سمت بالا را نشان می‌دهد (شکل ۳ الف). شکل قلوها غالباً نیمه‌گردشده تا خوب‌گردشده است. رخساره کنگلومرا با طبقه‌بندی افقی در برش مورد مطالعه اغلب دانه‌پشتیبان بوده و ضخامت طبقات آن به یک متر می‌رسد. این رخساره در اثر مهاجرت اشکال لایه‌ای طولی، نهشته‌های باقیمانده بر روی کف کانال، و نهشته‌های غربالی تشکیل می‌شود (میال، ۲۰۰۶). فابریک غنی از دانه این رخساره به وسیله جریان‌های کششی کم‌عمق پراثری و تجمع بالای رسوب ایجاد شده است. در اینجا گراول‌ها به صورت بار بستر حمل شده‌اند و رسوب‌گذاری در طول فرونشست جریان، گاهی به صورت پرشدگی کانال اتفاق افتاده است. لایه‌بندی افقی در این سنگ‌رخساره به ورودی بالای رسوب نسبت داده می‌شود که سپس منجر به



شکل ۳. تصاویر صحرایی منتخب از سنگ‌رخساره‌های سازند کرمان، الف) سنگ‌رخساره کنگلومرا با طبقه‌بندی افقی؛ ب) سنگ‌رخساره ماسه‌سنگ با طبقه‌بندی افقی در کنار لایه کنگلومرایی؛ پ) سنگ‌رخساره ماسه‌سنگ توده‌ای و ت) لامیناسیون ناقص در بخش‌های ریزدانه.

Fig. 3. Selected outcrop views from lithofacies of the Kerman Formation. (A) Horizontally stratified conglomerate lithofacies; (B) Horizontally bedded sandstone lithofacies adjacent to a conglomerate bed; (C) Massive sandstone; (D) Faint lamination in fine-grained sediments.

¹ Horizontally stratified conglomerate (Gh)

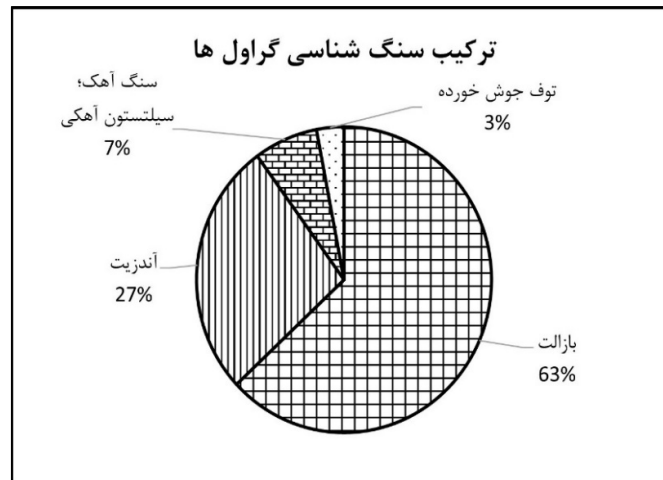
انتخاب شدند که جنس و درصد آن‌ها در شکل ۴ قابل مشاهده است. ترکیب سنگ‌شناسی گراول‌ها عمدتاً شامل بازالت، آندزیت، و کمتر سنگ‌آهک و توف است. منتخبی از تصاویر میکروسکوپی مربوط به دانه‌های گراولی در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به اینکه کنگلومرای سازند کرمان غالباً از قطعات ناپایدار آتشفشانی مانند بازالت و آندزیت و مقدار کمتری خرده‌سنگ‌های کربناته تشکیل شده است، بر اساس طبقه‌بندی باگز (۲۰۰۹) نام آن را کنگلومرای پترومیکت^۵ می‌گذاریم (شکل ۷ الف تا ت). با توجه به درصد بالای قطعات بازالت و آندزیت در آن به لحاظ ترکیب شیمیایی در دسته‌بندی کنگلومرای آتشفشانی مافیک و حد واسط^۶ قرار می‌گیرد (باگز، ۲۰۰۹). اندازه دانه‌های (پبل) کنگلومرای پترومیکت در زیر میکروسکوپ به ۱۵ میلی‌متر می‌رسد. این قطعات گردشگری متوسط تا خوب و جورشدگی ضعیف تا متوسطی دارند.

ماسه‌سنگ با طبقه‌بندی افقی^۱: این سنگ‌رخساره شامل ماسه‌سنگ‌های درشت‌دانه تا پبلی با جورشدگی بد و طبقه‌بندی موازی است (شکل ۳ ب) که در اثر جریان طبقه مسطح^۲ یا جریان بحرانی^۳ نهشته شده است (میال، ۲۰۰۶).

ماسه‌سنگ توده‌ای^۴: اندازه دانه‌ها در این سنگ‌رخساره از ریز تا درشت با جورشدگی بد به همراه دانه‌های پبل بوده که گاهی لامیناسیون بسیار ضعیفی را از خود نشان می‌دهند (شکل ۳ پ). دانه‌های زاویه‌دار همراه با جورشدگی بد در سنگ‌رخساره ماسه‌سنگ توده‌ای نشان‌دهنده تنش‌نیینی آن از جریان‌های ثقیلی- رسوبی است (میال، ۲۰۰۶).

۲-۳- رخساره‌های میکروسکوپی

ابتدا گراول‌های جمع‌آوری شده در اندازه پبل درشت و کابل مورد بررسی قرار گرفتند و پس از حذف نمونه‌های مشابه تعداد ۲۵ عدد از آن‌ها برای تهیه برش‌های نازک



شکل ۴. جنس و درصد گراول‌های شناسایی شده در بخش‌های کنگلومرای سازند کرمان

Fig. 4. The gravels lithology and each type percentage in conglomerate beds from the Kerman Formation.

نشان دادند (شکل ۶). رخساره ولکانیک‌آرنایت حاوی ۳۵ تا ۵۵ درصد خرده‌سنگ‌های عمدتاً آتشفشانی و گاهاً رسوبی از نوع سنگ‌آهک پرفسیل است. فلدسپات‌ها در آن به ۱۵ درصد می‌رسد و مقدار پتاسیم فلدسپات بیشتر از پلاژیوکلاز است. زمینه ریزدانه در آن به ۱۵ درصد می‌رسد و مقدار کوارتز در آن ناچیز بوده و تا ۵ درصد است. بلوغ

برای شناسایی نوع ماسه‌سنگ‌های سازند کرمان و ترکیب سنگ‌شناسی آن‌ها، تعداد ۱۰ برش نازک ماسه‌سنگی مورد آنالیز نقطه‌شماری قرار گرفتند که نتایج حاصل از آن در جدول ۱ آمده است. این داده‌ها در دیاگرام سه‌تایی فولک (۱۹۸۰) قرار داده شدند و عمدتاً دو محدوده مربوط به رخساره‌های ولکانیک‌آرنایت و فلدسپاتیک لیت‌آرنایت را

⁴ Massive sandstone (Sm)

⁵ Petromict conglomerate

⁶ intermediate and mafic volcanic conglomerate

¹ Horizontally bedded sandstone (Sh)

² plane-bed flow

³ critical flow

فراوانی فلدسپات‌ها و دانه‌های کوارتز در آن به ترتیب به ۳۵ و ۱۰ درصد می‌رسد. زمینه دانه‌ریز در این رخساره تا ۲۰ درصد است. بلوغ بافتی آن همانند رخساره ولکانیک آرنایت، از نابالغ تا نیمه‌بالغ در تغییر است (شکل ۷ چ و ح).

بافتی آن از نابالغ تا نیمه‌بالغ در تغییر است (شکل ۷ ث و ج). رخساره فلدسپاتیک لیت‌آرنایت تا ۴۵ درصد از خرده‌سنگ تشکیل شده است که عمدتاً از نوع آتش‌فشانی مافیک تا حدواسط و کمی هم دانه‌های رسوبی هستند.



شکل ۵. منتخبی از تصاویر میکروسکوپی مقاطع نازک گراول‌های سازند کرمان، (الف) بازالت حاوی بلورهای پلاژیوکلاز جهت‌یافته (PL) و کلینوپیروکسن (PX)، نور پلاریزان و (ب) نور معمولی؛ (پ) آندزیت حاوی بلورهای کشیده آمفیبول (Am) به رنگ قهوه‌ای، پلاژیوکلاز سانیدین (PL) و زمینه شیشه، نور پلاریزان و (ت) نور معمولی؛ (ث) توف آگلومرا در نور معمولی؛ (ج) سنگ آهک گلوبوترونکانادار در نور معمولی.

Fig. 5. Selected photomicrographs of gravel thin sections from the Kerman Formation. (A) Basalt contains imbricated plagioclase (PL) and clinopyroxene (PX) grains (XPL) and (B) (PPL); (C) Andesite contains elongated brownish amphibole (Am), sanidine (PL), and vitric groundmass (XPL) and (D) (PPL); (E) Agglomerate tuff (XPL); (F) Globotruncana-bearing limestone (PPL).

آن است. کنگلومرای ضخیم‌لایه دانه- و زمینه‌پشتیبان دارای میان‌لایه‌های ۳ تا ۶ متری ماسه‌سنگی، عموماً ریزشونده به طرف بالا، در سرتاسر برش مورد مطالعه قابل مشاهده است. همراهی دو سنگ‌رخساره کنگلومرای توده‌ای دانه‌پشتیبان و کنگلومرای توده‌ای زمینه‌پشتیبان

۴- بحث

محیط رسوبی

ویژگی‌های رسوبی شاخص سازند کرمان ترکیب عمدتاً بسیار درشت- تا درشت‌دانه، هندسه توده‌ای، طبقات نامنظم، و گاهی دانه‌بندی تدریجی نرمال و لایه‌بندی ضعیف

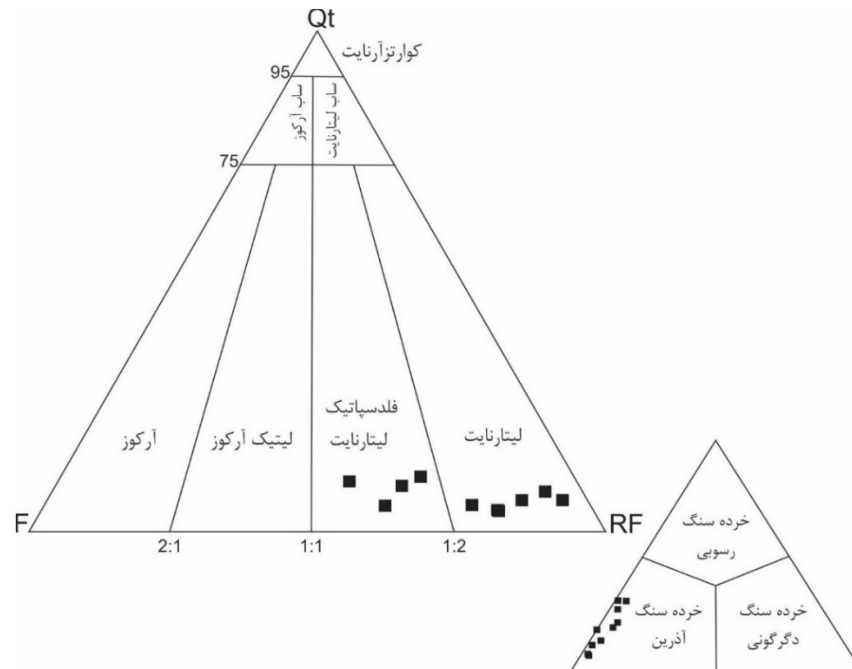
همکاران، ۲۰۱۰). همراهی سنگ‌رخساره‌های کنگلومرا با طبقه‌بندی افقی، ماسه‌سنگ با طبقه‌بندی افقی و ماسه‌سنگ توده‌ای به عنصر ساختاری توده‌های ماسه‌سنگ پرکننده کانال^۲ نسبت داده می‌شود (میال، ۲۰۰۶).

به عنصر ساختاری جریان ثقلی رسوب^۱ ارتباط دارد. عنصر ساختاری جریان ثقلی رسوب عموماً از طریق جریان خرده‌دار ثقلی- رسوبی با نرخ رسوب‌گذاری بالا در مخروط‌افکنه‌ها و سیستم‌های رودخانه گیسویی نزدیک به منشأ ایجاد می‌شود (میال، ۲۰۰۰؛ میال، ۲۰۰۶؛ گوشال و

جدول ۱. نتایج حاصل از آنالیز نقطه‌شماری تعداد ۱۰ نمونه مقطع نازک ماسه‌سنگی از سازند کرمان. Qm: کوارتز تک‌بلور؛ Qp: کوارتز چندبلور؛ Qt: Qm+Qp؛ P: پلاژیوکلاز؛ K: پتاسیم فلدسپار؛ F: P+K؛ Ls: خرده‌سنگ‌های آتشفشانی؛ Lm: خرده‌سنگ‌های دگرگونی؛ Lt: Ls+Lv+Lm.

Table 1. Point-counting data from 10 sandstone thin sections of the Kerman Formation. Qm: monocrystalline quartz; Qp: polycrystalline quartz; Qt: Qm+Qp; P: plagioclase; K: potassium feldspar; F: P+K; Ls: sedimentary lithic fragments; Lv: volcanic lithic fragments; Lm: metamorphic lithic fragments; Lt: Ls+Lv+Lm.

شماره نمونه	Qm	Qp	Qt	P	K	F	Ls	Lv	Lm	Lt	جمع کل
KS1	۷۵	۲	۷۷	۸۹	۱۷۹	۲۶۸	۱۵۹	۳۳۱	۲۶	۵۱۶	۸۶۱
KS2	۳۷	۰	۳۷	۷۳	۱۹۷	۲۷۰	۱۳۷	۲۹۵	۹	۴۴۱	۷۴۸
KS3	۳۷	۲	۳۹	۲۱	۵۶	۷۷	۱۱۵	۳۷۸	۳۴	۵۲۷	۶۴۳
KS4	۴۲	۰	۴۲	۵	۳۳	۳۸	۸۶	۳۶۷	۳	۴۵۶	۵۳۶
KS5	۳۶	۰	۳۶	۱۲	۱۸	۳۰	۶۷	۴۵۴	۱۱	۵۳۲	۵۹۸
KS6	۳۰	۰	۳۰	۳۴	۹۴	۱۲۸	۵۳	۵۲۹	۱۴	۵۹۶	۷۵۴
KS7	۴۵	۱	۴۶	۴۸	۱۴۴	۱۹۲	۹۷	۵۴۹	۲۹	۶۷۵	۹۱۳
KS8	۶۹	۰	۶۹	۱۱	۱۶۱	۱۷۲	۷۸	۲۹۳	۲۳	۳۹۴	۶۳۵
KS9	۲۳	۰	۲۳	۱۹	۷۹	۹۸	۳۷	۴۰۱	۱۴	۴۵۲	۵۷۳
KS10	۸۸	۱	۸۹	۱۵۴	۲۰۴	۳۵۸	۱۲۴	۳۱۲	۱۷	۴۵۳	۹۰۰

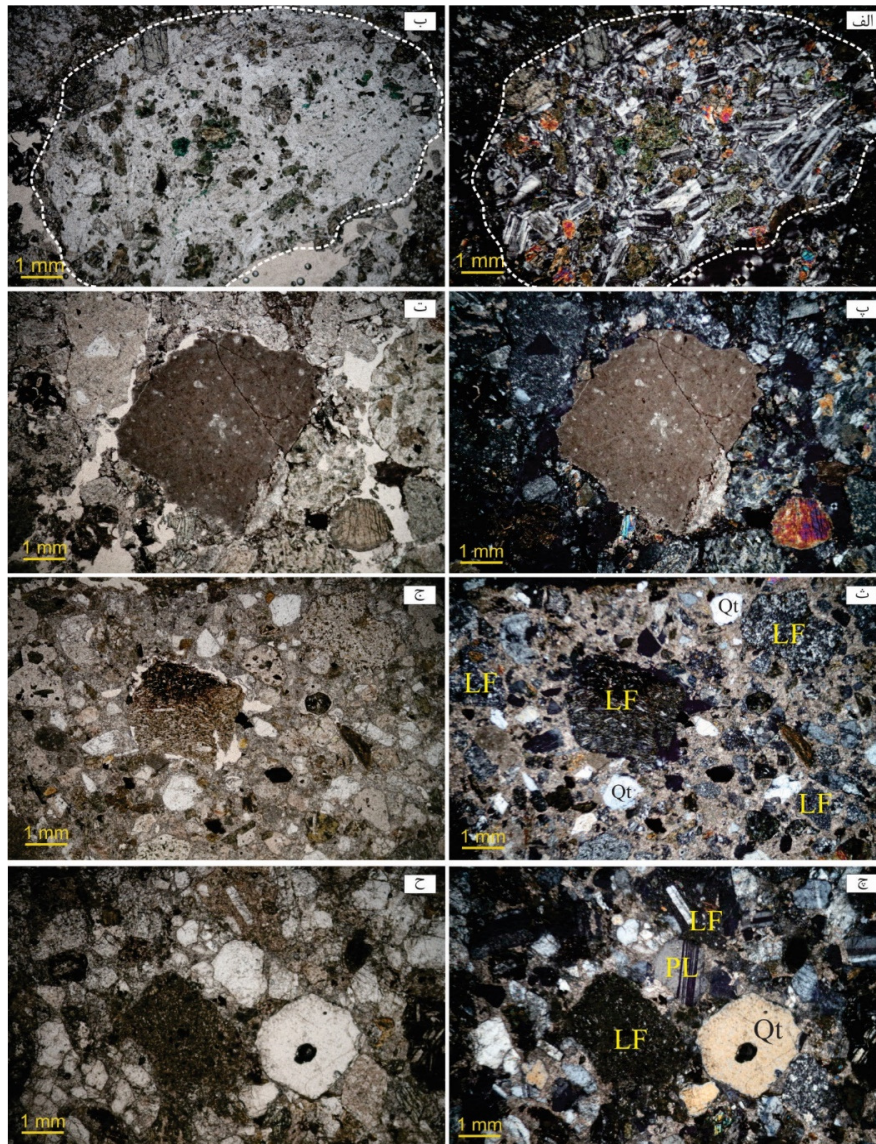


شکل ۶. داده‌های نقطه‌شماری ماسه‌سنگ‌های سازند کرمان در دیاگرام سه‌تایی رخساره‌های ماسه‌سنگی فولک (۱۹۸۰)

Fig. 6. Data from point-counting analysis of the sandstone samples from the Kerman Formation, plotted on the Folk (1980) sandstone petrofacies ternary diagram.

² channel-fill sandstone bodies (CH)

¹ sedimentary gravity flow (SG)



شکل ۷. تصاویر میکروسکوپی منتخب نشان‌دهنده رخساره‌های میکروسکوپی کنگلومرای و ماسه‌سنگی سازند کرمان، الف) کنگلومرای پترومیکت، در تصویر یک پیل از جنس بازالت به وسیله خط‌چین سفید مشخص شده است، نور پلاریزان و (ب) نور معمولی؛ پ) کنگلومرای پترومیکت، یک پیل از جنس سنگ آهک به رنگ قهوه‌ای روشن در وسط تصویر قابل مشاهده است، نور پلاریزان و (ت) نور معمولی؛ ث) ماسه‌سنگ ولکانیک آرنایت، خرده‌سنگ‌های آتش‌فشانی (LF) و دانه‌های کوارتز (Qt) در زمینه‌ای از جنس سیمان کربناته (احتمالاً ثانویه) پراکنده شده‌اند، نور پلاریزان و (ج) نور معمولی؛ چ) ماسه‌سنگ فلدسپاتیک لیتارنایت، دانه‌های پلاژیوکلاز (PL) و کوارتز (Qt) در کنار خرده‌سنگ‌های آتش‌فشانی (LF) قرار دارند، نور پلاریزان و (ح) نور معمولی.

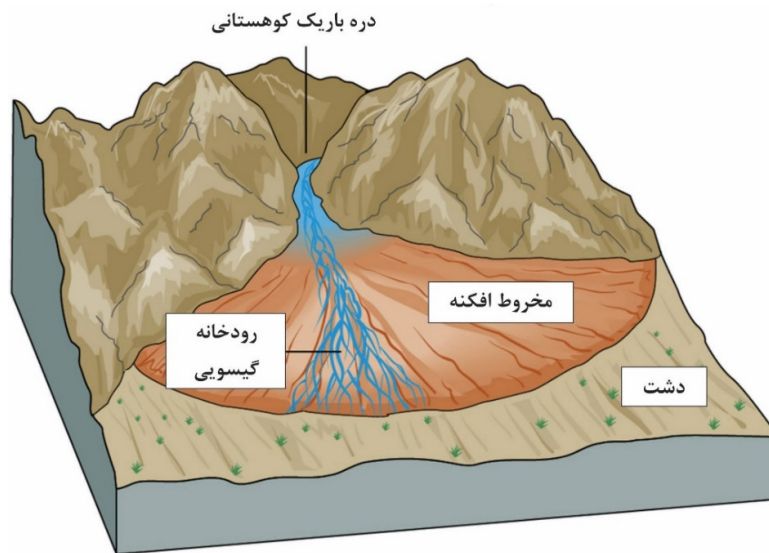
Fig. 7. Selected photomicrographs of conglomerate and sandstone petrofacies from the Kerman Formation; (A) Petromict conglomerate, a basalt pebble is delineated by dashed line (XPL) and (B) (PPL); (C) Petromict conglomerate, a limestone pebble is conspicuous in the middle of the photo (XPL) and (D) (PPL); (E) Volcanic arenite sandstone, volcaniclastic lithic fragments (LF) and quartz grains (Qt) are spread across the sample in a carbonate cement (probably secondary) (XPL) and (F) (PPL); (G) Feldspathic litharenite sandstone, plagioclase (PL) and quartz (Qt) grains are adjacent to the volcaniclastic lithic fragments (LF) (XPL) and (H) (PPL).

تغییرات جانبی آن‌ها بینش بارزشی را در ارتباط با محیط رسوبی سازند کرمان ایجاد کرده است. مقایسه اینها با مدل‌های رودخانه‌ای میال (۱۹۸۵؛ ۲۰۰۶) و مدل‌های مخروط‌افکنه نیکولز (۲۰۰۹) پیشنهاد می‌کند که سازند

مشاهدات صحرایی سازند کرمان همچون توالی‌های دارای دانه‌بندی تدریجی نرمال (ریزشونده به طرف بالا)، فقدان نهشته‌های ریزدانه دشت سیلابی، و ضخامت زیاد طبقات کنگلومرای، همراه با سنگ‌رخساره‌های شناسایی شده و

استحکام کمتری در ساختمان‌های داخلی خود دارند. با توجه به شیب زیاد مخروط‌افکنه‌ها، نزدیکی به خاستگاه و کوچک بودن گستردگی آن‌ها، رسوبات جریان خرده‌دار، کانال و دشت‌سیلابی تغییرات منشأ را به شدت در خود نشان می‌دهند و تغییرات سریعی در رخساره‌های خود دارند. تمامی این ویژگی‌ها در توالی مورد بررسی از سازند کرمان مشاهده شده است که سیستم مخروط‌افکنه را در آن تأیید می‌کند. شکل ۸ مدل رسوبی پیشنهادی سازند کرمان در منطقه مورد مطالعه در شمال غرب بردسکن را نشان می‌دهد.

کرمان در هر دو سیستم مخروط‌افکنه و رودخانه گیسویی نزدیک به منشأ رسوب‌گذاری شده است و ارتباط نزدیک این دو محیط را در این سازند نشان می‌دهد. ژانگ و همکاران (۲۰۲۰) سیستم‌های مخروط‌افکنه و بادزن‌های رودخانه‌ای را مقایسه کرده‌اند که بر اساس آن وجود جریان ثقلی به عنوان مکانیسم اصلی حمل و نقل رسوب از ویژگی‌های سیستم مخروط‌افکنه ذکر شده است؛ علاوه بر آن شاخصه ویژگی رسوبات مخروط‌افکنه تجمع بی‌نظم و آشفته جریان خرده‌دار، بلوغ بافتی کم و درجه کم جهت‌یافتگی دانه‌ها است. مخروط‌افکنه‌ها همچنین



شکل ۸. مدل رسوبی پیشنهادی سازند کرمان در منطقه مورد مطالعه در شمال غرب بردسکن

Fig. 8. The recommended sedimentary environment for the Kerman Formation in the northwest of Bardaskan

به منشأ هستند. هیچ نوع فسیلی در این سازند مشاهده نشد، به جز قلوه‌های سنگ‌آهک پرفسیل در کنگلومرا، که نابر جا بوده و برای تفسیر حوضه یا سن نامناسب هستند. مطالعات میکروسکوپی در مجموع به شناسایی سه رخساره شامل کنگلومرای پترومیکت، ولکانیک‌آرنایت و فلدسپاتیک لیتارنایت منجر شده است.

۶- تشکر و قدردانی

مقاله حاضر بخشی از پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد نویسنده سوم است، که بخشی از حمایت‌های مالی آن توسط دانشگاه هرمزگان انجام شده است. از داوران ناشناس مجله به جهت داوری دقیق و نظرات سازنده‌شان صمیمانه قدردانی می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی سنگ‌شناسی و سنگ‌رخساره‌های توالی سیلیسی‌آواری عمدتاً درشت‌دانه سازند کرمان به سن پالئوسن در شمال شرق ایران مرکزی پرداخته شده است. سازند کرمان از رسوبات قاره‌ای تشکیل شده است که عمدتاً شامل کنگلومرای پلی‌میکتیک یا چند منشأیی و ماسه‌سنگ درشت‌دانه است. طی بررسی‌های صحرایی پنج سنگ‌رخساره (کنگلومرای توده‌ای دانه‌پشتیبان؛ کنگلومرای توده‌ای زمینه‌پشتیبان؛ کنگلومرا با طبقه‌بندی افقی؛ ماسه‌سنگ با طبقه‌بندی افقی؛ ماسه‌سنگ توده‌ای) و دو عنصر ساختاری (جریان ثقلی رسوب؛ توده‌های ماسه‌سنگ پرکننده کانال) شناسایی شد که نشان‌دهنده محیط‌های رسوبی مخروط‌افکنه و رودخانه گیسویی نزدیک

- Miall, A. D (1978) Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits. In: Miall, A. D., (Ed.) *Fluvial Sedimentology*. Calgary. Can. Soc. Petrol. Geol. Mem, 5: 597–604.
- Miall, A. D (1985) Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth Science Reviews*, 22: 261–308.
- Miall, A. D (2000) *Principles of Sedimentary Basin Analysis*. Springer. Berlin, 616p.
- Miall, A. D (2006) *The geology of fluvial deposits, sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology*. 4th corrected printing. Springer, 598p.
- Nichols, G (2009) *Sedimentology and stratigraphy*. Wiley–Blackwell. Oxford, 419p.
- Oplustil, S., Martinek, K., Tasaryova, Z (2005) Facies and architectural analysis of fluvial deposits of the Nyrany Member and the Tynec. *Bulletin of Geosciences*, 80(1): 45–66.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., Siever, R (1987) *Sand and Sandstone*. Springer-Verlag. New York, 553p.
- Seyed-Emami, K (1972) Upper Cretaceous in Iran. *Journal of the College of Engineering*, 22: 7–34 (in Persian).
- Smith, J. J., Platt, B. F (2023) Reconstructing late Miocene depositional environments in the central High Plains, USA: Lithofacies and architectural elements of the Ogallala Formation. *Sedimentary Geology*, 443: 106303.
- Shahrabi, M., Hosseini, M., Shabani, K (2010) Bardeskan 1:100,000 quadrangle map, No 7560. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.
- Sridhar, A., Chamyal, L. S., Bhattacharjee, F., Singhvi, A. K (2013) Early Holocene fluvial activity from the sedimentology and palaeohydrology of gravel terrace in the semi-arid Mahi River Basin. *India. Journal of Asian Earth Sciences*, 66: 240–248.
- Zhang, Y., Dai, X., Wang, M., Li, X (2020) The concept, characteristics and significance of fluvial fans. *Petroleum exploration and development*, 47(5): 1014–1026.
- Zhang, Y., Colombera, L., Mountney, N. P., Gao, C., Ji, Y., Wu, H., Du, W., Liu, D., Bai, D., Song, W (2021) Sedimentation of open-framework gravels in alluvial-fan settings: Quaternary Polar Fan, northwest China. *Marine and Petroleum Geology*, 134: 105376.
- ### References
- Abdel-Fattah, Z. A., Sehsah, H (2023) The Upper Neoproterozoic lacustrine-fan delta depositional systems associated with braided alluvial fans in the Nubian Shiels, Egypt. *Sedimentary Geology*. 452: 106426.
- Angiolini, L., Gaetani, M., Muttoni, G., Stephenson, M. H., Zanchi, A (2007) Tethyan oceanic currents and climate gradients 300 m.y. ago. *Geology*, 35: 1071–1074.
- Berberian, M., King, G. C. P (1981) Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18(2): 210–265.
- Boggs, S. J (2009) *Petrology of sedimentary rocks*. Cambridge University Press. 612p.
- Gagnon, J. F., Waldron, J. W. F (2011) Sedimentation styles and depositional processes in a Middle to Late Jurassic slope environment, Bowser Basin, northwestern British Columbia, Canada. *Marine and Petroleum Geology*, 28: 698–715.
- Ghosh, S (2014) Palaeogeographic significance of ferruginous gravel lithofacies in the Ajay-Damodar interfluvium. West Bengal. *India. International Journal of Geology. Earth & Environmental Sciences*, 4: 81–100
- Ghoshal, S., Allan James, L., Singer, M. B., Aalto, R (2010) Channel and Floodplain change analysis over a 100-year period: lower Yuba River. *California. Remote Sensing*, 2: 1797–1825.
- Huckriede, R., Kursten, M., Venzlaff, H (1962) *Zur Geologie des Gebietes zwischen Kerman und Sagand (Iran)*. Geologisches Jahrbuch, Niedersächs. Landesamt f. Bodenforschung: Hannover. Germany, 51. 197p.
- Ingersoll, R. V., Bullard, T. F., Ford, R. L., Grimm, J. P., Pickle, J. D., Sares, S. W (1984) The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54: 103–116.
- Kostic, B., Bech, A., Aigner, T (2005) 3-D sedimentary architecture of a Quaternary gravel delta (SW-Germany): Implication for hydrostratigraphy. *Sedimentary Geology*, 181: 143–171.
- Lee, K., Gihm, Y. S (2023) Downstream changes in floodplain sedimentation and their effects on channel avulsion in stream-dominated alluvial fans: The Cretaceous Duwon Formation in the southern Korean Peninsula. *Sedimentary Geology*, 465: 106473.
- McCall, G. J. IL (1985) Explanatory text of the Tahrue quadrangle map 1:250,000. Geological Survey of Iran. 14. 454p.
- Miall, A. D (1977) A review of the braided river depositional environment. *Earth Science Reviews*, 13: 1–62.

Reconstruction of depositional environment of the Paleocene siliciclastic depositions (Kerman Formation) in the northeast of Central Iran (Kashmar area) using lithofacies and petrofacies

S. H. Hashemi Azizi^{1*}, P. Rezaee² and H. Askari³

1- Ph. D. (graduated), Dept., of Geology, Faculty of Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2- Assoc. Prof., Dept., of Geology, Faculty of Sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

3- M. Sc., (graduated), Dept., of Geology, Faculty of Sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

* s.hashemiazizi@basu.ac.ir

Received: 2023.12.4 Accepted: 2024.3.5

Abstract

This study investigates lithofacies and petrofacies and reconstructs the depositional environment of the Paleocene siliciclastics of the Kerman Formation located in NE Central Iran, which is composed significantly of polymictic conglomerate bodies intercalated with some minor sandstone beds. Through detailed sedimentological studies (e.g., dominant grain size, degree of clast rounding and sorting, texture, and stratification) five lithofacies were identified: clast-supported massive conglomerate (Gcm), matrix-supported massive conglomerate (Gmm), horizontally stratified conglomerate (Gh), horizontally bedded sandstone (Sh), and massive sandstone (Sm). Petrographic analysis revealed three petrofacies composed of petromict conglomerate, volcanic arenite, and feldspathic litharenite; gravels were chiefly made up of basalt and andesite, as well as fewer limestone and agglomerated tuff. The lithofacies associations are related to sedimentary gravity flow (SG) and channel-fill sandstone bodies (CH) deposited in alluvial fan and braided fluvial systems. This research provides important insights into the sedimentary environments of the Kerman Formation.

Keywords: Central Iran, Kerman Formation, Siliciclastic, Conglomerate, Alluvial sediments

Introduction

In NE Central Iran the Paleocene coarse-grained siliciclastic Kerman Formation crops out with thrust lower boundary and eroded upper boundary. Preliminary research on the Kerman Formation believes that this conglomerate sequence was formed as a result of orogenic movements at the beginning of the Tertiary period, which affected most of north and central Iran. The Kerman Formation has its coeval equivalent present in Alborz, Kerman, Tabas, and Lut areas. Lithofacies and petrofacies investigations are important to understand the depositional processes. Despite previous studies on the stratigraphy, fossil content (allochthonous), lower and upper boundary, and petrography of the Kerman Formation, there is a lack of detailed information on lithofacies, petrofacies, and depositional environment. Therefore, this research aims to address this gap by examining the precise sedimentary characteristics and depositional conditions. The Bardaskan area is in NE Iran and part of the Central Iran sedimentary-structural unit. Figure 1 illustrates

the study area's location relative to other sedimentary-structural units in Iran. The Kerman Formation primarily consists of coarse-grained siliciclastic rocks, with occasional minor beds of red sandstone, indicating a terrestrial depositional environment. In the present study, the lithology of conglomerate clasts as well as sandstone petrology has been attempted in a selected section of 1017 m.

Materials and Methods

Sedimentary rocks were sampled from an outcrop of 1017 m. Lithofacies investigation was conducted, examining grain-size analysis, texture, degree of clast rounding and sorting, bed thickness, and sedimentary structures. 350 clasts and 40 sandstone samples were collected; among these, 53 thin sections were prepared from which 25 are gravels and 28 are sandstones. 10 selected sandstone samples underwent point-counting analysis based on the Gazzy-Dickinson method. Lithofacies interpretation was carried out according to Miall's classifications (Miall 1977; 1978;

2006), conglomerate petrofacies interpretation according to Boggs (2009), and sandstone petrofacies investigation using Folk's (1980) and Pettijohn et al.'s (1987) classifications.

Results and Discussion

Gravelly lithofacies: The gravelly lithofacies of the Kerman Formation, with a total thickness of 911.5 m, are composed of three lithofacies: clast-supported massive conglomerate (Gcm), matrix-supported massive conglomerate (Gmm), and horizontally stratified conglomerate (Gh). Sedimentary structures present in these lithofacies include massive structures, graded bedding, horizontal bedding, and erosive channels. The grain size varies from 2 to 1000 mm; near the base it is 65-180 mm, decreasing to 53-95 mm in the middle and 25-75 mm close to the top. Based on Folk (1980), roundness ranges from angular to well-rounded, and sphericity is low to high. This diversity may be attributed to proximal depositional conditions and heterogeneity in clast lithology.

Sandy lithofacies: Sandy lithofacies have a total thickness of 105.5 m which significantly is less than gravelly lithofacies in the Kerman Formation. The sandstone beds, primarily massive, exhibit hues of grey and red. While they are mostly devoid of distinct stratification, occasional instances of limited lamination and horizontal bedding can be spotted. The grain size within these sandstones varies from medium to very coarse, with a general trend of decreasing upward. These sandstones have a bad to medium sorting according to microscopic investigation.

Petrofacies: Figure 4 illustrates the clast lithology and the distribution of each lithology type within the Kerman Formation conglomerate. Predominantly, basalt forms the major composition of gravels, followed by andesite, limestone, and agglomerated tuff in descending order of abundance. Selected photomicrographs of gravels are shown in Figure 5. Polymictic microconglomerates also contain unstable volcanic clasts and fewer limestone fragments and thus can be classified as a petromict conglomerate according to Boggs (2009). Regarding the significant percentage of basalt and andesite rock fragments, it is classified as an intermediate and mafic volcanic conglomerate, in terms of chemical composition. Pebble sizes reach 15

mm under the microscope and are rounded to well-rounded with bad to medium sorting.

To identify the petrographic composition and sandstone type, 10 sandstones were selected for point-counting analysis; the obtained data are in Table 1. The data were plotted in the ternary diagram from Folk (1980) and mainly dropped into two areas of volcanic arenite and feldspathic litharenite. Volcanic arenite petrofacies contains 35–55% of rock fragments mainly volcanic and occasionally sedimentary (fossiliferous limestone). Feldspars reach 15% and potassium feldspars are more than plagioclases. Fine-grained textures are 15% and quartz content hardly reaches 5%. The maturity varies from immature to sub-mature. Feldspathic litharenite is composed of 45% rock fragments mainly mafic to intermediate volcanoclastics and rarely sedimentary. Feldspars and quartz content are 35 and 10% respectively. Fine-grained textures reach 20%. The maturity of feldspathic litharenite is similar to the volcanic arenite.

Depositional environment: The typical sedimentary characteristics of this formation are commonly very coarse- to coarse-grained composition, massive geometry, disorganized bed, as well as occasional normal grading and faint lamination. Clast-supported massive conglomerate (Gcm) and matrix-supported massive conglomerate (Gmm) lithofacies association are related to sedimentary gravity flow (SG) structural element. The SG structural element is commonly established in alluvial fans and proximal braided river systems through sediment-gravity debris flow with a high sedimentation rate. Horizontally stratified conglomerate (Gh), horizontally bedded sandstone (Sh), and massive sandstone (Sm) lithofacies association are related to channel-fill sandstone bodies (CH) structural elements.

Field observations such as normal grading sequences (finning upward), absence of floodplain fine-grained depositions, and high thickness of conglomerate beds, along with distinguished lithofacies and their lateral changes provide valuable insights. Comparison with Miall's fluvial models (1985; 2006) and Nichols's alluvial fan models (2009) suggest that the Kerman Formation was deposited in both alluvial fan and proximal braided fluvial systems, indicating a close connection between these environments.

Conclusions

The study of the Paleocene coarse-grained siliciclastic succession of the Kerman Formation in NE Central Iran revealed the following results: The Kerman Formation is made up of continental sediments, chiefly composed of polymictic conglomerate and coarse-grained sandstone. The five lithofacies were recognized in the Kerman Formation as well as two facies associations demonstrating

alluvial fan and proximal braided river systems as the depositional environment. Any forms of fossils were absent, except fossiliferous limestone clasts in conglomerate, which are allochthonous and not proper for basin or age interpretation. Microscopic investigation reveals three petrofacies including petromict conglomerate, volcanic arenite, and feldspathic litharenite.