تحلیل اثر رخساره‌ای رادیولاریت‌های کرمانشاه به‌منظور بررسی محیط رسوبی

اسد عبدی [۱*]، محمد حسین محمودی قرائی [۲]، محسن کریمی‌نیا [۳]، علیرضا کریمی‌باوندپور [۴] و محمد محجل [۵]

[۱] دانشجوی دکترا، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
[۲] استادیار، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
[۳] استادیار، مرکز علوم زمین، دانشگاه تکزاس، دالاس، امریکا
[۴] کارشناسی‌ارشد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران
[۵] دانشیار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۳/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۲/۰۶

چکیده

در رادیولاریت‌های کرمانشاه، به سن ژوراسیک تا کرتاسه بالایی، سه رخساره رسوبی شامل نهشته‌های توفانی، پلاژیک مادستون و رادیولاریا وکستون- پکستون تشخیص داده شد. هر یک از این رخساره‌های رسوبی با اثررخساره‌های فسیلی همراهی می‌شوند که مطالعه آنها تغییرات دقیق‌تر ژرفا و انرژی محیط را نشان می‌دهد. در نهشته‌های رسوبی توفانی (شامل لایه‌های ماسه‌ای آهکی، کنگلومرای پبلی مسطح و طبقه‌بندی مورب پشته‌ای) اثرفسیل‌هایی با استراتژی رفتاری معلق‌خوار (Domichnia) مانند تالاسینوییدس مشاهده می‌شود که بیانگر شرایط پرانرژی در زمان رسوب‌گذاری است. اثرفسیل‌هایی که در واحدهای کربناته پلاژیک یافت می‌شوند دارای استراتژی رفتاری گریزینگ (Pascichnia) و تغذیه‌ای (Fodinichnia) هستند. این اثرفسیل‌ها شامل پلانولیتس، کندریتس و هلمنتوپسیس است که نشان‌دهنده اثررخساره کروزیانای دور از ساحل و سطح پایین انرژی در این رسوبات است. با توجه به افزایش ژرفا در نهشته‌های سیلیسی اثرفسیل‌هایی با استراتژی رفتاری پسیچنیا (Pascichnia) و کیمیچنیا (Chemichnia) شامل اسکولیسیا، هلمنتوپسیس، ژیروکورت، کندریتس و تالاسینوییدس چیره می‌شوند که نشان‌دهنده منطقه انتقالی بین اثررخساره کروزیانای دور از ساحل و اثررخساره زئوفیکوس است. رخساره‌های رسوبی و اثررخساره‌های موجود بیانگر ته‌نشینی این نهشته‌ها در پهنه انتقالی بین رمپ میانی تا رمپ خارجی است.

کلیدواژه‌ها: رادیولاریت‌های کرمانشاه، محیط رسوبی، نهشته توفانی، پلاژیک مادستون، وکستون- پکستون رادیولردار، اثررخساره کروزیانا، اثررخساره زئوفیکوس.

***نویسنده مسئول:** اسد عبدی
E-mail:Asadabdi656@gmail.com

۱- پیش‌نوشتار

بررسی محیط‌های ته‌نشینی و ژرفای دیرینه نهشته‌های منطقه ژرف رمپ کربناته به‌موجب فقدان ساخت‌های رسوبی شاخص مشکل است (Perez-Lopes & Perez-Valera, 2011). بنابراین در رمپ‌های کربناته، مجموعه اثرفسیل‌ها و نهشته‌های توفانی و ساخت‌های رسوبی موجود در آن مانند Hummocky Cross Stratification (HCS) ابزارهای مناسبی برای بررسی ژرفای محیط‌های رسوبی دیرینه هستند (برای مثال: Monaco, 1995; Molina et al.,1997; Immenhauser, 2009; Perez-Lopes & Perez-Valera, 2011; Cummings & Hodgson, 2011). اجتماع اثرفسیل‌ها شواهدی از دوره‌های رسوب‌گذاری و فرسایش را در سطح رسوبات، وقتی که سطوح نرم، سفت و سخت (softground to firmground and hardground) بر روی رسوبات گسترش داشته است، را نشان می‌دهد (Monaco, 1995). در نتیجه، تحلیل انواع سطوح نرم تا سخت کنترل کننده اثررخساره بررسی شرایط محیطی پر انرژی تا کم‌انرژی را امکان‌پذیر می‌نماید. در توالی رادیولاریتی کرمانشاه تلفیق مطالعات رخساره‌ای (سنگ‌رخساره‌ای، میکرورخساره‌ای، اثررخساره‌ای) می‌تواند به عنوان ابزاری مؤثر برای بررسی محیط رسوبی باشد به طوری که این دو می‌توانند به‌طور متقابل کمبودهای یکدیگر را در تعیین محیط‌های رسوبی واحد مورد مطالعه جبران نمایند. هدف این مطالعه استفاده از مطالعات رخساره‌ای برای بررسی و شناخت محیط رسوبی نهشته‌های رادیولاریتی کرمانشاه و استفاده از آنها جهت بررسی ژرفاسنجی دیرینه حوضه رسوبی است. مجموعه رسوبات کربناته و رادیولاریتی منطقه کرمانشاه به عنوان کمپلکس رادیولاریتی نام‌گذاری شده است (Braud, 1987) اما در مطالعات اخیر این رسوبات به صورت توالی‌های منظم از پل‌انسباخین تا تورونین توسط مجموعه‌های رادیولاری تعیین سن شده‌اند (Gharib & De Wever, 2010). تاکنون مطالعات قابل توجهی در رابطه با محیط رسوب‌گذاری توالی یاد شده صورت نگرفته است. مطالعات انجام شده بیشتر در رابطه با ساختار زمین‌ساختی منطقه (Mohjjel et al., 2003; Agard et al., 2005; Wrobel-Daveau et al., 2010; Navabpour et al., 2011) و مطالعات زیست‌چینه‌نگاری به منظور تعیین سن واحدهای رادیولاریتی (Gharib & De Wever, 2010) بوده است. از طرفی با توجه به شرایط ویژه ساختاری حاصل از فعالیت زمین‌ساختی و عملکرد گسل‌های متعدد معکوس و رونده، مطالعه این توالی رادیولاریتی با پیچیدگی‌هایی همراه است. بنابراین بررسی دقیق رخساره‌های رسوبی و اثرفسیل‌های موجود در توالی رادیولاریتی کرمانشاه می‌تواند گامی مؤثر در تفسیر محیط رسوبی این رسوبات بوده و به ارائه مدل رسوب‌گذاری آن کمک نماید.

۲- زمین‌شناسی منطقه

توالی رادیولاریتی کرمانشاه بخشی از یک اقیانوس حاره‌ای به سن پلینسباخین- تورونین (Turonian-Pliensbachian) است (Gharib & De wever, 2010). این حوضه از مرکز آمریکا و در طول رشته کوه آلپ تا هیمالیا گسترش داشته است (Bernoulli & Jenkyns, 2009). آغاز زمان باز شدن دریای نئوتتیس در حوضه کرمانشاه اواخر تریاس بوده است (Navabpour et al., 2011). رادیولاریت‌های کرمانشاه از تریاس تا کرتاسه بالایی بر روی حاشیه قاره‌ای پلاتفرم عربی نهشته شده‌اند (Braud, 1987). بر پایه افق‌های سنگی کربناته درون رادیولاریت‌ها و میکروفسیل‌های مطالعه شده، سن‌های تریاس میانی-پسین، ژوراسیک پسین، کرتاسه پیشین (آپتین-آلبین) و کرتاسه پسین (دست کم تا تورونین) برای نهشته‌های رادیولاریتی گزارش شده است (Karimi Bavandpur, 1999). این حوضه رسوبی در زون برخوردی صفحه ایران و عربی واقع شده است (شکل۱) (Mohajjel et al., 2003). توالی رادیولاریتی دربردارنده تناوبی از شیل، چرت و کربنات است. رادیولاریت‌های کرمانشاه در باختر ایران در بین دو گسل کوه‌سفید در جنوب و گسل بیستون در شمال شهر کرمانشاه قرار گرفته است.

این مجموعه رادیولاریتی دربردارنده ورقه‌های نازک رانده شده‌ای است که به صورت ساختمان‌های دوپلکس و سفره‌های رو رانده پدیدار گشته‌اند (Karimi Bavandpur, 1999). به منظور این مطالعات، برش‌های متعددی در بخش‌های مختلف حوضه رادیولاریتی منطقه کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفته است.

۳- روش مطالعه

به منظور انجام مطالعات میکرورخساره‌ای، سنگ‌رخساره‌ای و اثررخساره‌ای از سنگ‌های موجود (شامل چرت، کربنات‌های نسبتاً ژرف و نهشته کربناته توفانی) و در برش‌های متفاوتی از توالی رادیولاریتی کرمانشاه (به موازات برش‌های X-X´ مطالعه شده توسط Gharib & De Wever, 2010) تعداد ۷۰ نمونه برداشت شد. داده‌های مربوطه در جدول ۱ آورده شده است. در برداشت‌های صحرایی ستبرای نهشته‌ها، سطوح لایه‌بندی، ساخت‌های رسوبی، اثرفسیل‌ها و همچنین ارتباط لایه‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. در هر یک از نمونه‌های برداشت شده نیز ویژگی‌های سنگ‌نگاری و اثرفسیل‌ها برای بررسی دقیق‌تر محیط رسوبی مورد مطالعه قرار گرفت. به منظور تفسیر رخساره‌های ایکنولوژیکی، بررسی اثرفسیل‌ها در مجموعه‌های شامل انواع آثار موجود در یک طبقه رسوبی و ارتباط آنها با یکدیگر (McIlory, 2004) و درجه آشفتگی که با شاخص آشفتگی زیستی (Bioturbation Index = BI) نشان داده می‌شود (Taylor et al., 2003) همراه با تحلیل رخساره‌ای صورت گرفت. با توصیف مجموعه‌های ایکنولوژیکی بر اساس تجزیه و تحلیل اثرفسیل‌ها (MacEachern et al., 2007)، شرایط پیش و پس از رسوب‌گذاری طبقات و سطوح چینه‌شناسی در نهشته‌های رسوبی مورد بررسی قرارگرفت. بدین ترتیب توصیف رخساره‌ها بر اساس ساخت‌های رسوبی فیزیکی (معرف جریان غالب رسوبی) و ساخت‌های بیوژنیک (شرایط کف بستر، انرژی محیط و شیمی آب) برای شناسایی محیط رسوبی توالی رادیولاریتی کرمانشاه به کار برده شد. با توجه به شرایط تافونومی، نوع بستر، همراهی اثرفسیل‌ها، استراتژی رفتاری و الگوی برانبارش لایه‌ها و میکرورخساره‌های شناسایی شده، انواع رخساره‌های سنگی و اثررخساره‌ها با توجه به روند تغییرات ژرفای حوضه در نهشته‌های رادیولاریتی کرمانشاه شناسایی شد.

۴- نتایج و بحث

۴-۱. رخساره‌ها

در حوضه رادیولاریتی کرمانشاه پیچیدگی‌های فراوانی در بررسی محیطی رسوبی وجود دارد. از این رو، در بررسی‌محیط رسوبی ترکیب انواع داده‌های رخساره‌ای می‌تواند کمک شایانی به حل این موضوع نماید. مطالعات انجام شده نیز بیانگر این نکته است که در کنار روش‌های رسوب‌شناسی، اثرشناسی (Ichnology) یک مکمل مهم برای بررسی محیط‌های رسوب‌گذاری و ثبت تغییرات محیطی است (برای مثال: Cumming & Hodgson, 2011). مفهوم اثررخساره (Seilacher, 1967) بر اساس مجموعه‌ای از اثرفسیل‌ها معرفی شده است که در شرایط زیستی مشابه تشکیل شده‌اند و معمولاً به وسیله ژرفا کنترل می‌شود (Frey et al., 1990; Monaco, 1995; Cumming & Hodgson, 2011). استفاده از اثرفسیل‌ها سبب درک بهتر از عوامل کنترل‌کننده محیط‌های رسوب‌گذاری در پراکنش اثرفسیل‌ها می‌شود (Frey et al., 1990; Uchman & Wetzel, 2011). ترکیب اثررخساره‌ها با توجه به تغییرات ژرفای آب و تغییر فاکتورهای محیطی از قبیل نرخ رسوب‌گذاری، سطح انرژی آب و اندازه دانه‌های رسوب، شوری، اکسیژن، میزان مواد غذایی و چگونگی توزیع آن، دما، آشفتگی آب و شرایط تافونومی (به علت تغییر در شرایط تداوم بستر) تغییر می‌نماید (Frey et al., 1990; Heard & Pickering, 2008; Cumming & Hodgson, 2011). پتانسیل حفظ‌شدن اثرفسیل‌ها متأثر از فاکتورهای مهمی از قبیل ژرفای اثر در داخل رسوبات و میزان فرسایش پس از رسوب‌گذاری است. این فاکتورها ممکن است بین محیط‌های مختلف رسوبی بسیار آشکار باشد. برای مثال اثررخساره کروزیانا در زون بین موجسار هوای آرام و موجسار هوای توفانی قابل مشاهده بوده و از حفظ‌شدگی خوبی برخوردار است (Seilacher, 1967; Pemberton et al., 1992). رسوبات مورد مطالعه یک روند ژرف‌شدگی و نازک‌شدن لایه‌ها را به سمت بخش‌های بالای برش نشان می‌دهند به طوری که در قاعده، رسوبات پلاژیک دارای میان‌لایه‌های نهشته توفانی و به سمت بالا به نهشته‌های سیلیسی قرمز رنگ متوسط تا ستبرلایه دارای رادیولاریت و در نهایت به رسوبات سیلیسی خاکی رنگ متوسط تا نازک لایه دارای رادیولاریت ختم می‌شود. با تغییرات ژرفا افزون بر رخساره‌های رسوبی، اثررخساره‌ها نیز تغییر می‌کنند. رفتارشناسی اثرفسیل‌های شناسایی شده در رخساره‌های رسوبی مورد مطالعه با توجه به تلفیق داده‌های سنگ‌نگاری، ساخت‌های رسوبی فیزیکی و نوع اثرفسیل‌ها به شرح زیر و در جدول۱ آمده است.

- رخساره اول : کربنات پلاژیک

این رخساره شامل واحدهای نازک تا متوسط لایه آهک، آهک مارنی با میان‌لایه‌های شیلی به رنگ خاکستری است (شکل۲-الف). ریزرخساره (میکروفاسیس) موجود در این سنگ‌رخساره شامل روزن‌بران پلانکتونیک، رادیولاریا و سوزن اسفنج در زمینه میکرایتی (وکستون - پکستون، Dunham, 1962) است (شکل۲- ب). این نهشته‌ها معمولاً در قاعده نهشته‌های چرتی قرار گرفته‌اند. بیشتر روزن‌بران موجود در زمینه میکرایتی به وسیله کلسیت اسپاری پر شده‌اند که بیانگر دیاژنز پس از رسوب‌گذاری است. عدم وجود قطعات درشت‌دانه در این نهشته‌ها بیانگر ته‌نشینی در محیط کم‌انرژی است. در بخش‌هایی از این رسوبات گرهک‌های (نودول‌ها) پیریت مشاهده شد.

این رخساره دارای آشفتگی زیستی متغیری بوده و با اندیس آشفتگی زیستی (Bioturbation Index=BI) حدود BI-1 تا BI-4 قابل تشخیص است. آشفتگی زیستی در لایه‌های کربناته نازک‌لایه‌تر بخش بالای برش مورد مطالعه کاهش نشان می‌دهد. اما بیشتر این آشفتگی‌های زیستی در ارتباط با لایه‌های آهکی مرتبط با نهشته‌های توفانی بوده که توزیع قابل‌توجهی در رخساره‌ها دارند و به صورت نامنظم پراکنده هستند. اثرفسیل‌های موجود دراین اثررخساره دارای استراتژی رفتاری گریزینگ (Pascichnia) مانند پلانولیتس، هلمنتوپسیس و کیمیچنیا (Chemichnia) مانند کندریتس هستند (شکل۳).

- رخساره دوم: نهشته‌های توفانی (رخساره کنگلومرای پبلی مسطح حاوی قطعات اُاُبید و کرینوبید)

این رخساره سنگی به صورت میان‌لایه بین نهشته‌های پلاژیک نازک تا متوسط‌لایه تشکیل شده است. مرز پایینی این نهشته‌ها به صورت تخریبی و مرز بالای آن به صورت تدریجی به نهشته‌های پلاژیک تبدیل می‌شوند (شکل ۴- الف). ستبرای این لایه‌ها از ۱۰ تا ۹۰ سانتی‌متر متغیر است. اندازه قطعات در این نهشته‌ها از ماسه آهکی ریزدانه تا قطعات پبلی متغیر است. قطعات پبلی دارای سوزن اسفنج و فسیل رادیولاریا می‌باشد و به صورت پلاژیک مادستون قابل مشاهده می‌باشند. فضای خالی بین قطعات پبلی مسطح و لایه‌های ماسه‌ای توفانی به طور عمده از قطعات کربناته نریتیک شامل اینترکلاست، اُاُبید، جلبک سبز و خارپوست تشکیل شده که از مناطق کم‌ژرفاتر منشأ گرفته‌اند. قطعات پبلی معمولاً بین ۲ تا ۱۵ سانتی‌متر متغیر و به صورت زاویه‌دار تا نیمه‌زاویه‌دار هستند. فضای بین قطعات پبلی متوسط را رسوبات ماسه‌ای آهکی پر کرده است. در نهشته‌های توفانی نازک‌لایه که اندازه قطعات در آنها در اندازه ماسه ریز تا سیلت است طبقه‌بندی مورب پشته‌ای و طبقه‌بندی مورب مشاهده شد.

تنوع اثرفسیل‌ها در این لایه‌ها به خاطر افزایش انرژی توفان کاهش و فراوانی آشفتگی زیستی از BI-3 تا BI-6 افزایش می‌یابد. به طوری که تالاسینوبیدس با استراتژی رفتاری معلق‌خوار (Domichnia) تنها اثرفسیلی موجود در این رخساره

است. (شکل۵). در نهشته‌های توفانی درشت‌دانه (ماسه درشت تا پبل) اثرفسیلی تالاسینوییدس به وسیله نهشته‌های رسوبی اولیه مانند قطعات کرینوییید، اُاُییید، پلوییید و جلبک که از مناطق کم‌ژرفا حمل شده‌اند، پر شده‌اند. این حفرات سپس توسط فرایندهای دیاژنزی ثانویه سیلیسی شده به طوریکه تنها شبه‌هایی از قطعات پرکننده حفرات باقی مانده است. در لایه‌های توفانی ریزدانه در حد ماسه ریزدانه تا سیلت اثرفسیل ذکر شده توسط رسوبات پلوییدی و میکرایتی ریزدانه و سبز رنگ پر شده است.

– رخساره سوم: چرت‌های دارای رادیولاریا

نهشته‌های چرتی به صورت لایه‌ای و به رنگ قرمز تا خاکی روشن رخنمون دارند. در آنها میان‌لایه‌های شیلی نازک لایه به رنگ قرمز نیز مشاهده می‌شود و در بعضی نقاط حاوی گرهک‌های آهن و منگنز هستند. این نهشته‌های چرتی در بسیاری از مواقع به صورت نازک تا ستبرلایه در ارتباط با واحدهای کربناته پلاژیک مشاهده می‌شوند. ستبرای این نهشته‌ها به سمت بالا یک توالی نازک‌شونده را نشان می‌دهد (شکل‌های ۶-الف و ب). این رسوبات دارای رادیولاریا و سوزن اسفنج با فراوانی ۱۰ تا ۹۰ درصد در زمینه‌ای سیلیسی یا آغشته به اکسید آهن پراکنده بوده و به صورت رادیولاریا وکستون-پکستون مشاهده می‌شود. ستبرای واحدهای سیلیسی در یک روند کاملاً مشخص به سمت بالا نازک‌شدگی نشان داده و با تغییر رنگ رسوبات از قرمز به صورتی و خاکی روشن همراه است.

در این واحدهای رسوبی میزان آشفتگی زیستی از BI-1 تا BI-5 متغیر است و به سمت بالا میزان آشفتگی کاهش می‌یابد. در این رسوبات تنوع و فراوانی کمی از اثرفسیل‌ها مشاهده می‌شود. اثرفسیل‌های موجود به صورت پسیچنیا (Pascichnia) و کیمیچنیا (Chemichnia) هستند که با نازک‌شدن لایه به سمت بالا از تنوع و فراوانی آنها کاسته می‌شود. این اثرفسیل‌ها شامل کندریتس، ژیروکورت، تالاسینوییدس، هالوپوا، هلمنتوپسیس و اسکولیسیا هستند (شکل۷). در بخش‌های پایینی نهشته‌های چرتی اثرفسیل‌های تالاسینوییدس و ژیروکورت چیره بوده که با روند نازک‌شدن لایه‌ها به سمت بالای برش از فراوانی آنها کاسته شده و انواع دیگر شامل کندریتس، اسکولیسیا، هالوپا و هلمنتوپسیس چیره می‌شوند. لازم به ذکر است در نهشته‌های چرتی نازک لایه اندیس آشفتگی زیستی تقریباً پایین (BI-1) است.

۵- تفسیر اثررخساره ای

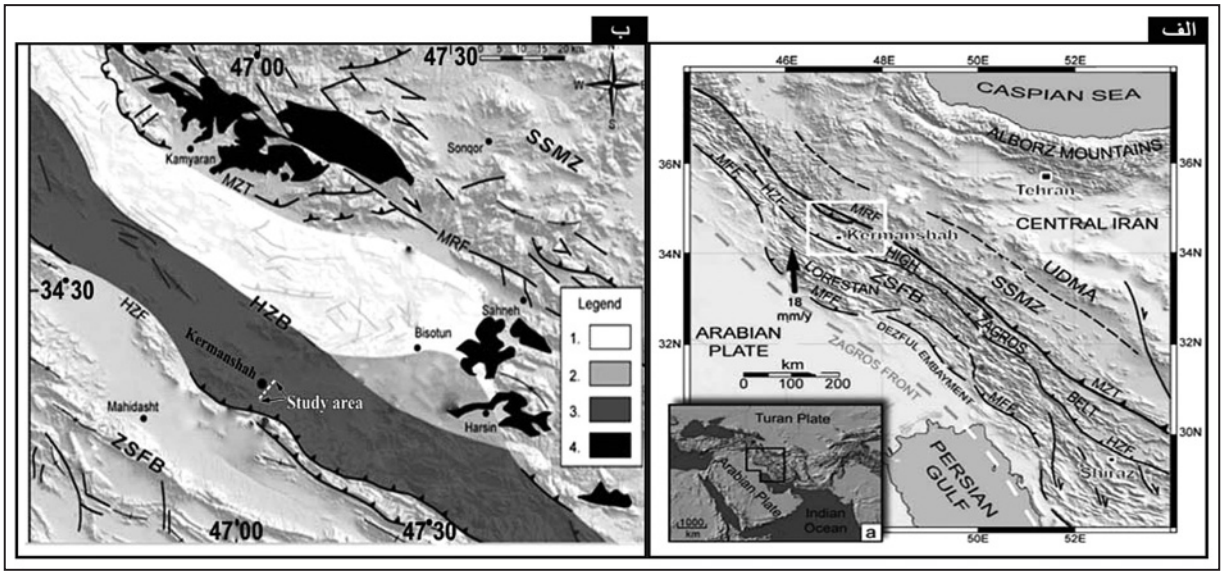
در رخساره کربنات پلاژیک (رخساره اول) با توجه به ریزدانه بودن رسوبات، عدم وجود قطعات دانه‌درشت و وجود روزن‌بران پلانکتونیک و رادیولاریا می‌توان بیان داشت که این رخساره سنگی در شرایط کم‌انرژی و در زون نسبتاً ژرف تشکیل شده است. حضور فسیل رادیولاریا در نهشته‌های رسوبی بیانگر محیط‌های پلاژیک و ژرف است (برای مثال Baumgartner, 2013). در نهشته‌هایی که مرتبط با نهشته‌های توفانی هستند میزان آشفتگی زیستی بسیار بالاست که بالا بودن میزان آشفتگی زیستی در بخش‌های پلاژیک مرتبط با نهشته‌های توفانی بیانگر نرخ پایین رسوب‌گذاری پس از توفان در محیط رسوبی است (برای مثال Seguret et al., 2001). اثرفسیل‌های ایجاد شده به وسیله جانوران سازنده آن در این رخساره به دلیل بالا بودن غالباً میزان اکسیژن و مواد غذایی در دسترس دارای استراتژی رفتاری گریزینگ و تغذیه‌ای هستند. در این شرایط اثرفسیل‌های تالاسینوییدس بزرگ مقیاس (۴-۲ cm)، پلانولیتس و کندریتس چیره می‌شوند (Monaco, 1992). اثرفسیل‌های موجود نشان‌دهنده سطوح چسبنده سخت‌نشده گلی (firmground) در نهشته‌های دریایی با شوری ثابت هستند (MacEachern et al., 2007). چنین شرایطی به طور مشخص در مناطق با سطح متوسط انرژی، یعنی زیر موجسار آرام و البته بالای موجسار توفانی، تا سطوح کم‌انرژی‌تر در آب‌های آرام و ژرف‌تر وجود دارد (MacEachern et al., 2007). بنابراین همراهی نهشته‌های توفانی و طبقات مورب پشته‌ای (HCS) در مجاورت این اثرفسیل‌ها نشان‌دهنده اثررخساره کروزیانای دور از ساحل است (برای مثال MacEachern et al., 2007). به طوری که در این اثررخساره در بخش‌های دانه ریز، (واحدهای بالایی نهشته‌های توفانی) اثرفسیل‌های فراوان با استراتژی رفتاری گریزینگ و تغذیه‌ای (پلانولیتس و هلمنتوپسیس) همچنان مشاهده می‌شوند. بنابراین می‌توان اظهار نمود که در محیط‌های کم‌انرژی، سطوح چسبنده و فراوانی مواد غذایی معلق جانداران را به ساختن بیشتر حفرات موازی نسبت به حفرات قائم تشویق می‌کنند (MacEachern et al., 2007). در رخساره نهشته‌های توفانی (رخساره دوم) وجود میان‌لایه‌های حاوی قطعات کربناتی تخریب شده و طبقات مورب پشته‌ای در بین نهشته‌های ریزدانه بیانگر تشکیل این نهشته‌ها تحت تأثیر موجسار هوای توفانی است (برای مثال: Badenas et al., 2005; Perez-Lopez & Perez-Valera, 2011). ریزشدن ذرات به سمت بالای لایه بیانگر کاهش انرژی در محیط است (Aigner, 1985 به نقل از Perez-lopes & Perez-valera, 2011). وجود قطعات کرینوییدی و اُاُییدی در زمینه این نهشته بیانگر حمل این رسوبات از مناطق کم‌ژرفا به وسیله جریان‌های توفان برگشتی به بخش‌های ژرف‌تر است (برای مثال Myrow & Southard, 1996; Mallarino et al., 2002). در محیط‌هایی که طول دوره زمانی فاز اولیه ته‌نشینی تحت‌تأثیر نوسانات موجسار هوای توفانی افزایش می‌یابد فراوانی اثرفسیل‌ها با استراتژی رفتاری گریزینگ و تغذیه‌ای کاهش یافته و در مقابل فراوانی اثرفسیل‌هایی مانند تالاسینوییدس با استراتژی رفتاری معلق‌خوار افزایش می‌یابد (MacEachern et al., 2007). حفرات ایجاد شده در زمان توفانی شدن در رسوب‌گذاری بعدی با مواد متفاوتی نسبت به زمینه سنگ پر می‌شود (Bromley, 1996). در هنگام توفان بخشی از رسوبات ریزدانه پلاژیک حذف می‌شوند و به وسیله نهشته‌های توفانی جایگزین می‌شوند. نهشته‌های چرتی حاوی رادیولاریت (رخساره سوم) معمولاً به عنوان نهشته‌های پلاژیک حاصل از بقایای سیلیس جانوران که در زیر سطح موجسار هوای توفانی تشکیل شده است، در نظر گرفته می‌شوند (Baumgartner, 2013). نوع رخساره رسوبی میزبان (رادیولاریا وکستون-پکستون) حاکی از بستر رسوبی با سطح انرژی پایین و غنی از مواد آلی با اکسیژن کم است که می‌تواند نشان دهنده ژرفای نسبتاً زیاد آن باشد (Flügle, 2010). فراوانی زیاد و تنوع کم اثرفسیل‌های شامل تالاسینوییدس، ژیروکورت، هلمنتوپسیس، کندریتس و همراهی اسکولیسیا می‌تواند نشان‌دهنده شرایط پر استرس(کم‌اکسیژن)، افزایش ژرفا باشد که بیانگر اثررخساره زئوفیکوس است (Monaco, 1995). در واحدهای چرتی که در ارتباط با نهشته‌های کربناته هستند شاهد وجود تالاسینوییدس‌های بزرگ مقیاس و ژیروکورت هستیم که نشان‌دهنده وجود مواد غذایی و اکسیژن بالا است (Hallm, 1970 به نقل از Monaco, 1992). اما کاهش آشفتگی زیستی و افزایش اثرفسیلیکندریتس می‌تواند نشان‌دهنده شرایط پر استرس و کاهش اکسیژن در محیط باشد (Bromley & Asgaard, 1991 به نقل از Martin, 2004). یکی از فاکتورهای مهم و ضروری برای حفظ‌شدگی اثرفسیل‌هایی همچمون اسکولسیا عدم وجود ساختارهای تغذیه‌ای ژرف است (Fu & Werner, 2000). همچنین وجود هلمنتوپسیس در این اثررخساره دلالت بر وجود مواد آلی بالا در بستر رسوبی محدوده مورد مطالعه است (Frey et al., 1984) به عبارتی وجود ساخت‌های گریزینگ فراوان در این اثر رخساره دلالت بر فراوانی مواد آلی در بستر رسوبی و احتمالا ستون آب دارد (Uchman, 1995).

با توجه به توضیحات بالا، سه رخساره فسیلی با استفاده از اثرفسیل‌های موجود به عنوان ساخت‌های بیوژنیک و ارتباط آن با انواع رخساره‌های رسوبی در رسوبات دریایی مورد مطالعه شناسایی شد که می‌تواند بیانگر تغییرات ژرفا و شیمی آب این حوضه رادیولاریتی باشد. با پیشروی آب دریا نهشته‌های کربناتی پلاژیک ابتدا به

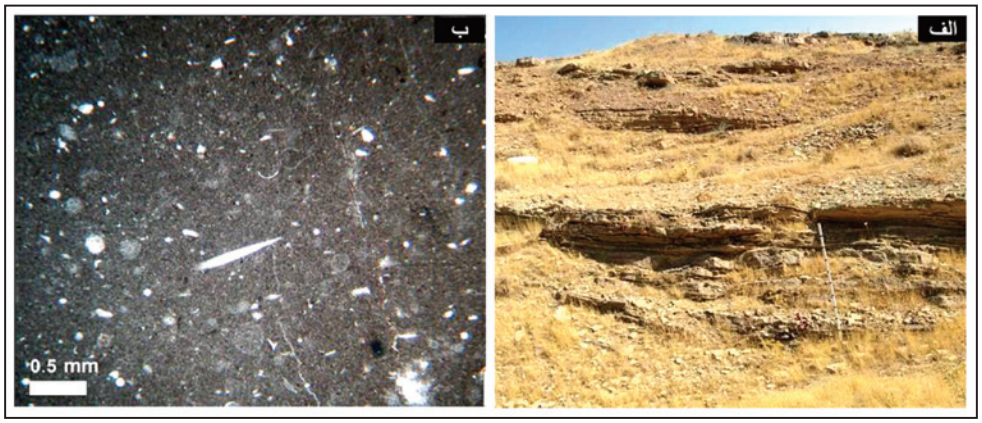
وسیله نهشته‌های توفانی (حاوی قطعات پبلی مسطح و طبقه‌بندی مورب پشته‌ای) و سپس به وسیله نهشته‌های سیلیسی جایگزین می‌شود. در واقع می‌توان گفت که نهشته‌های توفانی در زون انتقالی بین نهشته‌های کربناته و نهشته‌های چرتی و با ویژگی‌های متفاوتی از آن دو نهشته ایجاد شده است. در زون انتقالی بین اثررخساره کروزیانای دور از ساحل و اثررخساره زئوفیکوس که با حذف رسوبات به وسیله توفان همراه است اثر فسیل‌های تالاسینوییدس با با استراتژی رفتاری معلق‌خوار (Domichnia) بر روی رسوبات زون انتقالی گسترش یافته‌اند. این تغییر رخساره با تغییر در لیتولوژی و تغییر رفتاری اثرفسیل‌ها همراه است. به طوریکه در نهشته‌های پلاژیک که در شرایط آرام گسترش می‌یابند جانورانی با رفتار تغذیه‌ای گریزینگ چیره می‌شوند. با شروع تأثیرات توفان در نهشته‌های کربناته اثرفسیل‌های اثررخساره کروزیانای دور از ساحل که نشان‌دهنده میزان مواد غذایی و اکسیژن کافی است با رفتار معلق‌خواری گسترش می‌یابند اما در جهت افزایش ژرفای حوضه به تدریج از اثرات اثررخساره کروزیانای دور از ساحل کاسته شده و بر اثرات اثررخساره زئوفیکوس افزوده می‌شود (شکل۸). این اثررخساره ابتدا توسط Seilacher (1967) به عنوان شاخص ژرفا در نظر گرفته شده بود اما برخی پژوهشگران تنها ژرفا را تأثیرگذار ندانسته بلکه وجود عواملی همچون شیمی آب و اکسیژن برای ایجاد محیط پر استرس را لازم می‌دانند (Bromley, 1996). اگر چه تعداد زیادی اثرفسیل‌های با استراتژی همزیست شیمیایی و گریزینگ در این محدوده وجود دارد اما وجود رسوبات ریز دانه از فرضیه افزایش ژرفا حمایت می‌کند. در نهشته‌های رادیولاریتی با افزایش ژرفا و کاهش اکسیژن نهشته‌های چرتی خاکی رنگ حاوی اثرفسیل‌های اسکولیسیا، هالوپوا و هلمنتوپسیس و کندریتس با آشفتگی زیستی کم در سطح و داخل رسوبات ظاهر می شوند. این تغییر در اثر فسیل‌ها که با افزایش ژرفا و کاهش اکسیژن همراه است، نشان‌دهنده پیشروی بیشتر و ته‌نشینی نهشته‌های چرتی نازک‌لایه خاکی رنگ بر روی نهشته‌های چرتی ستبرلایه قرمز است. در توالی رادیولاریتی کرمانشاه با توجه به همراهی اثررخساره کروزیانای دور از ساحل با نهشته‌های توفانی حاوی اثر فسیلی تالاسینوییدس، طبقه‌بندی مورب پشته‌ای و نهشته‌های پبلی مسطح، به نظر می‌رسد که این بخش از رسوبات پلاژیک در زون انتقالی بین رمپ میانی تا خارجی ته‌نشین شده است و با پیشروی آب دریا، افزایش استرس و کاهش اکسیژن نهشته‌های سیلیسی حاوی اثررخساره زئوفیکوس در بخش رمپ خارجی بر روی این رسوبات ته‌نشین می‌شوند.در یک روند کلی از بخش شمالی حوضه به سمت بخش جنوبی حوضه ژرفا افزایش می‌یابد.

۶- نتیجه گیری

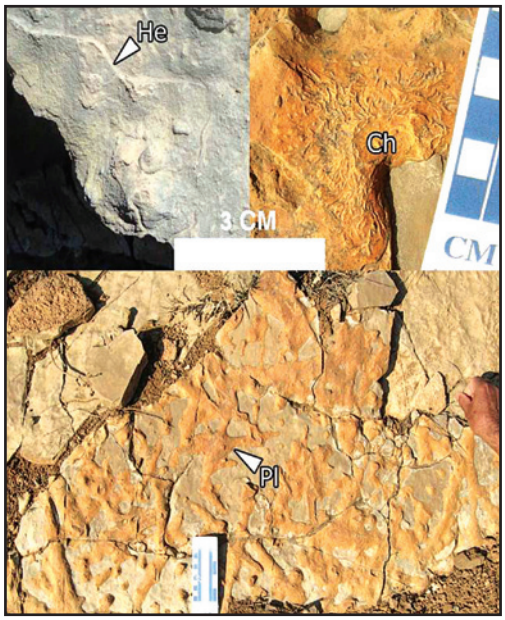
در برش مورد مطالعه تنوع خوبی از رخساره‌ها و اثررخساره‌های رسوبی وجود دارد. نهشته‌های رسوبی به طور کلی شامل سه گروه هستند.۱-رخساره سنگی کربنات‌های پلاژیک ۲- رخساره نهشته‌های توفانی و ۳- رخساره نهشته‌های چرتی حاوی رادیولاریت. در هر گروه از این رخساره سنگی اثررخساره‌های مشاهده می‌شود که به ترتیب رخساره‌ها شامل اثررخساره کروزیانای دور از ساحل، اثررخساره پر انرژی و اثررخساره زئوفیکوس هستند. ترکیب داده‌های اثررخساره ای (اثررخساره کروزیانای دور از ساحل، اثر فسیلی تالاسینویید) به همراه نهشته‌های توفانی (پبل مسطح و طبقه‌بندی مورب پشته‌ای) بیانگر ته‌نشینی این رسوبات در بخش رمپ میانی تا رمپ خارجی است. تغییرات این رخساره‌ها بیانگر تغییرات انرژی و مواد مواد غذایی با تغییر ژرفا است. به طوریکه با افزایش ژرفا، اکسیژن و مواد غذایی کاهش می‌یابد.



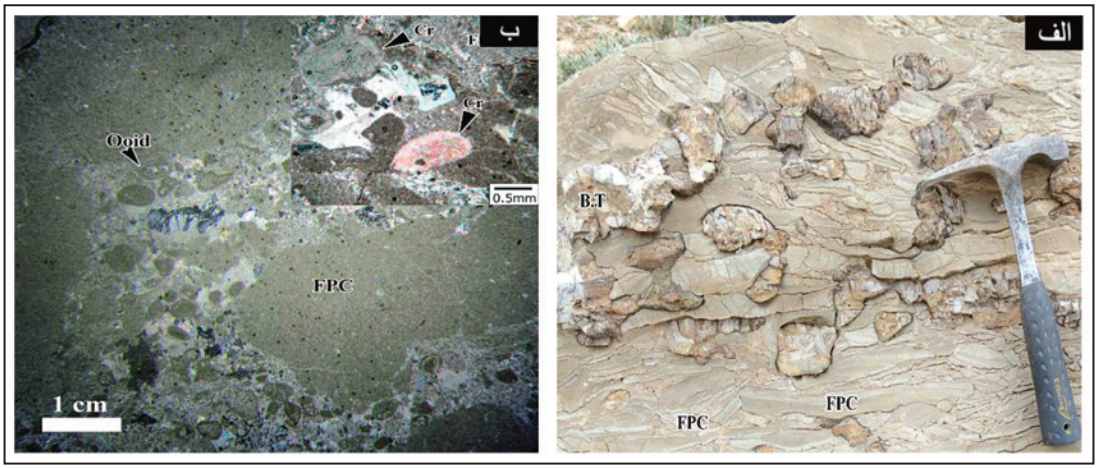
شکل۱- الف) نقشه شاخص از منطقه مورد مطالعه در کمربند راندگی (تراستی) و گسلی زاگرس (UDMA:Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc; SSMZ: Sanandaj- Sirjan Metamorphic Zone; MZT: Main Zagros Thrust; MRF: Main Recent Fault; HZF: Hihg Zagros Fault; ZSFB: Zagros Simple Fold Belt; MFF: Mountain Front Fault.) منطقه مورد مطالعه (منطقه مورد مطالعه با مربع سفید مشخص گردیده است) (a= نقشه منطقه‌ای خاورمیانه)؛ ب) نقشه ساده شده زمین‌شناسی کرمانشاه که منطقه مورد مطالعه را در بخش رادیولاریتی نشان می‌دهد (۱- واحدهای آهکی بیستون، ۲- زون انتقالی بین بیستون و واحدهای رادیولاریتی، ۳- واحدهای رادیولاریتی و ۴- واحدهای افیولیتی) (شکل الف و ب با تغییراتی برگرفته شده از Navabpour et al., 2011).



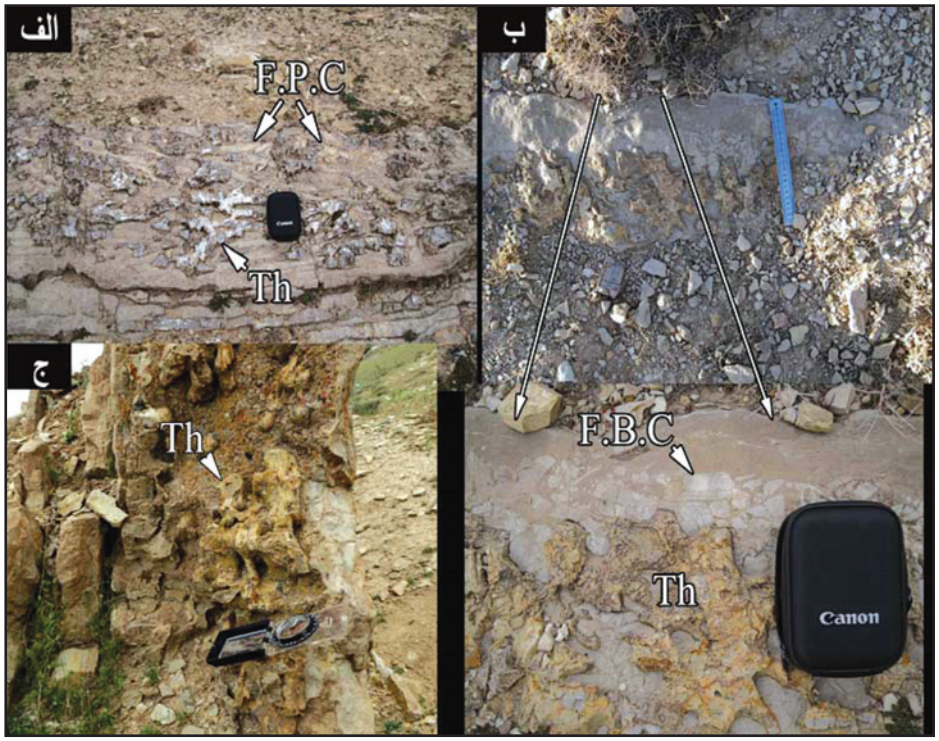
شکل۲- الف) نمایی از نهشته‌های نازک لایه پلاژیک (مقیاس ۲ متر)؛ ب) تصویر میکروسکپی از پلاژیک وکستون که قطعات سوزن اسفنج، رادیولاریا و روزن‌بران پلانکتونیک در زمینه میکرایتی پراکنده هستند.



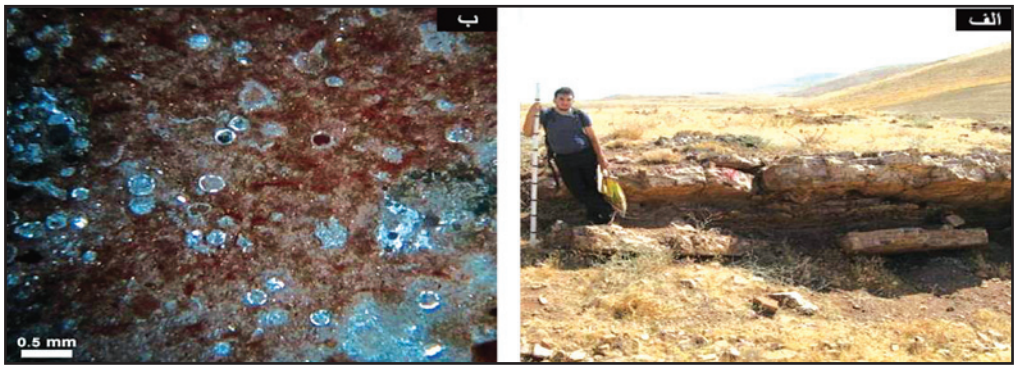
شکل۳- اثرفسیل‌های موجود در رخساره کربنات پلاژیک شامل: هلمنتوپسیس (He)، کندریتس (Ch)و پلانولیتس (Pl).



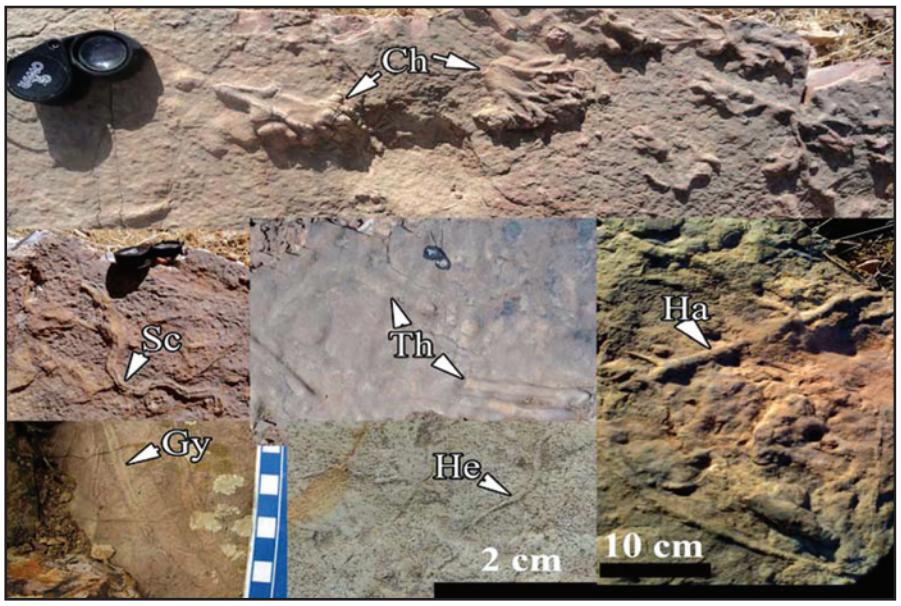
شکل۴- الف) نمایی نزدیک از نهشته‌های توفانی که قطعات پبلی مسطح (FPC) به همراه اثرهای فسیلی تالاسینوییدس (B.T) در آن مشاهده می‌شود؛ ب) تصویر میکروسکپی از قطعات پبلی (FPC)که قطعات ریز دانه کربناته اُاییدی (Ooid) و کرینوییدی (Cr) زمینه (ماتریکس) آن را تشکیل داده است.



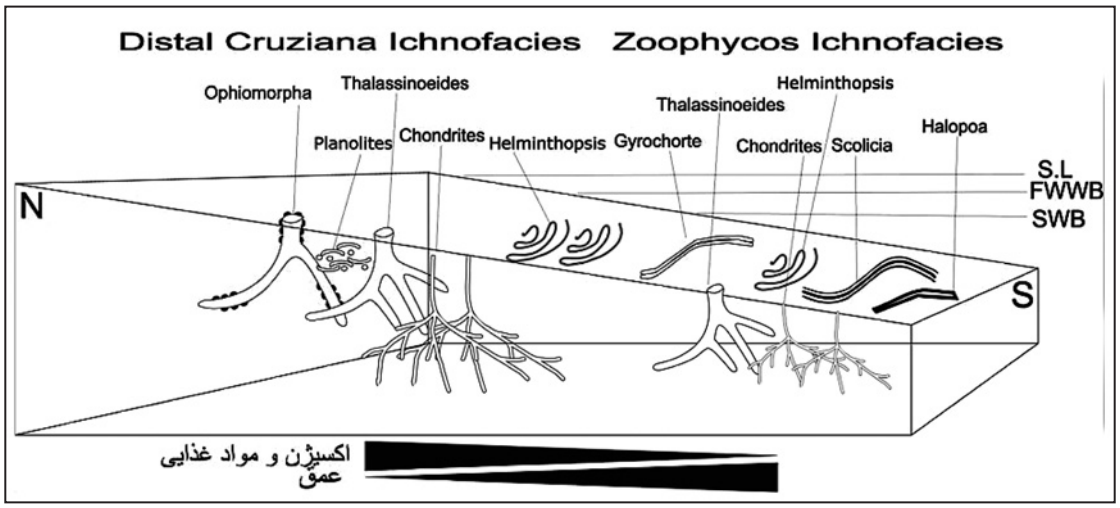
شکل۵- الف) تصویر از نهشته‌های توفانی با قطعات پبلی مسطح (FPC) مشخص که اثر حفاری تالاسینوید در آن به وسیله نهشته‌های چرتی جایگزین شده است؛ ب) نمایی دیگر از نهشته‌های طوفانی حاوی قطعات پبلی (Flat Pebble Conglomerate) که اثر فسیلی تالاسینوئیدس (Th) در آن به وسیله رسوبات سیلیسی جایگزین شده است. (پیکان سفید قطعات پبلی مسطح)؛ ج) نمایی از تجمع اثر فسیلی تالاسینوییدس در نهشته‌های تخریبی کربناته ریزدانه. (مقیای شکل الف و ب = ۱۰ سانتی‌متر. مقیاس شکل ج ۱۸ سانتی‌متر).



شکل۶- الف) نمایی از نهشته‌های چرتی متوسط و ستبرلایه؛ ب)تصویر میکروسکپی از رادیولاریا وکستون که در آن فسیل‌های رادیولاریا در زمینه سیلیسی- اکسیدی پراکنده هستند.



شکل۷- اثر فسیل‌های موجود در نهشته چرتی شامل کندریتس (Ch) ، اسکولیسیا (Sc) ، تالاسینوییدس (Th)، ژیروکورت (Gy)، هلمنتوپسیس (He) و هالوپوا (Ha).



شکل ۸- مدل پیشنهاد شده برای تغییرات اثررخساره‌ها در ارتباط با ژرفا، اکسیژن و مواد غذایی در برش‌های مورد مطالعه در حوضه رادیولاریت دار کرمانشاه.

جدول۱- جدول بررسی رخساره‌سنگی (لیتوفاسیس)، ریزرخساره (میکروفاسیس) و اثررخساره در توالی رادیولاریتی کرمانشاه.

اثر رخساره / اثر فسیل	میکرو رخساره	رخساره سنگی	رخساره‌ها به‌ترتیب از پایین به بالا
اثررخساره کروزیانای دور از ساحل: اثر فسیل‌های موجود دراین اثر رخساره دارای استراتژی رفتاری گریزینگ (Pascichnia) مانند پلانولیتس، هلمنتوپسیس و کیمیچنیا (Chemichnia) مانند کندریتس می‌باشد	**پلانکتونیک مادستون تا وکستون:** زمینه میکرایتی ریز دانه دارای روزن‌بران پلانکتونیک، رادیولاریا و سوزن اسفنج در زمینه میکرایتی است.	**کربنات پلاژیک:** این رخساره شامل واحدهای نازک تا متوسط لایه آهک، آهک مارنی با میان لایه‌های شیلی به رنگ خاکستری است.	**رخساره اول**
اثر فسیلی تالاسینویید با استراتژی رفتاری معلق‌خوار (Domichnia) تنها اثر فسیل موجود در این رخساره می‌باشد.	**آهک تخریبی:** قطعات پبلی حاوی سوزن اسفنج و فسیل رادیولاریا می‌باشند و به صورت پلانکتونیک مادستون قابل مشاهده می‌باشند. فضای بین قطعات پبلی مسطح و اجزای تشکیل دهنده لایه‌های تخریبی ماسه‌ای را دانه‌های اینترکلاست، اُاُید، جلبک سبز و خارپوست تشکیل داده که از مناطق کم ژرفاتر منشأ گرفته‌اند.	**نهشته‌های توفانی:** این رخساره سنگی به صورت میان‌لایه بین نهشته‌های پلاژیک نازک تا متوسط لایه تشکیل شده است. مرز پایینی این نهشته‌ها به صورت تخریبی و مرز بالای آن به صورت تدریجی به نهشته‌های پلاژیک تبدیل می شوند. ستبرای این لایه‌ها از ۱۰ تا ۹۰ سانتی‌متر متغیر است. اندازه قطعات در این نهشته‌ها از ماسه آهکی ریز دانه تا قطعات پبلی متغیر است.	**رخساره دوم**
اثررخساره زئوفیکوس: اثر فسیل‌های موجود به صورت پسیچنیا (Pascichnia) و کیمیچنیا (Chemichnia) هستند که با نازک شدن لایه به سمت بالا از تنوع و فراوانی آنها کاسته می‌شود. این اثرفسیل‌ها شامل کندریتس، ژیروکورت، تالاسینویید، هالوپوا، هلمنتوپسیس و اسکولیسیا می‌باشند.	**رادیولاریا وکستون–پکستون:** این رسوبات دارای رادیولاریا و سوزن اسفنج با فراوانی ۱۰ تا ۹۰ درصد است که در زمینه‌ای سیلیسی یا آغشته به اکسید آهن پراکنده هستند.	**چرت‌های حاوی فسیل رادیولاریا:** نهشته‌های چرتی به صورت لایه‌ای و به رنگ قرمز تا خاکی روشن رخنمون داشته و بسیار ترد و شکننده هستند. در آنها میان‌لایه‌های شیلی نازک لایه به رنگ قرمز نیز مشاهده می‌شود. این نهشته‌های چرتی در بسیاری از مواقع به صورت نازک تا ستبرلایه در ارتباط با واحدهای کربناته پلاژیک مشاهده می‌شوند. ستبرای این نهشته‌ها به سمت بالا یک توالی نازک شونده را نشان می‌دهد.	**رخساره سوم**

References

Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L. & Mouthereau, O., 2005- Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation. International Journal Earth Science (Geol Rundsch) 94: 401- 419.

Bádenas, B., Aurell, M. & Gröcke, D.R., 2005- Facies analysis and correlation of high-order sequences in middle–outer ramp successions: variations in exported carbonate on basin-wide $\delta^{13}C_{carb}$ (Kimmeridgian, NE Spain). Sedimentology 52: 1253 – 1275.

Baumgartner, P., 2013- Mesozoic radiolarites – accumulation as a function of sea surface fertility on Tethyan margins and in ocean basins. Sedimentology 60: 292318-.

Bernoulli, D. & Jenkyns, H.C., 2009- Ancient oceans and continental margins of the Alpine-Mediterranean Tethys: deciphering clues from Mesozoic pelagic sediments and ophiolites. Sedimentology 56: 149190-.

Braud, J., 1987- La suture du Zagros au niveau de Kermanshah (Kurdistan iranien): reconstitution paléogéographique, evolution géodynamique, magmatique et structurale. Unpublished doctoral dissertation. Univ. Paris-Sud, Orsay, p 439.

Bromley, R.G., 1996- Trace Fossils: Biology, Taphonomy and Applications. second edition: Chapman and Hall, London 361 pp.

Cummings, J.P. & Hodgson, D.M., 2011- Assessing controls on the distribution of ichnotaxa in submarine fan environments, the Basque Basin, Northern Spain. Sedimentary geology 239: 162187-.

Dunham, R.J., 1962- Classification of carbonate rocks according to depositional texture. American Association of Petroleum Geologists Memoir 1: 108121-.

Flügel, E., 2010- Microfacies of Carbonate Rocks; Analysis, Interpretation and Application. Springer 984 pp.

Frey, R.W., Curran, H.A. & Pemberton, S.G., 1984- Tracemaking activities of crabs and their environmental significance: the ichnogenus *Psilonichnus* . Journal of Paleontology 58: 333350-.

Frey, R.W., Pemberton, S.G. & Saunders, T.D.A., 1990- Ichnofacies and bathymetry: A passive relationship. Journal of Paleontology 64: 155158-.

Fu, S. & Werner, F., 2000- Distribution, ecology and taphonomy of the organism trace, *Scolicia*, in northeast Atlantic deep-sea sediments. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 156: 289300-.

Gharib, F. & De Wever, P., 2010- Radiolaires mésozoïques de la formation de Kermanshah (Iran). Comptes Rendus Palevol 9: 209219-.

Heard, T.G. & Pickering, K.T., 2008- Trace fossils as diagnostic indicators of deep-marine environments, Middle Eocene Ainsa-Jaca basin, Spanish Pyrenees. Sedimentology 55: 809844-.

Immenhauser, A., 2009- Estimating palaeo-water depth from the physical rock record. Earth-Science Reviews 96:107139-.

Karimi Bavandpur, A., 1999- Geological map of Kermanshah 1/100000 scale. Geological survey of Iran.

MacEachern, J.A., Bann, K.L., Pemberton, S.G. & Gingras, M.K., 2007- The ichnofacies paradigm: high resolution paleoenvironmental interpretation of the rock record. In: MacEachern, J.A., Bann, K.L., Pemberton, S.G., Gingras, M.K. (eds.), Applied Ichnology: SEPM Short course Notes 52: 2763-.

Mallarino, G., Goldstein, R.H. & Di Stefano, P., 2002- New approach for quantifying water depth applied to the enigma of drowning of carbonate platforms. Geology 30: 783786-.

Martin, K.D., 2004- A re-evaluation of the relationship between trace fossils and dysoxia. In: McIlroy, D. (Ed.), The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis. Geological Society Special Publications 228: 141156-.

McIlroy, D., 2004- Some ichnological concepts, methodologies, applications and frontiers, in McIlroy, D.(ed.), The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis: Geological Society of London, Special Publication 228: 327-.

Mohajjel, M., Fergusson, C.L. & Sahandi, M.R., 2003- Cretaceous–Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj–Sirjan Zone, western Iran. Journal of Asian Earth Sciences 21: 379412-.

Molina, J.M., Ruiz-Ortiz, P.A. & Vera, J.A., 1997- Calcareous tempestites in pelagic facies (Jurassic, Betic Cordilleras, southern Spain). Sedimentary Geology 109: 95109-.

Monaco, P., 1992- Hummocky cross-stratified deposits and turbidites in some sequences of the Umbria-Marche area (central Italy) during the Toarcian. Sedimentary Geology 77: 123142-.

Monaco, P., 1995- Relationships between trace-fossil communities and substrate characteristics in some Jurassic pelagic deposits in the Umbria-Marche basin, Central Italy. Geobios 18: 299311-.

Myrow, P.M. & Southard, J.B., 1996- Tempestite deposition. Journal of Sedimentary Research 66: 875887-.

Navabpour, P., Angelier, J. & Barrier, E., 2011- Brittle tectonic reconstruction of palaeo-extension inherited from Mesozoic rifting in West Zagros (Kermanshah, Iran). Journal of the Geological Society, London 168: 979994-.

Pemberton, S.G., Frey, R.W., Ranger, M.J.A. & MacEachern, J., 1992- The conceptual framework of ichnology. In: Pemberton, S.G. (Ed.), Applications of Ichnology to Petroleum Exploration: SEPM Core Workshop 17, Tulsa, USA, 132- pp.

Perez-Lopez, A. & Perez-Valera, F., 2011- Tempestite facies models for the epicontinental Triassic carbonates of the Betic Cordillera (southern Spain). Sedimentology 59: 646678-.

Seguret, M., Pouchkine, A.M., Gabaglia, G.R. & Bouchette, F., 2001- Storm deposits and storm-generated coarse carbonate breccias on a pelagic outer shelf (South-East Basin, France). Sedimentology 48: 231254-.

Seilacher, A., 1967- Bathymetry of trace fossils: Marine Geology 5: 413428-.

Taylor, A., Goldring, R. & Gowland, S., 2003- Analysis and application of ichnofabrics: Earth-Science Reviews 60: 227259-.

Uchman, A. & Wetzel, A., 2011- Deep-Sea ichnology: the relationships between depositional environment and endobenthic organisms. In: Hüneke, H., Mulder, T. (Eds.), Developments in Sedimentology: Deep-Sea Sediments, Elsevier 63: 517556-.

Uchman, A., 1995- Taxonomy and palaeoecology of flysch trace fossils: The Marnoso-arenacea Formation and associated facies (Miocene, Northern Apennines, Italy). Beringeria 15: 3115-.

Wrobel-Daveau, J.C., Ringenbach, J.C., Tavakoli, S., Ruiz, G.M.H., Masse, P. & de Lamotte, D.F., 2010- Evidence for mantle exhumation along the Arabian margin in the Zagros (Kermanshah area, Iran). Arabian Journal of Geosciences 3: 499513-.