

اثر رخساره تردولیتی و جایگاه آن در تحلیل چینه‌نگاری سکانشی بخش بالایی سازند زیوه در منطقه مغان، استان آذربایجان خاوری

نصراله عباسی^۱، مجید میرزایی عطاآبادی^۲ و محمد حسن پور^۳

^۱دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

^۲استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

^۳دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۳

چکیده

برشی به ستری بیش از ۲۰۵ متر از لایه‌های بالایی سازند زیوه (میوسن میانی) در شمال روستای اجاق‌کندی، واقع در شمال خاوری کلیبر، استان آذربایجان خاوری، مورد پیمایش قرار گرفت. در این برش، سازند زیوه با ناپوستگی زاویه‌دار توسط رسوبات تورنونین پوشیده می‌شود و مرز زیرین آن پوشیده با آبرفت است. سنگواره‌های گوناگونی از نرم‌تنان، گیاهان و استخوان مهره‌داران در این برش یافت گردیدند. همچنین در یک افق، اثر فسیل‌های فراوانی متعلق به اثرگونه *Teredolites longissimus* که حاصل فعالیت دوکفه‌ای‌های حفار در بسترهای چوبی است، یافت گردید. وجود افق چوبی در توالی رسوبی نخستین نشانه خیز سطح دریاهای آزاد محسوب می‌شود و قاعده آن را می‌توان سطح زیرین بخش TST در نظر گرفت. به بیان دیگر این افق را می‌توان مرحله نخست پیشروی و خیز سطح دریا در زمان رسوبگذاری توالی رسوبی سازند زیوه در برش مورد مطالعه دانست.

کلیدواژه‌ها: اثر رخساره، تردولیتس، بستر چوبی، مغان، پاراتیتس.

***نویسنده مسئول:** نصراله عباسی

E-mail: abbasi@znu.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

مطالعات تخصصی بر روی توالی‌های رسوبی پهنه‌های زمین‌شناسی ایران موجب شده است که بر اطلاعات زمین‌شناختی این سرزمین افزوده شود. یکی از این زمینه‌ها، که اخیراً در ایران رو به رشد بوده است؛ مطالعات اثرشناسی (ichnology) توالی‌های رسوبی است. اثرشناسی، دانش مطالعه ردواره‌های (ichnofossils) حاصل از فعالیت‌های زیستی جانداران است که در سطوح، یا در درون لایه‌بندی باقی مانده‌اند. اثر فسیل‌ها در واقع سنگواره رفتارهای زیستی هستند (Seilacher, 1967)؛ ولی قابلیت ارزیابی شرایط محیط رسوبی را نیز بر اساس میزان و نوع فعالیت‌های زیستی جانداران اثرساز فراهم می‌کنند.

حوضه رسوبی دشت مغان در منتهی‌الیه شمال باختری ایران، از ویژگی‌های زمین‌شناسی خاصی نسبت به سایر پهنه‌های زمین‌شناختی ایران برخوردار است، چراکه در این منطقه، رخساره‌های رسوبی با ماهیت حوضه رسوبی پاراتیتس (paratethys)، گسترش دارند. این حوضه، هرچند با نبودهای چینه‌نگاری پی در پی در طی سنوزوئیک همراه بوده است، ولی رخساره‌های رسوبی آن با توان بالای تولید یا ذخیره منابع هیدروکربوری، مورد توجه شرکت‌های نفتی می‌باشند (Abrams and Narimanov, 1997; Mirshahani et al., 2018). در این راستا، توالی رسوبی منطقه مغان توسط پژوهشگران مورد مطالعه قرار گرفته و زمین‌های سنوزوئیک آن پیمایش و نامگذاری شده است (Nevesskaja et al., 1987; Willm et al., 1961). نهشته‌های ستر الیگومیوسن حوضه مغان، با نام غیر رسمی سازند زیوه معرفی شده (رحیم‌زاده، ۱۳۷۱)، و با وجود رخنمون گسترده این سازند، مطالعات اندکی بر روی آن انجام یافته است. از مهمترین مطالعات پیشین، می‌توان به بررسی محیط رسوبی و برخاستگاه ذرات رسوبی نهشته‌های آواری این سازند اشاره نمود (Amini, 2011; Jafarzadeh et al., 2014). به‌طور کلی سازند زیوه، خود از مجموعه‌ای از رسوبات آواری و مارنی تشکیل شده است و فسیل‌های دریایی تا خشکی، مانند صدف بی‌مهرگان، استخوان مهره‌داران، فسیل‌های گیاهی و تنه درختان در آن گزارش شده است. همچنین در برخی جاها، تجمع بقایای گیاهی لایه‌های زغالی را (هر چند غیر اقتصادی)، ایجاد نموده است (فریدآزاد و همکاران ۱۳۹۳).

در مطالعه حاضر، یک برش از سازند زیوه در شمال روستای اجاق‌کندی، واقع در شمال خاوری کلیبر، در استان آذربایجان خاوری، انتخاب و مورد پیمایش قرار گرفت. در میان نمونه‌های متعدد فسیلی یافت شده در این پیمایش، فسیل تنه درختی یافت شد که انباشته از اثر فسیل *Teredolites* هستند. هدف از ارائه این نوشته؛ که نخستین مطالعه اثرشناسی در حوضه مغان و نخستین گزارش از اثر رخساره تردولیتس از ایران است، معرفی اثر رخساره تردولیتس و بکارگیری آن را در چینه‌نگاری سکانشی در توالی مورد مطالعه است. نظر به اینکه بررسی چینه‌نگاری کامل یک توالی رسوبی، نیازمند بسیاری از داده‌ها و اطلاعات، به ویژه ژئومتری لایه‌های رسوبی است، بنابراین هدف اصلی مقاله حاضر چینه‌نگاری سکانشی کامل از جنبه‌های مختلف در توالی مورد نیست و صرفاً به کارایی اثر رخساره تردولیتس به عنوان یک ابزار در مطالعات چینه‌نگاری سکانشی به نمایش می‌گذارد. برش مورد مطالعه در جنوب خداآفرین از توابع استان آذربایجان خاوری و در شمال روستای اجاق‌کندی واقع است و محل یافت شدن فسیل مورد نظر در موقعیت جغرافیایی ۵۱°۳۲' ۱۰" عرض شمالی و ۴۷°۱۳' ۱۴" طول خاوری قرار دارد (شکل ۱). دسترسی به برش مورد مطالعه از طریق جاده آسفالت خداآفرین به کلیبر می‌باشد و از محل جاده خداآفرین-اسکانلو تا روستای اجاق‌کندی حدود ۷ کیلومتر فاصله است.

۲- موقعیت زمین‌شناسی

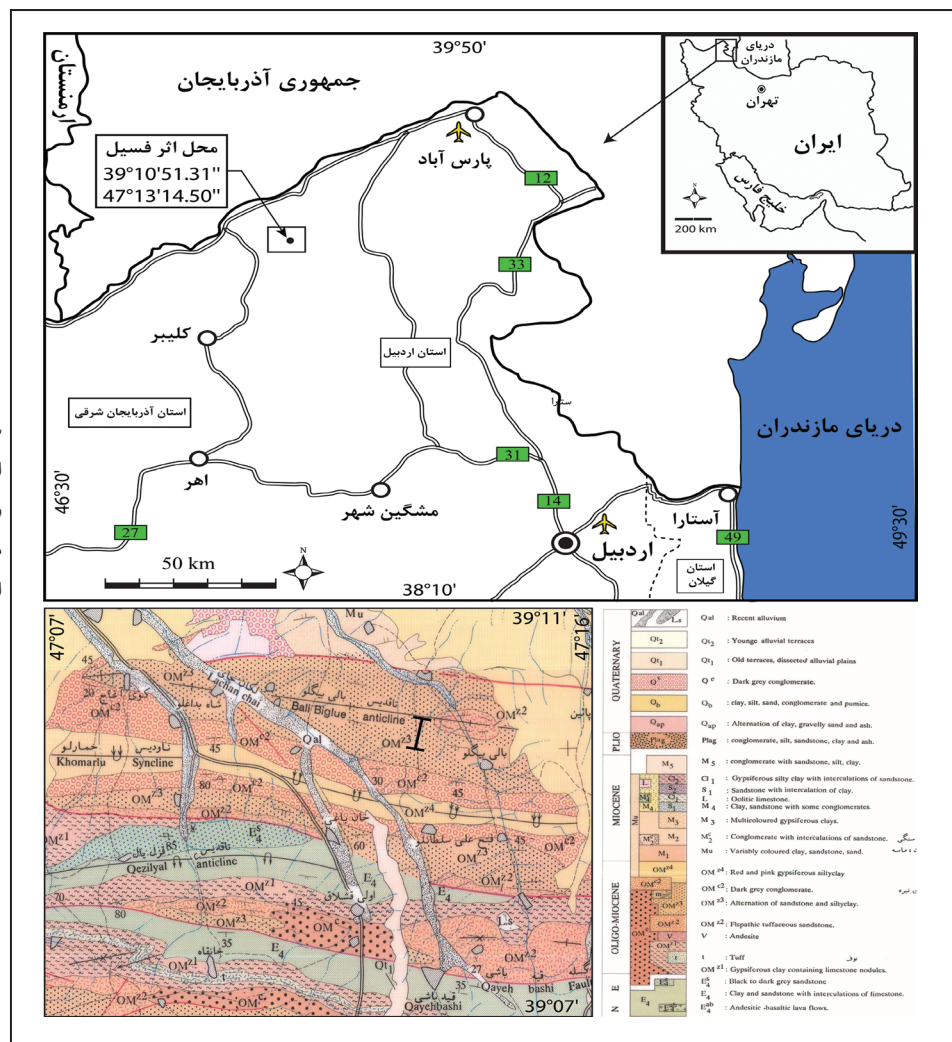
پس از رخداد لارامید، بخشی از حوضه گسترده پاراتیتس، در طی سنوزوئیک و در شمال گسل البرز شکل می‌گیرد. این حوضه رسوبی در بخش خزر جنوبی، از منطقه گنبد قابوس در خاور، تا دشت مغان در شمال باختری ایران و با شرایط حوضه‌های رسوبی بسته، لب شور تا خشکی گسترش داشته است. در منطقه مغان نهشته‌های پالئوسن وجود ندارد، هر چند برخی (آقاباتی، ۱۳۸۳) سازند قره‌آغاج (یا قره-آقاش) را با رسوبات شیل و ماسه‌سنگ توفی و مقداری گدازه، به سن پالئوسن تا ائوسن دانسته‌اند، ولی سن این سازند ائوسن می‌باشد (Willm et al., 1961). قاعده توالی سنوزوئیک در منطقه مغان با توالی رسوبی

توضیح داده شده است. رسوبات میوسن منطقه مغان پس از سازند زیوه، با رسوبات تورتونین پایینی، تورتونین بالایی (یا سری خاکستری) (۲۰۰ تا ۵۵۰ متر)، و سپس رسوبات سارماسین (۲۴۰۰ متر) شناخته می‌شوند. سازند آفچه‌گیل (کنگولومرا، رس سنگ‌های رنگارنگ، همراه با لایه‌های خاکستر آتشفشانی و ماسه سنگ لوماشلی با عنوان زون رنگین) به سن پلیوسن، به طور ناپیوسته بر روی رسوبات سارماسین می‌نشیند. رسوبات سازند آبشوران، اغلب از رسوبات دانه درشت آواری تشکیل شده است. سن سازندهای اخیر پلیوسن-پلیستوسن می‌باشد.

حوضه رسوبی مغان در طی تکوین و شکل‌گیری و انباشته شدن دچار تنش‌های تکنومگمایی بوده است. حوضه پشت‌کمانی باریک رسوبی سوان-آکرا - قره‌داغ در شمال ارتفاعات تالش در زمان ائوسن شکل می‌گیرد (Jamali et al., 2010). این حوضه در طی ائوسن تا پلیوسن با رسوبات ستبری از سازندهای قره‌آغاج، اجاق‌قشلاق، زیوه، تورتونین، سارماسین، آفچه‌گیل و آبشوران انباشته می‌شود. توالی رسوبی این حوضه پیوسته نبوده و با ناپیوستگی‌های آشکار تا مبهم همراه است. ناپیوستگی آذری قاعده سازند اجاق قشلاق، ناپیوستگی در مرز زیرین و بالایی سازند زیوه، ناپیوستگی زاویه‌دار میان سازند آفچه‌گیل و طبقات سارماسین، از ناپیوستگی‌های این حوضه است.

مارن، سنگ آهک‌های آرژیلیتی خاکستری با میان لایه‌های برش چندزادی (polygenetic) به نام سازند قره‌سو معرفی شده است (Fotouhi, 1973). این سازند هم‌ارز سازند آستارا در جمهوری آذربایجان است. بر روی سازند قره‌آغاج، سازند سلم‌آغاجی با توالی رس سنگ، رس سنگ آهکی، با میان لایه‌های ماسه سنگی و کنکرسین کروی به ستبرای ۶۰۰ متر و به سن ائوسن میانی-پسین جای دارد و رسوبات هم‌ارز این سازند در بخش‌های جنوبی تر دشت مغان، سازند شکرلو نامیده شده است (رحیم‌زاده، ۱۳۷۱). بازالت و گدازه ائوسن پسین به نام بازالت پشت‌سر به ستبرای ۳۰ تا ۱۰۰۰ متر، واحد سنگ‌شناسی بعدی است که از بازالت و تفریت با کانی‌های پلازیوکلاز، کلینوپیرکسن، اولیوین و لوسیت تشکیل شده است (Amraee et al., 2019). طبقات مربوط به سن ائوسن پسین-الیگوسن پیشین با سازند اجاق‌قشلاق شناخته می‌شوند. این سازند از توالی مارن گلوئیورین‌دار و سنگ آهک نومولیت‌دار به ستبرای ۶۵۰ متر تشکیل شده است و در دشت مغان، به دلیل وجود یک نبود چینه‌نگاری محلی، به دو زیرسازند اجاق‌قشلاق زیرین و اجاق‌قشلاق بالایی تقسیم شده است که معادل آنها به ترتیب سازندهای ارکوان (Arkevan، ائوسن پسین) و تیاکند (Tyakend، الیگوسن پیشین) در جمهوری آذربایجان هستند (Morozova, 1958; Vincent et al., 2005). رسوبات الیگومیوسن مغان با سازند زیوه شناخته می‌شود که در بخش بعدی به طور مفصل

شکل ۱- نقشه راه‌های منطقه مغان در شمال باختری ایران و محل فسیل یافت شده در شمال خاوری کلیر و نقشه زمین‌شناسی جنوب خداآفرین و محل برش مورد مطالعه (نقل از اسکویی و رحیم‌زاده، ۱۳۷۳ با اندکی تغییرات).



۳- چینه‌نگاری سازند زیوه

یکی از مهم‌ترین و ستبرترین واحدهای سنگی منطقه مغان سازند زیوه به سن الیگوسن تا میوسن است (Willm et al., 1961). این سازند با نام سازند زیور نیز خوانده شده است (Berberian and King, 1981; Mostofi and Paran, 1964). (رحیم‌زاده، ۱۳۷۱):

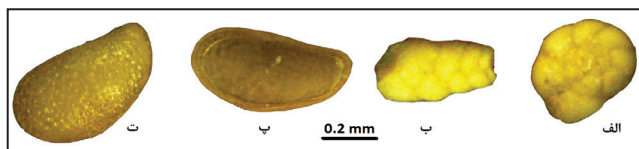
یکی از مهم‌ترین و ستبرترین واحدهای سنگی منطقه مغان سازند زیوه به سن الیگوسن تا میوسن است (Willm et al., 1961). این سازند با نام سازند زیور نیز خوانده شده است (Berberian and King, 1981; Mostofi and Paran, 1964).

بخش میانی این توالی وجود دارد و افق دارای اثر فسیل تردولیس در ۱۱۷ متری از قاعده یافت شد. از متر ۱۴۲ تا ۱۷۰ متری این برش مشابه لایه‌های قبلی با کنگلومرا شروع شده و از تناوب ماسه سنگ و شیل ترکیب یافته است و در بخش میانی آن یک لایه‌ی نازک زغال نارس دیده شد. از ۱۷۰ متری تا انتهای برش (۲۰۵ متری) نیز ابتدا یک کنگلومرا وجود دارد و پس از تناوب ماسه سنگ و سیلتستون، انتهای برش به لایه‌های مارن و گل سنگ ختم می‌شود.

میکروسفیل‌های یافت شده در این برش هرچند تنوع اندکی دارند، ولی محدود به چند لایه بالایی (لایه‌های ۴۱ تا ۴۳) هستند. روزن‌برن فسیل شامل *Ammonia beccarii*, cf. *Bolivina* sp. استراکدها شامل *Candonidae*, *Candona* sp., *Ilyocyprididae*, *Leptocythere* sp. (شکل ۳). این رسوبات شامل مجموعه‌ای از توالی آواری است و از ماسه‌سنگ، سیلت سنگ و گل سنگ بیشتر با سیمان کربناته به همراه چهار افق زغال سنگ یا پیت می‌باشد (شکل ۴). اثر فسیل *Teredolites*، در افق ۱۱۷ متری یافت شد. با توجه به موقعیت چینه‌نگاری برش مورد مطالعه (اسکویی و رحیم‌زاده، ۱۳۷۳؛ اسدیان و اسکویی، ۱۳۷۳) و گزارشات منطقه‌ای (Matzke-Karasch and Witt, 2005; Radionova et al., 2012; Reichenbacher et al., 2011; Tunoglu, 2003) سن میوسن میانی (سروالینا تا احتمالاً تورتونین) است و متعلق به بخش زیوه بالایی است.

۴- اثر خساره ترددولیتس

اثررخساره (ichnofacies) به مجموع اثرفسیل‌هایی گفته می‌شود که در رخساره معین گسترش داشته و تحت تاثیر شرایط معینی ایجاد می‌شوند (Seilacher, 1963). مفهوم اثررخساره که در درجه نخست بر مبنای ژرفاسنجی بسترهای رسوبی انجام پذیرفت، ولی به تدریج اثررخساره‌های دیگری با معیارها و مبناهای مختلف، که اساساً مستقل از ژرفای حوضه رسوبی بودند، معرفی شدند (Crimes, 1975; Ekdale et al., 1984; Hunt et al., 1994; Seilacher, 1964). در میان انواع اثررخساره‌ها، اثررخساره‌ی تری‌پانتیس (Trypanites) برای بسترهای سخت (hardgrounds) یا بدنه سخت ریف‌ها پیشنهاد شده است (Frey and Seilacher, 1980). چنین اثررخساره‌ای بر مبنای نوع بستر تنظیم و معرفی شده است و عملاً مستقل از معیار ژرفاسنجی است. در همین راستا، اثررخساره تردولیتس نیز بر اساس نوع بستر پیشنهاد گردید (Bromley et al., 1984). این اثررخساره شامل مجموعه اثرفسیل‌هایی است که در بسترهای چوبی (woodgrounds) گسترش می‌یابند. چنین بستری با بسترهای سخت تفاوت‌های قابل توجهی دارد، یکی اینکه بستر چوبی نرم‌تر از بستر سخت است، و حفاری در خرده‌ها و قطعات چوب انجام می‌پذیرد. دیگر اینکه، بسترهای سخت مرتبط با محیط رسوبی دریایی می‌باشند و بسترهای چوبی متعلق به محیط‌های آب شیرین می‌باشند (Frey and Pemberton, 1984). با این وجود در تعیین حد و مرز گسترش بسترهای چوبی که اثر رخساره تردولیتس را مشخص نماید، دقت کافی لازم است. چرا که تنه‌های درخت ممکن است به دو صورت برجا و نابرجا در توالی‌ها رسوبی یافت شوند. اثررخساره تردولیتس متعلق به اثرهایی است که در تنه‌ها درختی برجا در محیط‌های ساحلی و دریایی کم ژرفا (مانند آنچه که در جنگل‌های حرا وجود دارند)، ایجاد شده باشند (Frey et al., 1990).



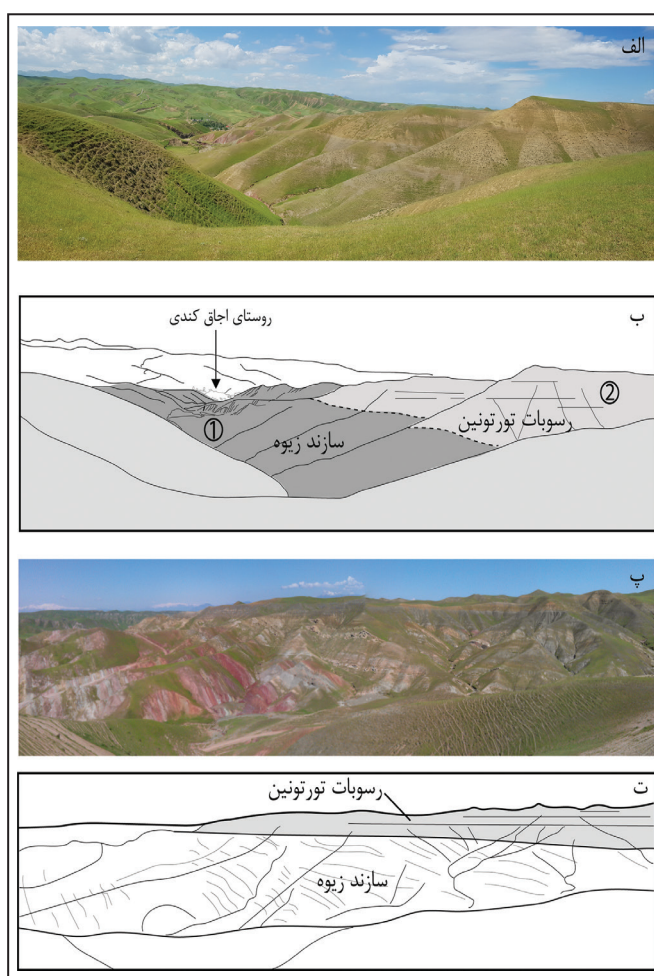
شکل ۳- میکروفسیل‌های یافت شده در افق‌های رأسی برش مورد مطالعه، فرامینیفرها (الف) *Ammonia beccarii*؛ (ب) *Bolivina* sp. cf. استراکدها شامل: (پ) *Leptocythere* sp. و (ت) *Candona* sp.

- زیوه پایینی: این بخش از سازند زیوه در مناطق باختری و جنوبی مغان از نهشته‌های کنگلومرای تشکیل شده است و به طور میان انگشتی به سوی خاور از رسوبات ماسه سنگ، سیلت سنگ و گل سنگ گچ دار می‌باشد و فسیل نرم‌تنان و آثار گیاهی، و زغال در آن یافت می‌شود.

— **زیوه میانی:** این بخش نیز در برخی از مناطق جنوب مغان کنگلومرایی می شود و تفکیک آن از بخش پایینی دشوار است. این بخش بیشتر از ماسه سنگ با میان لایه های شیل، رگه های زغال و توفیت با گدازه تشکیل شده است.

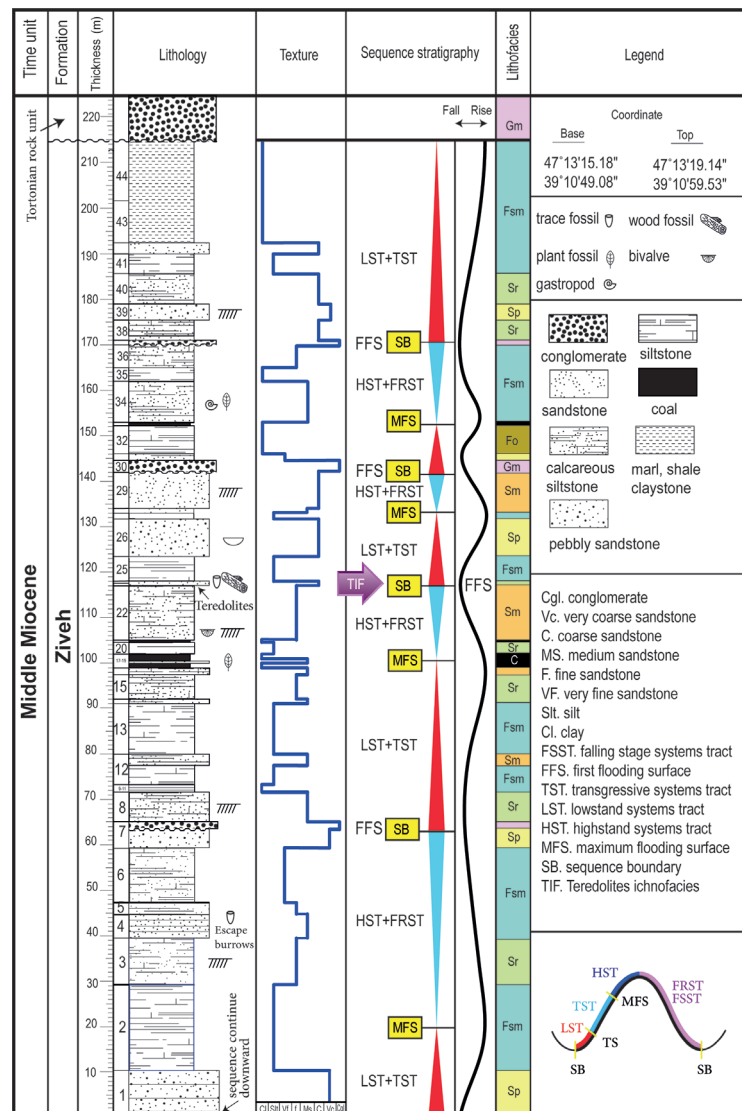
- زیوه بالایی: ترکیبی از ماسه سنگ فلدسپات دار، سیلت رسی، میان لایه های کربناته و بک واحد کنگلومرا در بخش میانی است.

برش مورد مطالعه به استبرای ۲۰۵ متر است و مرز زیرین آن پوشیده توسط رسوبات آبرفتی عهد حاضر است و مرز بالایی آن هم با دگرشیمی با رسوبات تورئوئین می باشد (شکل ۲).



شکل ۲- رخنمون سازند زیوه در منطقه اجاق کندی با مرز ناپیوسته در زیر رسوبات تورتونین، (الف) دیده به سوی جنوب- جنوب باختر؛ (ب) ترسیمی از رخنمون‌های شکل الف، به رخنمون لایه‌های شیب‌دار در پیرامون روستا توجه شود (شماره ۱) و رسوبات تورتونین به صورت افقی هستند (شماره ۲)؛ (پ) نمای نزدیک از رسوبات رنگین سازند زیوه در برش مورد مطالعه در شمال روستای اجاق کندی، لایه‌ها با شیب زیاد هستند؛ (ت) ترسیمی از شیب و امتداد لایه‌ها در شکل پ؛ (د) دید به سوی باختر است.

در این برش، توالی رسوبی با رسوبات ماسه سنگ قله‌دار شروع می‌شود و تا ۶۵ متری این توالی تناوب ماسه سنگ و سیلتستون آهکی و سیلتستون است. ساخت لامیناسیون مورب در برخی از لایه‌ها دیده شد و اثر فسیل فرار جانور تنها اثر فسیل در لایه ماسه سنگ است. ادامه توالی با یک کنگلومرا با دانه بیشتر شروع می‌شود و شامل تناوب ماسه سنگ و سیلتستون رنگین. تا ۱۴۲ متری است. لایه‌های زغال سنگ در



شکل ۴- ستون چینه نگاری و چرخه های سکانسی سازند زیوه در توالی مورد مطالعه، اثر فسیل *Teredolites* (TIF) در یک افق پیشرونده دریا (FFS) و در افق ۱۱۷ متری قرار دارد.

– **دیواره در اثرها:** یکی از ویژگی های همگانی اثر فسیل *Teredolites*، داشتن دیواره کلسیتی است. در نمونه های مورد مطالعه نیز این دیواره به ضخامت ۵۰ میکرون از کلسیت شفاف و دو لایه ای مشاهده شد. لایه بیرونی نازک تر و تیره تر است و لایه درونی روشن تر و ستبر تر می باشد. در برخی نمونه ها به دلیل فشردگی، دیواره دچار خردشدگی شده است.

– **پرشدهای دهلیزها:** پرشدگی گوناگونی در لوله های کنده شده دیده شد. برخی از دهلیزها، هنگام رسوبگذاری خالی باقی مانده، و در طی سنگ زایی با بلورهای کلسیت شعاعی انباشته شده اند. ممکن است حفاری ها به طور کامل یا قسمتی با این نوع سیمان پر شده باشند. برخی با ذرات رسوبی در اندازه ماسه یا خرده های چوب به طور یکنواخت یا با ساختمان دانه تدریجی پر شده اند. لوله هایی هم با ساختمان ژئوپتال هستند به طوری که بخشی با رسوب و بخش بالایی فضا با بلورهای کلسیت پر شده است.

– **جانور اثر ساز:** همان گونه که گفته شد، گروه هایی از اثر سازان در بسترهای چوبی در محیط های دریایی حفاری می کنند که در میان آنها، دو کفه ای هایی مانند *Teredinid* از حفاران اصلی چنین بسترهایی هستند. جای گیری دو کفه ای *Teredinid* در بستر چوبی به گونه ای است که صدف دو کفه ای در انتهای لوله ای حفاری جای داشته و اندازه ی آن کوچکتر از بدن جانور است. بدن دو کفه ای در درازای دهلیز قرار می گیرد. در دهانه دهلیز، بخش تیغه های انتهایی (Pallets) و

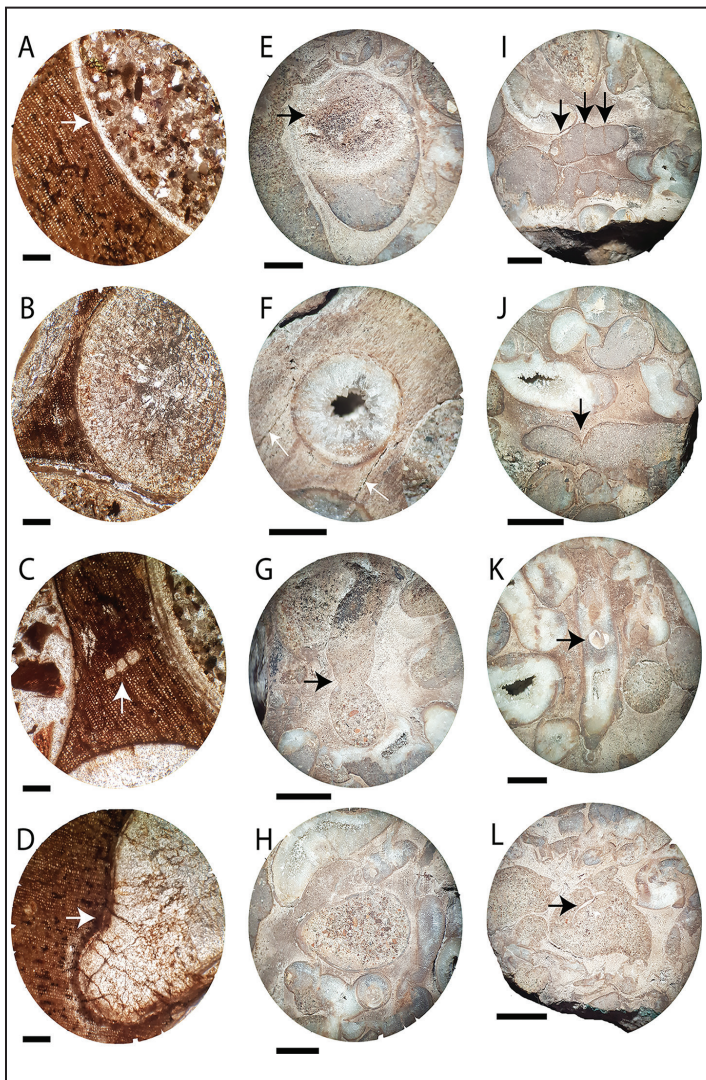
حتی مجموعه حفاری در تنه درختان محیط های قاره ای شامل این نوع اثر رخساره نیستند (Hasiotis, 2002). اثر فسیل های موجود در اثر رخساره تر دولیتس توسط حفاران مختلفی مانند کرم ها، بندپایان و به ویژه دو کفه ای های *Martesia*، *Teredinid* و *Pholadid* ایجاد می شود (Savrd et al., 2005). این دو کفه ای ها که در اصطلاح عامه به آنها، کرم کشتی نیز گفته می شود، دارای اثر حفاری مختلفی هستند، به گونه ای که اثر حفاری دو کفه ای های *Teredinid* دراز و به موازات بافت طولی تنه درختان است و حفاری دو کفه ای های *Pholadid* به صورت حفاری کوتاه و گلابی شکل، عمود بر راستای بافت چوبی می باشد (Kumar et al., 2011). با توجه به مطالب بالا، تنه درخت مورد مطالعه در مقاله حاضر که به ابعاد حدود ۳۰ سانتیمتر در ۳۰ سانتی متر است، انباشته از اثر فسیل *Teredolites* بوده و بقایای چوب در بخش هایی کوچک قابل مشاهده است (شکل ۵). ویژگی های عمومی اثر رخساره تر دولیتس، در این نمونه به شرح زیر است (شکل ۶):

– **ریخت شناسی اثرهای حفاری:** اثرهای موجود به صورت انباشتی از حفاری های گرز مانند و لوله ای شکل راست، خمیده تا پیچیده هستند. انتهای حفاری گرد یا با نوک پستانک مانند است. اندازه قطر اثرها میان ۵ تا ۲۰ میلی متر متغیر است و بیشینه درازای آن تا ۱۰۰ میلی متر می باشد. سطح اثرها صاف بوده، ولی در برخی از اثرها، در فاصله هایی تقریباً برابر، فرورفتگی های حلقه ای وجود دارند.

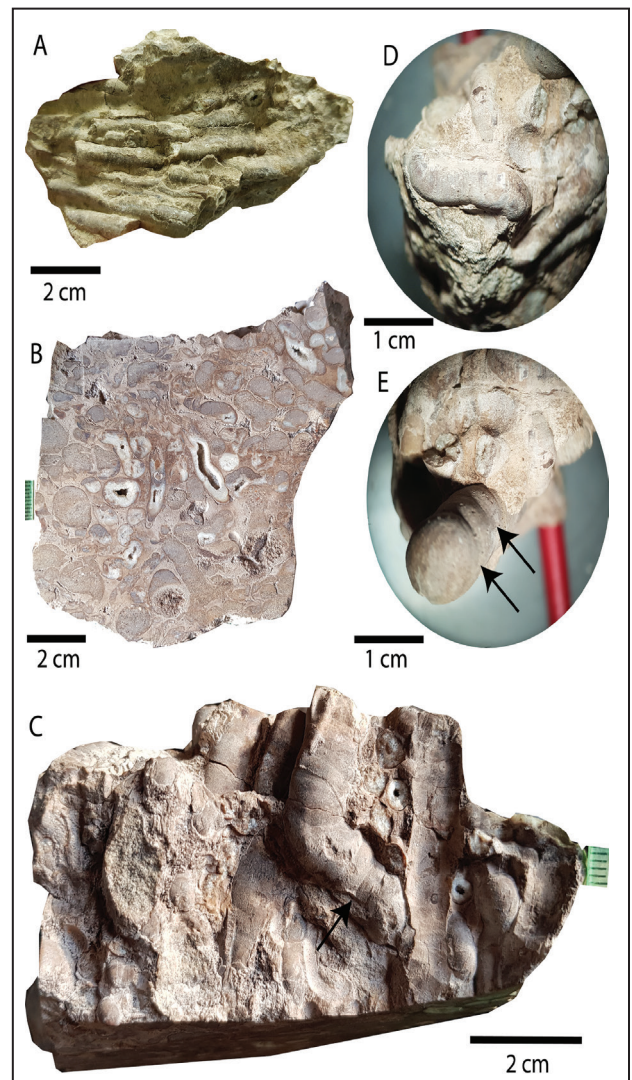
میان حفاری‌ها قابل مشاهده است و دید کاملی از بافت چوبی در اختیار نیست، به طور دقیق بافت‌شناسی چوب ممکن نیست. با این حال، بخشی از نمونه چوب فسیلی در برش عرضی قابل بررسی می‌باشد. نمونه دارای چوب درون مشخص و حاوی تعداد اندکی مجاری مترشحه صمغی است که در بعضی قسمت‌ها مشاهده می‌شود. رشد سالانه، بدلیل وجود ردیف سلول‌های فشرده مشخص است، ولی تحول چوب بهاره به تابستانه آشکار نیست و تدریجی است. این چوب متعلق به یک درخت سوزنی برگ است.

سیفون‌ها و در خارج از تنه‌ی چوب جای دارند. در میان نمونه‌های مورد مطالعه، در داخل لوله‌ی حفاری، قطعات باقی مانده از صدف دوکفه‌ای در دو برش طولی یا عرضی یافت شدند. تزئینات خار مانند در کناره صدف دیده می‌شود. اندازه صدف ۱۵ میلیمتر است.

– **بستر حفاری:** اثررخساره تردولیتس ویژه بسترهای چوبی است، بافت چوب حفاری شده در مقطع نازک در بزرگ‌نمایی قابل مشاهده است (شکل‌های ۶- A تا D). از آنجایی که تنها قسمتی از بافت چوب فسیل شده در



شکل ۶- برخی از ویژگی‌های اثر فسیل *Teredolites* در نمونه مورد مطالعه، (A) دیواره کلسیتی دهلیز حفاری در بافت چوبی (پیکان)؛ (B) پر شدگی حفاری با بلورهای شعاعی کلسیت؛ (C) بافت چوبی با آوند (پیکان)؛ (D) خمیدگی انتهایی حفاری در برش طولی (پیکان)؛ (E) پر شدگی حفاری با خرده‌های چوب (پیکان)؛ (F) پر شدگی بخشی از دهلیز با بلورهای سوزنی شعاعی، حلقه رشد چوب مشخص است (پیکان)؛ (G و H) پر شدگی با رسوب در اندازه‌ی ماسه، پیکان محل خمیدگی دهلیز و اثر پرده است؛ (I و J) اثر پرده در برش طولی (پیکان‌ها)؛ (K و L) بقایای صدف دو کفه‌ای حفار در داخل دهلیز (پیکان). مقیاس در A تا D برابر ۰/۵ میلیمتر و برای E تا L برابر ۵ میلیمتر است.



شکل ۵- اثر فسیل *Teredolites* در نمونه تنه درخت مورد مطالعه از سازند زیوه، (A) قطعه‌ای از تنه درخت با حفاری‌های لوله‌ای شکل در درازای تنه درخت؛ (B) سطح برش و سایش خورده عمود بر درازای تنه درخت که حفاری‌ها به شکل گرد تا بیضوی هستند و برخی با رسوب، سیمان یا خرده‌های چوب پر شده‌اند. بخشی از تعدادی از دهلیزها با سیمان پر شده و بخش دیگر خالی است؛ (C تا E) دید نزدیک از تعدادی از حفاری‌های دوکفه‌ای *Teredinid*، پیکان‌ها محل اثر پرده (سپتوم) را نشان می‌دهد که محل بازگشت اثر ساز است.

۵- چینه‌نگاری سکاسی

امکان تحلیل سکاسی دقیق را در پی خواهد داشت. با این وجود می‌توان اجزای یک سکاس را در توالی مورد مطالعه تفکیک نمود (شکل ۴). بدین منظور توالی رسوبی بر اساس محتوای سنگ شناسی، فسیل‌ها و ساخت‌های رسوبی همراه، نوع

توالی رسوبی مورد مطالعه را می‌توان در قالب مفاهیم چینه‌نگاری سکاسی مورد بررسی قرار داد و موقعیت اثررخساره تردولیتس را در آن ارزیابی نمود. بی‌شک، دسترسی به داده‌های کامل و جامع در گستره فضای سه بعدی حوضه رسوبی

نامنظم و درهم هستند، از محل انتهای دهلیز تا دهانه باریک‌تر می‌شوند. بخش ابتدایی لوله‌ی حفاری جدای از دهلیز اصلی نیست. در برش عرضی از همه بخش‌ها به شکل گرد است (Kelly and Bromley, 1984).

بحث (Discussion): اثرجنس تردولیتس توسط Leymerie (1842) معرفی گشت. این اثرجنس صرفاً برای حفاری‌های بستر چوبی در نظر گرفته شد و برای بسترهای سنگی، حفاری‌های هم شکل و هم ریخت آنها، اثرجنس Leymerie, 1842 *Gastrochaenolites* نامیده شده‌اند. اثرجنس تردولیتس به دلیل اینکه در بستر چوبی با بافت معین، حفاری می‌شود، آرایش جهت‌دار داشته و با آرایش حفاری‌های بستر سنگی متفاوت است، به این دلیل به مجموع اثرها زینوگلیف (Xenoglyph) گویند. با این وجود، به عقیده Donovan (2013) طبق اصول نامگذاری، که نام اثرجنس‌ها مستقل از نام اثرسازان یا نوع بستر باشد، به دلیل اینکه در نامگذاری و تعیین ایکنوتاکسون *Teredolites* از همان نام اثرساز و بستر حفاری شده استفاده شده است، بایستی این نام بازنگری شده و ایشان نام *Apectoichnus* را پیشنهاد داده‌اند. در نمونه‌های مورد مطالعه، اندازه قطر اثرجنس تردولیتس ۱/۵ تا ۱۵ میلی‌متر و به درازای تا ۱۵۰ میلی‌متر است. این اندازه می‌تواند متأثر از نوع بستر چوبی نیز باشد.

سن حفاران بسترهای چوبی به ژوراسیک میانی می‌رسد، در حالیکه اثرجنس تردولیتس به دیرینگی ژوراسیک پیشین هم گزارش شده است (Villegas- Martin et al., 2012).

Ichnospecies *Teredolites longissimus* Kelly and Bromley, 1984

نمونه: تعداد زیادی از اثر فسیل در یک تکه چوب فسیل شده در ابعاد ۳۰ × ۳۰ cm. **مشخصه:** اثر فسیلی است که بسیار دراز، راست تا کاملاً سینوسی، به شکل استوانه‌ای تا نیمه استوانه‌ای، گرز مانند در بسترهای چوبی است. محور پیشانی دهلیز حفاری اصولاً به موازات سطح بستر (چوب یا ذرات چوبی) است.

توصیف (description): در نمونه مورد مطالعه، در بخش پیشین به ویژگی‌های عمومی اثر فسیل *Teredolites* اشاره شد. تمامی نمونه‌های *Teredolites* یافت شده، به شکل استوانه‌ای دراز با سطح صاف، یا چین و چروک‌دار هستند. دهلیزها به صورت لوله‌های راست یا با کمی خمیدگی می‌باشند. پرشدگی گوناگونی از مواد رسوبی در اندازه ماسه، خرده‌های چوب یا با سیمان سیلیسی مشاهده می‌شوند. قطر حفاری‌های تقریباً ثابت است ولی در برخی متغیر می‌باشد. انتهای لوله حفاری گرد تا با کمی خمیدگی و برآمده است. بیشینه طول مشاهده شده ۱۵۰ میلی‌متر و قطر ۱۸ میلی‌متر است.

بحث: اثرجنس *Teredolites* ابتدا با یک گونه به نام *Teredolites clavatus* Leymerie, 1842 مشخص شد. در مطالعات بعدی اثرگونه *Teredolites longissimus* Kelly and Bromley, 1984 به آن اضافه گردید. این دو اثرگونه بر مبنای اندازه، از همدیگر تفکیک می‌شوند، به طوریکه در اثرگونه *Teredolites clavatus* نسبت درازی اثر به پهنای آن کمتر از ۵ و در اثرگونه *Teredolites longissimus*، این نسبت بیش از ۵ می‌باشد. اثرگونه‌های تردولیتس، با ظاهری لوله‌ای شکل، ممکن است با اثر فسیل‌هایی چون *Gastrochaenolites* و *Skolithos* بخش لوله‌ای *Monocretarion* اشتباه شوند. علاوه بر ساختار گرز مانند اثرگونه‌های *Teredolites*، مشخصه مهم آنها، گسترش در بسترهای چوبی است. با این وجود ممکن است در برخی از بقایای تنه درختان فرآیند دیاژنز، مواد معدنی را جانشین چوب نماید و لازم است حتماً در برش نازک میکروسکوپی نیز این دسته از اثر فسیل‌ها مورد مطالعه قرار گیرند.

۷- بحث

از کاربردهای مهم اثرشناسی، بکارگیری اثر فسیل‌ها در تحلیل شرایط حوضه رسوبی است. چراکه فعالیت جانوران اثرساز، تحت تاثیر شرایط حوضه رسوبی است و فاکتورهایی چون نوع، فراوانی و تراکم و ارتباطات

سطح چینه‌بندی و تماس واحدهای سنگی مورد ارزیابی قرار گرفت و رخساره‌های سنگی آن تفکیک گردید (جدول ۱). رخساره تشخیص داده شده در مقیاس مورد مطالعه شامل Gm، برای کنگلومراها، Sm، Sr، Sp برای رسوبات ماسه سنگ و Fsm و Fo برای رسوبات سیلتستون و گل سنگ و مارن و C برای لایه‌های زغال‌سنگی است. بیشترین ضخامت مربوط به رخساره سنگی Fsm می‌باشد (Miall, 1977; Miall and Postma, 1997) (شکل ۴). اجزاء چینه‌نگاری سکانسی این برش ویژگی‌های زیر را دارند:

مرز سکانسی (SB): به طور کلی دو نوع مرز ناپیوستگی در چینه‌نگاری سکانسی تعریف شده است (Posamentier and James, 1993). مرز سکانسی نوع یک که در پی پسروری سریع و فرسایش شدید همراه با جابجایی رخساره‌ها به سوی دریا مشخص می‌شود و مرز سکانسی نوع دو هنگامی که افت سطح دریا کند بوده و سطح دریا تا بخش میانی یا نزدیک به انتهای فلات قاره پایین بیاید، شکل می‌گیرد. در توالی مورد مطالعه، مرز نوع یک سکانسی تشخیص داده شد و خود این مرز شامل دو نوع مرز در این توالی است. یکی از آنها بر اساس مرز فرسایشی توسط کنگلومرای پیشرونده می‌باشد (شکل‌های ۵-A و B). مرز سکانسی دیگر بر اساس وجود اثر فسیل *Teredolites* تعیین گشت که منطبق بر رأس لایه شماره ۲۲ شامل ماسه‌سنگ دانه درشت است (شکل ۵-C). وجود تنه‌های درخت حفاری شده، نشانگر شروع خیز سطح دریا‌های آزاد می‌باشد و این افق را بایستی افق شروع و آغاز پیشروی خط ساحلی به سوی خشکی (first flooding surface) دانست (Savrdra and King, 1993) و منطبق بر مرز سکانسی است (Savrdra, 1991).

بیشینه خیز سطح دریا (MFS): این مرحله از رسوبگذاری سکانسی توالی مورد مطالعه برای ته‌نشست‌های ریزدانه (گل سنگ، سیلتستون‌ها و مارن‌ها) در نظر گرفته شد. با این وجود سطح مشخصی که بتوان حداکثر خیز سطح دریا را در این بخش از توالی به آن نسبت داد تشخیص داده نشد. در مقابل، محیط‌های دشت سیلابی و پهنه‌های دلتایی با لحاظ شرایط دیرین اقلیمی، محیط مناسب برای ایجاد پوشش‌های گیاهی هستند. لایه‌های زغال‌سنگ در منطقه مورد مطالعه نازک لایه (کمتر از یک متر)، پراکنده و غیر ممتد در حد پیت یا زغال نارس هستند (فریدآزاد و همکاران، ۱۳۹۳)، سطح بالایی چنین واحدهای زغال‌سنگی می‌تواند نشانگر بیشینه خیز سطح دریا‌های آزاد باشد (Bohacs and Suter, 1997; Holz et al., 2017; Myers, 2009).

مرحله LST+TST: مجموعه رسوباتی که در مرحله کمینه افت سطح دریا تا شروع پاراسکانس پیشروی ته‌نشست شده (LST) و شامل رسوباتی است که بلافاصله در روی سطح پیشروی قرار گرفته و دسته رخساره‌های پیشروی و خیز تدریجی سطح دریا و در فضای لازم رسوبگذاری ته‌نشست شده‌اند (TST).

مرحله HST+FRST: شامل رسوباتی که در ابتدا در مرحله کاهش سرعت بالا آمدن و در مراحل پس از خیز نهایی (MFS) و در مرحله سکون یا شروع پایین آمدن سطح دریا ته‌نشست شده (HST)، و در ادامه رسوبات در مراحل افت نسبی و شدید سطح دریا (FRST) ته‌نشست می‌گردند. چینه‌نگاری سکانسی برش مورد مطالعه شامل حداقل چهار چرخه نوع سوم است (شکل ۴)، که در چرخه‌های کوتاه مدت و بلندمدت میوسن میانی-پسین جای می‌گیرند (Amini, 2006).

طبق مدل پیشنهادی برای محیط رسوبی سازند زیوه (Amini, 2006)، این سازند در ابتدا در یک محیط دلتای متأثر از سیستم رودخانه‌ای شکل گرفته است که به تدریج به پهنه دلتایی (delta plain) و در نهایت به بخش پیشانی دلتا (delta front) تغییر یافته است.

۶- اثرشناسی سیستماتیک

Ichnogenus *Teredolites* Leymerie, 1842

اثرگونه الکو: *Teredolites clavatus* Leymerie, 1842

مشخصه (diagnosis): حفاری‌های گرز مانند در بسترهای چوبی، به شدت

در واقع، یکی از جلوه‌های تکامل موازی است (Boucot, 2013; Ehrlich and Raven, 1964). هرچند سطح وسیعی از بافت چوبی حفاری شده، در نمونه مورد مطالعه برای بررسی در اختیار نیست ولی با این حال با شواهد موجود نوع چوبی که در نمونه مورد مطالعه تشخیص داده شد از نوع مخروطیان یا سوزنی برگان (Conifers, Pinaceae) می‌باشد. برخی از این درختان در میوسن از اعضای اصلی محیط‌های جنگلی باتلاقی مرطوب می‌باشند که نشانگر اقلیم‌های گرم و مرطوب تا معتدل هستند (Denk et al., 2017).

ب) در برش مورد مطالعه، بستر چوبی غرق آب، تنها یک نوع اثر فسیل یافت شد. به بیان دیگر در بسترهای چوبی دریایی کم ژرفا، به فراوانی می‌توان اثر فسیل *Teredolites* را یافت و عملاً تنوع اثر فسیل را نشان نمی‌دهند. این چنین وضعیتی منعکس کننده استراتژی یا منش زیستی R است.

گسترش درختان در محیط‌های آبی کم ژرفا مانند آنچه که در جنگل‌های حرّای امروزی مشاهده می‌شود، یک محیط رسوبی حدواسط در محیط لیتورال می‌باشد. محیطی که می‌تواند تحت تأثیر جریانات کشندی یا طوفانی باشد. با این حال گسترش بسترهای چوبی با اثر رخساره تردولیتس در بررسی سکاسی توالی‌های رسوبی توجه خاص را می‌طلبد. زیرا وجود افق چوب حفاری شده در توالی رسوبی نخستین نشانه‌ی خیز سطح دریاهای آزاد محسوب می‌شود و قاعده آن را می‌توان سطح زیرین بخش TST در مبحث چینه‌شناسی توالی دانست (Savrda, 1991; Savrda and King, 1993). رخساره‌های سنگی برش مورد مطالعه شامل هفت رخساره سنگی است (جدول ۱) و با توجه به ساخت‌های رسوبی، سنگ‌شناسی، نوع فسیل‌ها و تفاسیر محیط رسوبی ارائه شده برای سازند زیوه، مثلاً (Amini, 2006) محیط شکل‌گیری این رخساره‌ها را تخمین زد. همانگونه که در شکل ۳ نشان داده شده است، این توالی حداقل از چهار چرخه رسوبی تشکیل شده است و یکی از مرزهای سکاسی نوع یک منطبق بر گسترش قابل توجه اثر رخساره تردولیتس است. نوسانات سطح دریای سازند زیوه در طی الیگوسن پیشین تا میوسن میانی نشانگر خیز سطح دریا در دوره بلند مدت (long term) و سه چرخه افت و خیز کوتاه مدت (short term) است (Amini, 2006). در چنین نوساناتی بخش‌های بالایی سازند زیوه به سن میوسن میانی، عملاً یک افت سطح دریا را به نمایش می‌گذارد. با توجه به مقیاس مورد مطالعه در برش اجاق کندی، روند بلندمدت نوسانات سطح دریا یک روند خیز است که چهار چرخه رسوبی را در خود جای داده است.

اثر فسیل‌ها نشانگر وضعیت دیرین‌بوم‌شناختی حوضه‌های رسوبی هستند (Buatois and Mángano, 2013). نوع اثر فسیل‌ها ناشی از نوع رفتاری است که جاندار اثرساز از خود بروز داده و اثر آن رفتار در درون یا سطوح چینه‌بندی باقی مانده است. تنوع اثر فسیل‌ها، در درجه نخست نشانگر تنوع رفتاری است که موجب زیست آشفته‌گی لایه‌های رسوبی شده است. فراوانی و تراکم اثر فسیل‌ها از دو جنبه قابل بررسی است. نخست اینکه منش رفتاری اثرسازان در میزان فراوانی، و در جای خود تنوع اثر فسیل‌ها، موثر است. در این زمینه دو منش زیستی K و R که برای جانداران مطرح است، که قابل تعمیم دادن به اثر فسیل‌ها نیز هستند (MacEachern et al., 2009). در تعادل جمعیتی یک، منش زیستی R نشانگر سرعت و شیب رشد جمعیت گونه خاص در یک بوم زیست است و منش زیستی K ظرفیت استقرار نوعی خاص از جانداران در بوم زیست را بیان می‌کند. معمولاً جاندارانی که در محیط ناپایدار از نظر پارمترهای بوم شناختی هستند در قالب منش زیستی R بررسی می‌شوند و دائماً در حال ازدیاد جمعیت می‌باشند. جمعیت‌های با منش زیستی K، بوم‌زیست‌هایی پایدار و با ثبات را اشغال می‌نمایند و با فرزندآوری به تعداد کم می‌باشند. تراکم بالای اثر فسیل *Teredolites* نشانگر تراکم بالایی از زیست‌مندان در بستر چوبی هستند و قابل مقایسه با منش زیستی R هستند.

دوم اینکه، قابلیت محیط رسوبی در استقرار اثرسازان نیز متفاوت است. برخی از بسترهای رسوبی به خوبی برای پذیرش و استقرار اثرسازان مستعد هستند و به همان سان، می‌توانند در طی فرآیندهای تافونومی اثرها را حفظ نمایند. اثر رخساره تردولیتس سازند زیوه نشان دهنده‌ی دسته معینی از اثر فسیل‌ها در بستر رسوبی آلی است و از دو جنبه قابل بحث و بررسی می‌باشد:

الف) بستری که اثر فسیل‌ها در آن یافت شدند یک بستر چوبی بوده و گسترش انتخابی اثرسازان را بر پایه وابستگی به نوع بستر را نشان می‌دهد. پیدایش بسترهای چوبی در تاریخ زمین‌شناسی به دیرینگی کرینفر هستند، ولی عملاً شروع به حفاری چنین بسترهایی تا زمان ژوراسیک پیشین به طول می‌انجامد (Kelly and Bromley, 1984; Savrda, 1991). در منابع مختلف به نوع چوبی که دوکفه‌ای‌های حفار در آن مستقر شده‌اند، اشاره نشده است و در نمونه‌های عهد حاضر، حفاری در تنه درختان بلوط گزارش شده است (Mikuláš, 2008). حفاری بسترهای چوبی در زمان کرتاسه عمومیت پیدا می‌کند (Taylor and Wilson, 2003; Villegas- Martín et al., 2012) به نظر می‌رسد گسترش دو کفه‌ای‌های خانواده‌های Teredinid و Pholadid با گسترش گیاهان (در اینجا درختان) نهان‌دانه ارتباط داشته است (Kříž and Mikuláš, 2006) و

جدول ۱- رخساره‌های سنگی اصلی در توالی سازند زیوه در برش مورد مطالعه.

Litofacies ¹	Description	Interpretation
Gm	Massive poorly sorted, clast-supported, polymictic conglomerate, erosional lower boundary, poorly stratified	Density currents, variations in flow regime, and rapid sedimentation, early stages of turbidity currents, channel filled
Sp	Poorly sorted, pebbly sandstone, planar stratified, less than 1 m thickness	Deposition by high-capacity/competence of turbidity currents. Rapid decrease of flow strength
Sr	Large to small-scale crossbedding fine to medium grained sandstone	Low regime of unidirectional currents
Sm	Massive sandstone, poorly in stratification	Rapid deposition
Fsm	Massive calcareous siltstone and mudstone	Low flow regime, high capacity, and rapid deposition
Fo	Organic rich mudstone	Low flow regime, outside of channel
C	Coal wavy layers, clayey and sandy	Deposited the floodplains

1. (Miall, 1977)

۸- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل مطالعات حاضر را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

- بخش بالایی سازند زیوه در برش شمال روستای اجاق‌کندی به ستبرای ۲۰۵ متر و به سن میوسن میانی، از توالی رسوبات آواری، مارن و زغال‌سنگ تشکیل شده است. مرز زیرین آن پوشیده با آبرفت و مرز بالایی به صورت ناپیوستگی زاویه‌دار توسط رسوبات جدیدتر پوشیده می‌شود.

- در افق ۱۱۷ متری این سازند بستر چوبی دارای اثر فسیل *Teredolites longissimus* است که نشان‌دهنده شکل‌گیری اثر رخساره تردولیتس است. به همراه این اثر رخساره، هفت رخساره سنگی C، Fo، Fsm، Sm، Sr، Sp، Gm توالی

مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند.

- چینه‌نگاری سکانسی این توالی، چهار چرخه نواسانات سطح دریا را نشان داده و وجود اثر رخساره تردولیتس در توالی رسوبی، نشانگر نخستین مرحله خیز سطح دریاهای آزاد است و قاعده آن را می‌توان سطح زیرین بخش TST نظر گرفت.

سپاسگزاری

از داوران علمی این مقاله به دلیل ارائه رهنمودهای علمی سپاسگزاریم.

کتابنگاری

آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
اسدیان، ع. و اسکویی، ا. ا.، ۱۳۷۳- نقشه زمین‌شناسی چهارگوش ۱:۱۰۰۰۰۰ مغان، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
اسکویی، ا. ا. و رحیم‌زاده، ف.، ۱۳۷۳- نقشه زمین‌شناسی چهارگوش ۱:۱۰۰۰۰۰ خداآفرین، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
رحیم‌زاده، ف.، ۱۳۷۱- تحولات کانی‌های رسی در نهشته‌های منطقه مغان (اوسن تا کواترنر) و بررسی محیط رسوبی آنها. فصلنامه علمی و پژوهشی علوم زمین. سال ۱، شماره ۳، ص. ۲۷-۱۸.
فریدآزاد، م.، ادوای، م. و غفارپور، ا.، ۱۳۹۳- زمین‌شناسی و تعیین رده زغالسنگ معدن زغالسنگ زلو (شهرستان کلیبر- استان آذربایجان شرقی)، دومین کنگره ملی زغالسنگ ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۵ تا ۷ شهریور ۱۳۹۳.

References

- Abrams, M. A. and Narimanov, A. A., 1997- Geochemical evaluation of hydrocarbons and their potential sources in the western South Caspian depression, Republic of Azerbaijan. Mar. Pet. Geol. 14, 451-468. [https://doi.org/10.1016/S0264-8172\(97\)00011-1](https://doi.org/10.1016/S0264-8172(97)00011-1).
- Amini, A., 2006- Oligo-Miocene fluvial-dominated deltas on the shelf of the South Caspian Sea (Paratethys). Facies 52, 579-597. <https://doi.org/10.1007/s10347-006-0081-1>.
- Amini, A., 2011- Use of feldspar grains in provenance determination and the study of transportation and depositional history, examples from central and NW Iran. Geopersia 1, 11-24. <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=265283>.
- Amraee, A., Zareisahamieh, R., Moayyed, M., Ahmadi Khalaji, A., Azimzadeh, A. and Santos, J. F., 2019- Peshtasar Basalts: An Example of Post-Collision Basalts in Sedimentary Basin of Moghan, NW Iran. J. Earth Syst. Sci. 128, 63. <https://doi.org/10.1007/s12040-019-1083-z>.
- Berberian, M. and King, G., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Can J Earth Sci 18, 210-265. <https://doi.org/10.1139/e81-019>.
- Bohacs, K. and Suter, J., 1997- Sequence stratigraphic distribution of coaly rocks: fundamental controls and paralic examples. AAPG bulletin 81, 1612-1639. <https://doi.org/10.1306/3B05C3FC-172A-11D7-8645000102C1865D>.
- Boucot, A. J., 2013- Evolutionary paleobiology of behavior and coevolution. Elsevier, eBook ISBN: 9781483290812.
- Bromley, R. G., Pemberton, S. G. and Rahmani, R. A., 1984- A Cretaceous woodground: the Teredolites ichnofacies. J. Paleontol. 52, 488-498 <https://www.jstor.org/stable/1304797>.
- Buatois, L. A. and Mángano, M. G., 2013- Ichnodiversity and ichnodisparity: significance and caveats. Lethaia 46, 281-292. <https://doi.org/10.1111/let.12018>.
- Crimes, T. P., 1975- The stratigraphical significance of trace fossils, in: Frey, R. W. (Ed.), The study of trace fossils. Springer-Verlag, Berlin, pp. 109-130. https://doi.org/10.1007/978-3-642-65923-2_7.
- Denk, T., Güner, T. H., Kvaček, Z., Bouchal, J. M., 2017- The early Miocene flora of Güvem (Central Anatolia, Turkey): a window into early Neogene vegetation and environments in the Eastern Mediterranean. Acta Palaeobot 57, 237-338. DOI: 10.1515/acpa-2017-0011.
- Donovan, S. K., 2013- The trace fossil Teredolites longissimus Kelly and Bromley, 1984, from the Eocene of Curaçao. Caribb. J. Sci. 47, 181-186. <https://doi.org/10.18475/cjos.v47i3.a7>.
- Ehrlich, P. R. and Raven, P. H., 1964- Butterflies and plants: a study in coevolution. Evolution 18, 586-608. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1964.tb01674.x>.
- Ekdale, A. A., Bromley, R. G. and Pemberton, S. G., 1984- Ichnology, Use of Trace Fossils in Sedimentology and Stratigraphy. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, Oklahoma. <https://www.forskningssdatabasen.dk/en/catalog/2398220284>.
- Fotouhi, M., 1973- A Comprehensive Review of Geology and Oil Possibilities in Moghan Area, Geological Report. NIOC, p. 348.

- Frey, R. W. and Pemberton, S., 1984- Trace fossils facies models, in: Walker, R.G. (Ed.), Facies models. Geological Association of Canada, pp. 189-207.
- Frey, R. W., Pemberton, S. G. and Saunders, T. D., 1990- Ichnofacies and bathymetry: a passive relationship. *J. Paleontol.* 64, 155-158. <https://doi.org/10.1017/S0022336000042372>.
- Frey, R. W. and Seilacher, A., 1980- Uniformity in marine invertebrate ichnology. *Lethaia* 13, 183-207 <https://doi.org/10.1111/j.1502-3931.1980.tb00632.x>.
- Hasiotis, S., 2002- Continental Trace Fossils: SEPM Short Course Notes, no. 51. Tulsa, Oklahoma, 134.
- Holz, M., Vieira, P. E. and Kalkreuth, W., 2017- The Early Permian coal-bearing succession of the Paraná Basin in southernmost Brazil: depositional model and sequence stratigraphy. *Rev Bras Geocienc* 30, 424-426. <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/10665/10167>.
- Hunt, A. P., Chin, K. and Lockley, M. G., 1994- The palaeobiology of vertebrate coprolites, in: Donovan, S.K. (Ed.), The paleobiology of trace fossils. John Wiley, London, pp. 221-240.
- Jafarzadeh, M., Harami, R. M., Amini, A., Mahboubi, A. and Farzaneh, F., 2014- Geochemical constraints on the provenance of Oligocene–Miocene siliciclastic deposits (Zivah Formation) of NW Iran: implications for the tectonic evolution of the Caucasus. *Arabian Journal of Geosciences* 7, 4245-4263. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-1018-y>.
- Jamali, H., Dilek, Y., Daliran, F., Yaghubpur, A. and Mehrabi, B., 2010- Metallogeny and tectonic evolution of the Cenozoic Ahar–Arasbaran volcanic belt, northern Iran. *Int Geol Rev* 52, 608-630. <https://doi.org/10.1080/00206810903416323>.
- Kelly, S. R. A. and Bromley, R. G., 1984- Ichnological, nomenclature of clavate borings *Palaeontology* 27, 793-807. https://www.palass.org/publications/palaeontology-journal/archive/27/4/article_pp793-807.
- Kříž, J. and Mikuláš, R., 2006- Bivalve wood borings of the ichnogenus *Teredolites* Leymerie from the Bohemian Cretaceous Basin (Upper Cretaceous, Czech Republic). *Ichnos* 13, 159-174. <https://doi.org/10.1080/10420940600851594>.
- Kumar, K., Singh, H. and Rana, R., 2011- Ichnospecies *Teredolites longissimus* and teredinid body fossils from the Early Eocene of India-taphonomic and palaeoenvironmental implications. *Ichnos* 18, 57-71. <https://doi.org/10.1080/10420940.2011.573601>.
- Leymerie, M., 1842- Suite des m6moire sur le terrain Cretac6 du Department de l'Aube: Societe Geologique de France. *Memoires*.
- MacEachern, J. A., Pemberton, S. G., Bann, K. L. and Gingras, M. K., 2009- Departures from the archetypal ichnofacies: effective recognition of physico-chemical stresses in the rock record. AAPG Special Publications of SEPM. http://archives.datapages.com/data/sepm_sp/sc52/Departures_From_the_Archetypal_Ichnofacies.htm.
- Matzke-Karas, R. and Witt, W., 2005- Ostracods of the Paratethyan Neogene Kılıç and Yalakdere Formations near Yalova (İzmit Province, Turkey). *Zitteliana*, 115-133. https://epub.ub.uni-muenchen.de/11954/1/zitteliana_2005_45_05.pdf.
- Miall, A., 1977- A review of the braided-river depositional environment. *Earth-Sci. Rev.* 13, 1-62. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(77\)90055-1](https://doi.org/10.1016/0012-8252(77)90055-1).
- Miall, A. and Postma, G., 1997- The Geology of Fluvial Deposits, Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology. *Sediment. Geol.* 110, 149. DOI 10.1007/978-3-662-03237-4.
- Mikuláš, R., 2008- Xylic substrates at the fossilisation barrier: oak trunks (*Quercus* sp.) in the Holocene sediments of the Labe River, Czech Republic, *Current Developments in Bioerosion*. Springer, pp. 415-429. https://doi.org/10.1007/978-3-540-77598-0_21.
- Mirshahani, M., Bahrami, H., Rashidi, M., Tarhandeh, E. and Khani, B., 2018- Organic geochemical evaluation of potential Cenozoic source rocks in the Moghan Basin, NW Iran: implications for hydrocarbon exploration. *Journal of Petroleum Geology* 41, 393-410. <https://doi.org/10.1111/jpg.12709>.
- Morozova, V., 1958- Stratigraphy and some features of geological history of Central Talish. *Issues of Talish geology. Azerbaijan*, 43-95.
- Mostofi, B. and Paran, Y., 1964- A reappraisal of the main sedimentary basins of Iran and their oil prospects. *Bulletin of the Iranian Petroleum Institute* 14, 513-523. <https://www.onepetro.org/conference-paper/WPC-8017>.
- Myers, K., 2009- Organic-rich facies and hydrocarbon source rocks, in: Emery, D., Myers, K. (Eds.), Sequence stratigraphy. John Wiley & Sons, pp. 238-257. <https://doi.org/10.1002/9781444313710.ch11>.
- Nevesskaja, L., Goncharova, I., Iljina, L., Paramonova, N., Popov, S., Voronina, A., Chepalyga, A. and Babak, E., 1987- History of Paratethys. *Ann Instituti Geologici Publici Hungarici* 70, 337-342.
- Posamentier, H. and James, D., 1993- An overview of sequence-stratigraphic concepts: uses and abuses, in: Posamentier, H.W., Summerhayes, C.P., Haq, B.U., Allen, G.P. (Eds.), Sequence stratigraphy and facies associations. *Int. Assoc. Sedimentol. Spec. Publ.* pp. 3-18.
- Radionova, E. P., Golovina, L. A., Filippova, N. Y., Trubikhin, V. M., Popov, S. V., Goncharova, I. A., Vernigorova, Y. V. and Pinchuk, T. N., 2012- Middle-Upper Miocene stratigraphy of the Taman Peninsula, Eastern Paratethys. *Central European Journal of Geosciences* 4, 188-204. <https://doi.org/10.2478/s13533-011-0065-8>.

- Reichenbacher, B., Alimohammadian, H., Sabouri, J., Haghfarschi, E., Faridi, M., Abbasi, S., Matzke-Karasz, R., Fellin, M. G., Carnevale, G. and Schiller, W., 2011- Late miocene stratigraphy, palaeoecology and palaeogeography of the Tabriz basin (NW Iran, Eastern Paratethys). *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 311, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.07.009>.
- Savrda, C. E., 1991- Teredolites, wood substrates, and sea-level dynamics. *Geology* 19, 905-908. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1991\)019<0905:TWSASL>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1991)019<0905:TWSASL>2.3.CO;2).
- Savrda, C. E., Counts, J., McCormick, O., Urash, R. and Williams, J., 2005- Log-grounds and Teredolites in transgressive deposits, Eocene Tallahatta Formation (southern Alabama, USA). *Ichnos* 12, 47-57. <https://doi.org/10.1080/10420940590914507>.
- Savrda, C. E. and King, J. D. T., 1993- Log-ground and Teredolites lagerstatte in a Transgressive Sequence, Upper Cretaceous (Lower Campanian) Mooreville Chalk, central Alabama. *Ichnos: An International Journal of Plant & Animal* 3, 69-77. <https://doi.org/10.1080/10420949309386374>.
- Seilacher, A., 1963- Lebensspuren und Salinitäts-Fazies--Symposium zur Unterscheidung mariner und nicht-mariner Sedimente. *Fortschr. Geol. Rheinland Westfalen*, 10, 81-94.
- Seilacher, A., 1964- Sedimentological classification and nomenclature of trace fossils. *Sedimentology* 3, 253-256.
- Seilacher, A., 1967- Fossil behavior. *Sci. Am.* 217, 72-83. <https://www.jstor.org/stable/24926087?seq=1>.
- Stöcklin, J. and Setudehnia A., 1991- Stratigraphic Lexicon of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Taylor, P. D. and Wilson, M. A., 2003- Palaeoecology and evolution of marine hard substrate communities. *Earth-Sci. Rev.* 62, 1-103. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(02\)00131-9](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(02)00131-9).
- Tunoglu, C., 2003- Systematics and biostratigraphy of the Pontian Candonidae (Ostracoda) from the eastern Black Sea region (Northern Turkey). *Geol Carpath* 54, 21-40. doi: 10.2478/v10096-013-0013-7.
- Villegas-Martín, J., de Gibert, J. M., Rojas-Consuegra and R., Belaústegui, Z., 2012- Jurassic Teredolites from Cuba: New trace fossil evidence of early wood-boring behavior in bivalves. *J South Am Earth Sci* 38, 123-128. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2012.06.009>.
- Vincent, S. J., Allen, M. B., Ismail-Zadeh, A. D., Flecker, R., Foland, K. A. and Simmons, M. D., 2005- Insights from the Talysh of Azerbaijan into the Paleogene evolution of the South Caspian region. *Geol Soc Am Bull* 117, 1513-1533. <https://doi.org/10.1130/B25690.1>.
- Willm, C., Brasseur, R., Revoo, G., Marchand, J., Rochet, J. and Hindermeyerb, J., 1961- Geological report number 235 on Moghan area. IFP mission in Azerbaijan, National Iranian Oil Company. geological report.

Teredolites ichnofacies and its role in sequence stratigraphic analysis of the upper part of Ziveh Formation, Moghan area, Eastern Azarbaijan province, Northwest Iran

N. Abbassi^{1*}, M. Mirzaie Ataabadi² and M. Hasanpour³

¹Associate Professor, Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

²Assistant Professor, Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

³M.Sc. Student, Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: 2019 September 03

Accepted: 2020 February 02

Abstract

A stratigraphic section from the upper part of Ziveh Formation (Middle Miocene) has been surveyed in north Ojagh Kandi village, northeast Kalibar, Azarbaijan province. Ziveh Formation overlaid by Tortonian sediments as an angular unconformity in the studied section and its lower boundary covered by recent alluvium. A diverse body fossil assemblage includes molluscan, plants, and vertebrate have been collected from this section. Among them, abundant ichnofossils of bivalves on woodground, *Teredolites longissimus* discovered in a horizon. Occurrence of wooden substrate in this horizon shows first events of rising of the sea level, and its basal background is considerable for the lower boundary for TST. On the other hand, *Teredolites* bearing horizon indicates beginig of transgressive event in the sequence stratigraphic interpretation of the studied section.

Keywords: Ichnofacies, *Teredolites*, Wood-ground, Moghan, Paratethys.

For Persian Version see pages 15 to 24

*Corresponding author: N. Abbassi; E-mail: abbasi@znu.ac.ir