

Dor: [۲۰,۱۰۰۱,۱,۲۲۰۱۸۷۳۸,۱۴۰۰,۱۱,۲۱,۵,۳](https://doi.org/10.1001/1.22018738.1400.11.21.53)

## کنودونت‌های تریاس پیشین سازند سرخ شیل در برش چینه‌شناسی رباط شور (باختر طبس، خاور ایران مرکزی) و بررسی ضریب تغییر رنگ آنها در ارتباط با توان تولید هیدروکربور

عبیر عیسی<sup>۱</sup>، عباس قادری<sup>۲\*</sup>، محمد خانه‌باد<sup>۳</sup>، تیا کولار- جورکاووسک<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری چینه‌نگاری و دیرینه‌شناسی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴- استاد گروه دیرینه‌شناسی، سازمان زمین‌شناسی اسلوونی، لیوبلیانا، اسلوونی

\*aghadari@um.ac.ir

دریافت مهر ۱۴۰۱، پذیرش آبان ۱۴۰۱

### چکیده

در این پژوهش، توالی رسوبی سازند سرخ‌شیل در برش چینه‌شناسی رباط شور در باختر کفه فروافتاده طبس از دیدگاه زیست‌چینه‌نگاری مورد بررسی قرار گرفته است. توالی سازند سرخ‌شیل در این برش با ۴۸ متر ستبر، متشکل از شیل، مارن و سنگ‌آهک‌های مارنی است که با گذر همشیب بر روی آخرین لایه‌های سازند جمال قرار گرفته و به طور مشابهی توسط دولومیت‌های سازند شتری پوشیده شده‌اند. در نمونه‌های برداشت شده از توالی یاد شده ۹ گونه مختلف متعلق به ۴ جنس کنودونتی *Hadrodontina*، *Ellisonia*، *Parachirognathus* و *Pachycladina* شناسایی شدند که برای نخستین بار از این سازند گزارش می‌شوند. مجموعه کنودونتی موجود در قالب سه زیست‌زون *Hadrodontina aequabilis*، *Hadrodontina anceps* و *Pachycladina obliqua* تفکیک شده‌اند. تاکسای مورد مطالعه با کنودونت‌هایی که شناسایی شده‌اند، بیش‌تر از قلمروهای نزدیک به ساحل و کم ژرفای تیتس باختری در جنوب و خاور اروپا در بازه زمانی تریاس پیشین (گریسباخین پسین — اسمیتین میانی) گزارش شده بودند، همخوانی خوبی دارند. این زیست‌زون‌های کنودونتی برای فهم بهتر پراکندگی و قرابت کنودونت‌های تریاس پیشین باختر آسیا، جایگاه زیست‌دیرینه‌جغرافیایی آنها و کارکردشان در زیست‌چینه‌نگاری تریاس پیشین جهت مقایسه با زیست‌زون‌های کنودونتی معرفی شده از دیگر نقاط جهان و در نهایت انجام تطابق زیست‌چینه‌ای مناسب با نقاط مشابه کاربرد دارند. بررسی ضریب تغییر رنگ کنودونت‌های سازند سرخ‌شیل در زمان گریسباخین پسین بیانگر شاخص  $CAI=5$ ، در اسمیتین بیانگر شاخص  $CAI=4$  و در دینین بیانگر  $CAI=6-8$  می‌باشد که در محدوده عقیم برای تولید هیدروکربور قرار می‌گیرد.

واژه کلیدی: تریاس پیشین، گریسباخین، اسمیتین، سرخ‌شیل، کنودونت.

## ۱- مقدمه

مطالعه توالی‌های رسوبی تریاس در همه جای دنیا، به این دلیل که طبقات بلافصل انقراض بزرگ انتهای پرمین هستند، اهمیت دوچندان دارد. بررسی روند بازسازی فونای پس از انقراض و احیای زیست بوم و نیز مطالعه چگونگی بازگشت به شرایط زندگی مطلوب در پیش از انقراض انبوه، از طریق مطالعه طبقات تریاس میسر است [برای مثال: ۲۰ و ۹۲] و لذا انجام پژوهش بر روی این ردیف رسوبات در همه جای دنیا ارزشمند است. علاوه بر اهمیت چینه‌شناسی رسوبات این بازه زمانی، وجود برخی منابع معدنی نظیر لاتریت و بوکسیت و نیز ذخایر هیدروکربوری در توالی‌های رسوبی تریاس، سبب اهمیت این واحدها از دیدگاه اقتصادی شده است [۱]. بازیابی زیستی — محیطی پس از رویداد انقراض انبوه انتهای پرمین، در یک بازه زمانی طولانی مدت در تریاس پیشین [۹۱ و ۲۵] روی داده است.

این رویداد انقراضی که بزرگترین مرگ دسته جمعی تاریخ حیات بوده و حدود ۸۱ درصد گونه‌های زنده دریایی را نابود کرده است [۸۰]، اقیانوس‌های انتهای پرمین را به صحرای زیرآبی تقریباً عاری از حیاتی تبدیل کرده که احیای دوباره آن نیازمند صرف زمان بسیار بوده است. به دلیل شرایط نامساعد محیطی برای زندگی در مدت زمان پنج میلیون ساله ابتدایی تریاس و پس از رویداد انقراضی مورد سخن [۶۵، ۸۴ و ۲۲]، از این بازه زمانی به عنوان «گندزار تریاس پیشین»<sup>۱</sup> یاد شده است [۶].

نبود نهشته‌های زغال‌دار، نبود سنگ‌های چرتی، نبود تجمعات مرجانی، افزایش نرخ هوازدگی قاره‌ای و ظهور و توسعه غیرعادی میکروبیالیته‌ها [برای مثال: ۱۲، ۷، ۱۶، ۹، ۹۳، ۷۴ و ۴۴]، همگی بیانگر طولانی و زمانبر بودن فرآیند بازیابی حیاتی در دریا‌های تریاس پیشین هستند [۲۰ و ۲۵]. مطالعه روند ایزوتوپ کربن کربنات دریایی در تریاس پیشین و به ویژه در طول زیراشکوب‌های گریسباخین تا اسمیتین، نوسانات زیادی (تا ۱۰-۵%) را نشان می‌دهد و به دنبال آن تغییرات کم‌رنگی در زیراشکوب اسپاتین رخ داده است [برای مثال: ۶۵، ۳۴، ۷۱]. انتشار گازهای آتش‌فشانی [۶۴]، ورود انبوه مواد آلی خاک از خشکی‌ها [۷۵]، تغییرات تولید دریایی [۵۷] و یا ترکیبی از این عوامل [۸]، توجیحات مختلفی هستند که برای این آشفتگی در چرخه کربن پیشنهاد شده‌اند. این امر نشان می‌دهد دست کم سه رخداد انقراضی کوچک مقیاس [۷۹ و ۱۵] نیز در تریاس پیشین روی داده که احتمالاً مسؤول اصلی تأخیر طولانی مدت در بازیابی دوباره حیات در این زمان بوده‌اند. این رخدادهای انقراضی کوچک مقیاس به کمک هر دو فون آمونوئیدی و کنودونتی، در اواخر گریسباخین، اسمیتین پسین و اواخر اسپاتین ثبت شده‌اند [۷۹ و ۱۵]، ضمن این که نقش کنودونت‌ها در زیست‌چینه‌نگاری توالی‌های تریاس ارزشمند و بی‌همتاست [برای مثال: ۸۵، ۷۷، ۹۵، ۴۵، ۹۴، ۶۲، ۶۳، ۹۸، ۹۹، ۵۶، ۳۳ و ۳۸].

در ایران، مطالعه رخدادهای حیاتی انتهای پرمین — تریاس پیشین کمتر مورد توجه بوده و محدود به برخی مطالعات اندک در نواحی جلفا، آباد و شهرضا در پیرامون مرز پرمین — تریاس است [برای مثال: ۲، ۴۷، ۳۰، ۴۴، ۴۶، ۹۷]. زیای کنودونتی و آمونوئیدی تریاس پیشین ایران تا حد زیادی ناشناخته است، به طوری که تنها چهار بایوزون کنودونتی آغاز تریاس در گریسباخین جلفا و آباد [برای مثال: ۴۶ و ۳۱] اثبات شده و دیگر بایوزون‌های کنودونتی استاندارد این بازه زمانی معرفی نشده‌اند. از بایوزون‌های آمونوئیدی تریاس پیشین نیز تنها اطلاعات ناچیزی از آغاز تریاس در دسترس است [۷۱].

<sup>۱</sup> - Early Triassic cespooil

مطالعه حاضر، به بررسی ردیف رسوبات آغازین تریاس در ایران مرکزی و ناحیه طبرس می‌پردازد. ایران مرکزی در آغاز تریاس، به عنوان یکی از بلوک‌های سیمین، در بخش میانی اقیانوس تیتیس و در محدوده تقریبی خط استوا (شکل ۱)، در بین بلوک افغانستان در خاور و بلوک البرز در باختر قرار داشته است [۷۲ و ۸۹].

نهشته‌های تریاس در این سرزمین با رخساره‌های متنوع، گستره وسیعی به ویژه در بخش‌های خاوری ایران مرکزی را تحت پوشش قرار می‌دهند. در این منطقه و پس از رسوب‌گذاری دریای پرمین، رسوبات آواری بارز و مشخصی با رنگ سرخ آجری نهشته شده‌اند که به نام سازند سرخ‌شیل نامگذاری شده‌اند [۸۱].

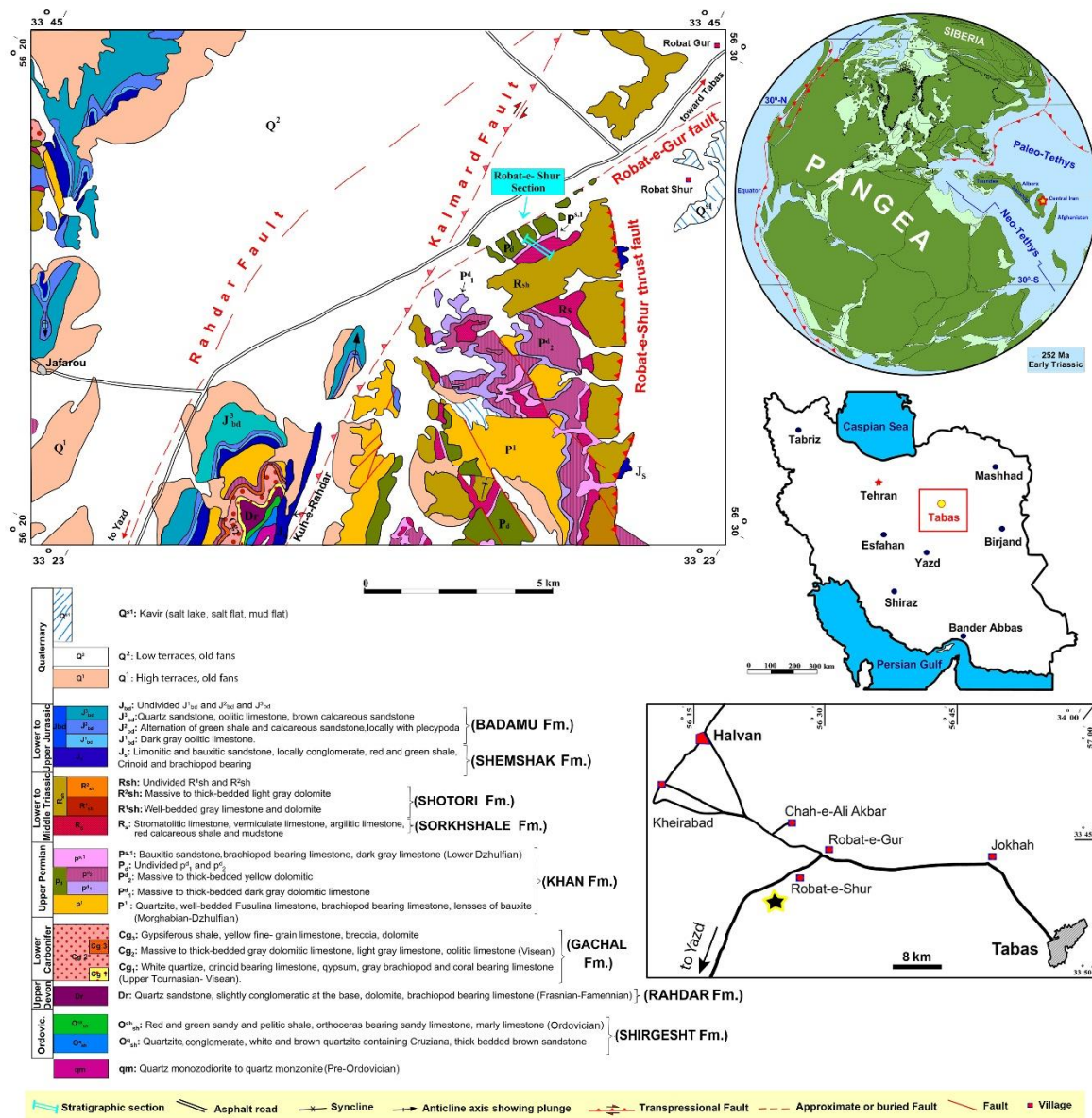
این سازند در برش الگو با ۱۲۲ متر ستبر، با گذر همشیب و ناپیوسته، به عنوان واحدی کلیدی در میان سازند جمال در زیر و سازند شتری در بالا قرار گرفته و لذا تشخیص آن در صحرا آسان است [۷۶]. سازند سرخ‌شیل از شیل‌های آهکی سرخ رنگ همراه با تناوب‌های منظمی از سنگ‌آهک صورتی تا زرد رنگ، دولومیت‌های نخودی و ماسه‌سنگ قهوه‌ای تشکیل شده و گاهی آثار ریپل‌مارک و لایه‌های استروماتولیتی — ترومبولیتی، افق‌های طوفانی و کنگلومرای درون سازندی در آن دیده می‌شود. قماش و لاسمی [۴] و یحیی شیبانی و همکاران [۵] ضمن بررسی ریزخساره‌ها و تفسیر محیط رسوبی دیرینه این سازند، محیط رسوبی تشکیل آن را عمدتاً پهنه‌های جزرومدی معرفی نموده‌اند. سن سازند سرخ‌شیل با توجه به حضور دوکفه‌ای‌های *Pseudomonotis*، شکم‌پایان کوچک و مجموعه روزن‌داران، اوایل تریاس تعیین شده است [۲۹ و ۱۷]. همچنین، به دلیل وجود صدف دوکفه‌ای و آثاری شبیه به کرم‌های سرپولید، سازند سرخ‌شیل را از دیدگاه جایگاه چین‌نگاشتی و تطابق منطقه‌ای با بخش زیرین سازند الیکا در البرز معادل دانسته‌اند [۳۲].

با این حال، جایگاه سنی یاد شده برای سازند سرخ‌شیل در همه مطالعات انجام شده پیشین، بر مبنای گروه‌های فسیلی نه چندان شاخص تعیین شده و تاکنون داده سنی بر مبنای فسیل‌های ارزشمند بایوزون‌ساز استاندارد تریاس از این سازند گزارش نشده ضمن این که محتوای کنودونتی این سازند پیش از این بررسی نشده است. در این مطالعه سعی شده است برای اولین بار، کنودونته‌های تریاس پیشین ایران مرکزی در ناحیه باختر طبرس در توالی رسوبی سازند سرخ‌شیل بررسی و ضمن ارائه بایوزوناسیون قابل اعتمادی برای آن، مرزهای زمان‌چینه‌ای اشکوب‌های این سری نیز مورد توجه قرار قرار گیرند. امید است با توسعه این مطالعات و تعیین دقیق مرزهای چین‌شناسی، بتوان اثرات و شواهد رویدادهای انقراضی تریاس پیشین در ایران را نیز در آینده نزدیک جست‌وجو نمود.

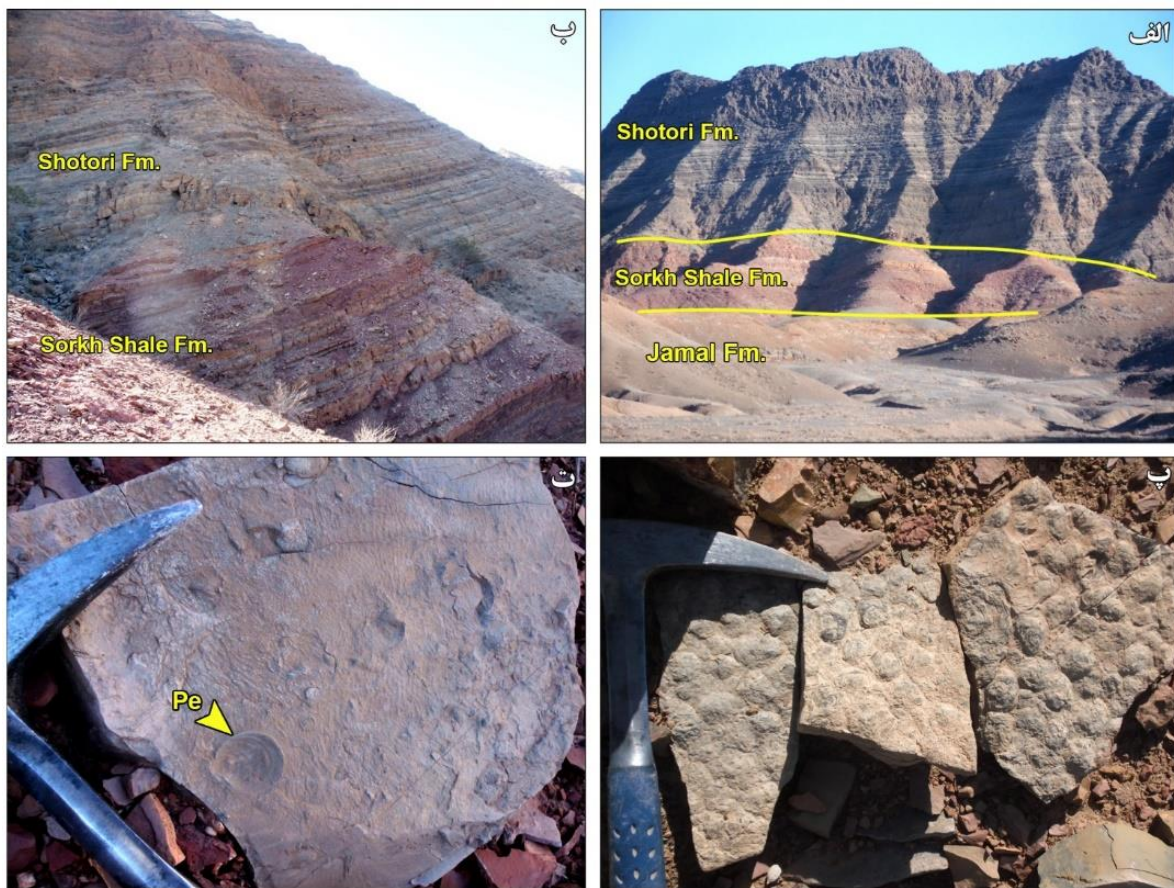
## ۲- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی برش مورد مطالعه

برش مورد مطالعه در این پژوهش، برش چین‌شناسی رباط شور با مختصات جغرافیایی "۵۱/۹۴' ۴۱° ۳۳ عرض شمالی و "۷/۳۷' ۲۷° ۵۶ طول خاوری، در باختر شهر طبرس و در مجاورت کاروانسرای متروکه‌ای موسوم به رباط شور در منتهی‌الیه باختری کفه فروافتاده طبرس قرار گرفته است (شکل ۱). سازند سرخ‌شیل در این برش با ۴۸ متر ستبر، با گذر همشیب بر روی سنگ‌آهک‌های دولومیتی ستبرلایه خاکستری و قهوه‌ای رنگ سازند جمال قرار گرفته و به طور مشابهی توسط دولومیت‌های متوسط تا ستبرلایه خاکستری رنگ سازند شتری پوشیده شده است.

سنگ‌شناسی غالب سازند سرخ‌شیل در برش چینه‌شناسی رباط شور را شیل‌های آهکی قرمز رنگ، سنگ‌آهک‌های رسی و سنگ‌آهک ورمیکوله خاکستری تا شیری رنگ و برخی سنگ‌آهک‌های استروماتولیتی — ترومبولیتی خاکستری رنگ تشکیل می‌دهند. نهشته‌های شیلی این سازند باعث شده تا سیمای عمومی رخنمون‌های سازند سرخ‌شیل عموماً کم ارتفاع و نرم فرسا باشد (شکل ۲). از دیدگاه زمین‌شناسی ساختمانی، این منطقه به دلیل قرارگیری در مجاورت گسل پی‌سنگی کلمرد و گسل‌های رباط گور و رباط شور، تا حدی تکتونیزه، اما حائز اهمیت است چرا که تکتونیک حاکم بر رسوب‌گذاری منطقه در دو بلوک مجاور هم (بلوک‌های کلمرد و طبس) سنگ‌چینه‌نگاری متفاوتی را برای این ناحیه رقم زده است [۳]. به همین دلیل، به فاصله اندکی از برش چینه‌شناسی رباط شور و در سوی باختری گسل کلمرد، سازند سرخ‌شیل به جای سازند جمال، بر روی ردیف‌های آورای کریناته سازند/گروه خان قرار گرفته است [۱ و ۵۲].



شکل ۱: نقشه جغرافیای دیرینه منطقه مورد مطالعه در تریاس پیشین [۸۹]، با اندکی تغییرات و ترسیم مجدد؛ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دستیابی به منطقه و نمایش ویژگی‌های زمین‌شناسی عمومی منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ حلوان [۳]؛ با اندکی تغییرات و ترسیم مجدد.



شکل ۲: نمایی از برش چینه‌شناسی رباط شور؛ الف) موقعیت مرزهای زیرین و بالایی سازند سرخ شیل (جهت دید به سوی جنوب خاور)؛ ب) گذر همشیب و پیوسته سازندهای سرخ شیل و شتری (جهت دید به سوی جنوب باختر)؛ پ) ترومولیت‌های بخش پایینی سازند سرخ شیل؛ ت) دوکفه‌ای *Pesudomonotis sp.* در سنگ‌آهک‌های میانی سازند سرخ شیل

### ۳- روش مطالعه

در این پژوهش جهت انجام مطالعات زیست‌چینه‌نگاری بر اساس کنودونت‌ها، در فواصل مشخص و از لایه‌های مناسب، در مجموع ۲۷ نمونه ۳ تا ۵ کیلوگرمی برداشت و پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، مراحل آماده سازی شامل گل‌شویی اولیه، خردایش و اسیدشویی بر روی آنها انجام شده است. هر نمونه به مدت ۲۴ ساعت در اسید فرمیک رقیق شده با غلظت ۱۰٪ قرار گرفته و پس از انحلال، رسوب حاصل از الک‌های ۱۸ و ۲۳۰ مش عبور داده شده است. این فرآیند برای هر نمونه در سه مرحله تکرار شده است. جداسازی کنودونت‌ها در زیر میکروسکپ نوری انجام شده و پس از شناسایی آنها، از گونه‌های شاخص به دست آمده به کمک میکروسکپ الکترونی روبشی (SEM) مدل ۱۴۵۰ VP Leo آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد تصویربرداری شده است (شکل‌های ۳ تا ۵).

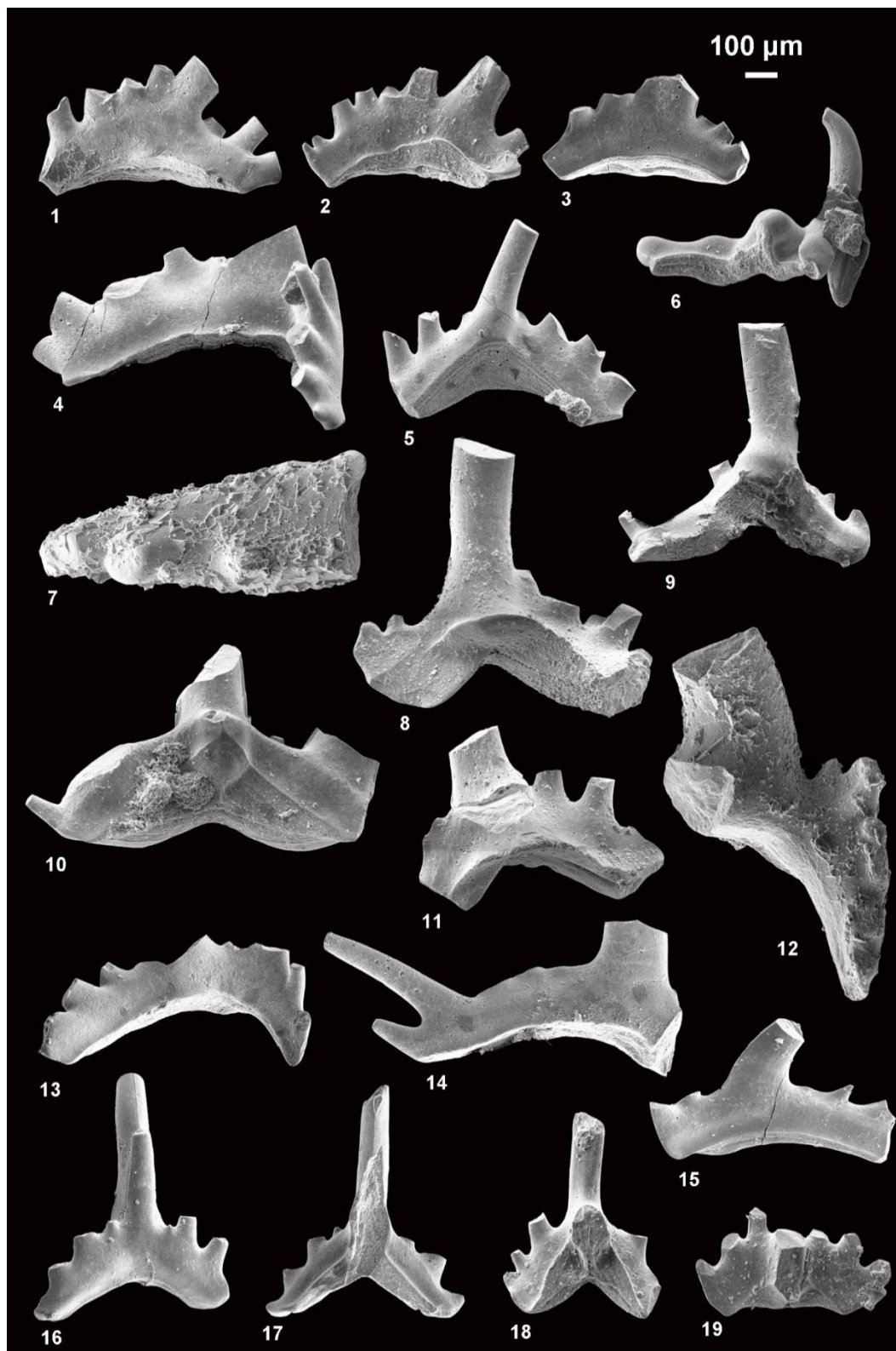
از میان نمونه‌های برداشت شده، ۱۳ نمونه دارای کنودونت بودند و مجموعاً ۲۳۸ عنصر اسکلتی از آنها استخراج شد (جدول ۱). مبنای شناسایی کنودونت‌ها در این مطالعه توجه به ویژگی‌های اجزای اسکلتی در آپاراتوس بازسازی شده بوده است. از این رو، بررسی سیستماتیک کنودونت‌های برش مورد مطالعه که بیشتر از فرم‌های میله‌ای متعلق به خانواده *Ellisoniidae* Clark ۱۹۷۲ [۲۱] هستند، با توجه به موقعیت کاسپ، آرایش دندان‌ها بر روی زوائد جلویی و عقبی و نیز

گسترش حفره قاعده‌ای در زیر کاسپ انجام شده و در این ارتباط، طبقه‌بندی‌های ارائه شده مرتبط نیز در نظر گرفته شده است [۶۷، ۸۶، ۷۳، ۶۱، ۱۰۰، ۱۱، ۶۸، ۶۹ و ۵۳]. همچنین، به منظور انجام تطابق زیست‌چینه‌ای و به دلیل تشابه عناصر کنودنتی برش مورد مطالعه با کنودنت‌های هم‌ارز اروپای مرکزی و جنوبی، داده‌های زیست‌چینه‌ای برش‌های مختلف چینه‌شناسی در کشورهای اسلوونی، ایتالیا، کرواسی، صربستان و ... [برای مثال: ۸۳، ۴۲ و ۱۹] مورد توجه قرار گرفته‌اند. در پایان نیز ضریب تغییر رنگ (CAI)<sup>۲</sup> با توجه به الگوهای استاندارد مورد بررسی قرار گرفته و توان تولید هیدروکربور در سازند سرخ‌شیل ارزیابی شده است.

جدول ۱: پراکندگی چینه‌ای و فراوانی کنودنت‌های یافت شده از برش رباط شور (تنها نمونه‌های کنودنت‌دار در این جدول نمایه شده‌اند)

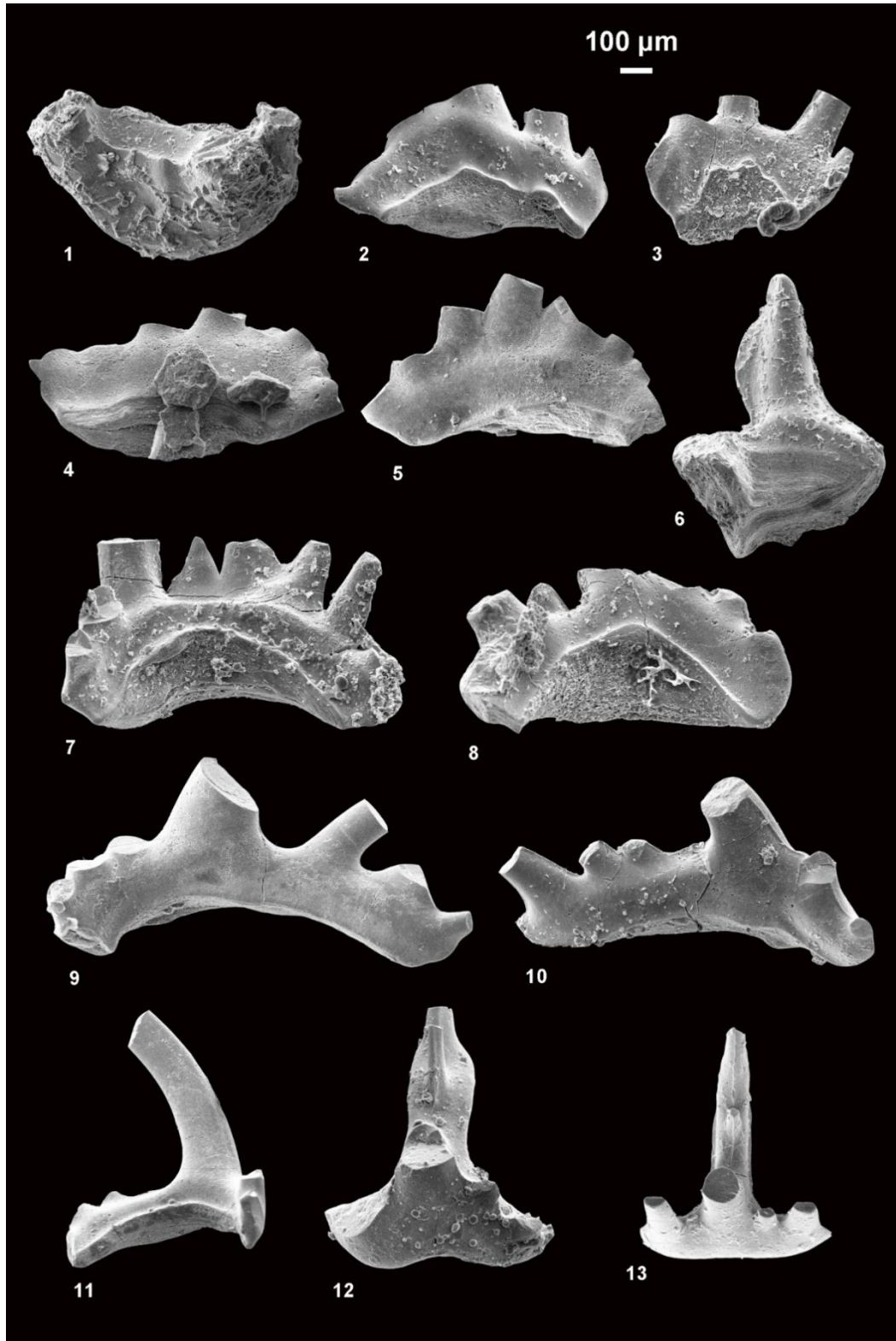
Species	Sample number												
	R۲	R۶	R۸	R۱۲	R۱۳	R۱۴	R۱۵	R۱۷	R۲۲	R۲۳	R۲۴	R۲۵	R۲۶
<i>Hadrodontina aequabilis</i>	۳	۶	۳	۰	۱۰	۰	۵	۰	۶	۳۵	۲	۱۳	۰
<i>Hadrodontina anceps</i>	۰	۰	۷	۰	۰	۰	۳	۰	۰	۰	۲	۶	۰
<i>Hadrodontina agordina</i>	۰	۰	۹	۰	۶	۳	۶	۰	۰	۷	۱۰	۰	۰
<i>Pachycladina oblique</i>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰	۸	۰	۰	۶	۰	۰
<i>Pachycladina qinlingensis</i>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶	۰	۰	۰
<i>Parachirognathus semicircinelus</i>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶	۰	۰	۰
<i>Ellisonia/Hadrodontina</i> sp.	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۰	۰	۰	۱۰	۳	۰	۰
<i>Ellisonia triassica</i>	۰	۹	۰	۰	۶	۰	۰	۰	۰	۱۲	۳	۱۰	۷
<i>Ellisonia</i> sp. aff. <i>E. triassica</i>	۰	۰	۲	۲	۵	۰	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰
<i>Ellisonia agordina</i>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵	۰	۰	۰	۰

<sup>۲</sup>- Conodont Color Alteration Index



شکل ۳: تصاویر منتخبی از کنودونت‌های شناسایی شده در این پژوهش

۱-۱۹. *Hadrodontina aequabilis* Staesche ۱۹۶۴; Sample R۱۲, Pa element, inner view; ۲. Sample R۱۰, Pa element, inner view; ۳. Sample R۱۲, Pa element, inner view; ۴. Sample R۱۲, Pb element, inner view; ۵. Sample R۱۲, Pb element, inner view; ۶. Sample R۱۲, M element, aboral-lateral view; ۷. Sample R۱۴, M element, oral view; ۸. Sample R۱۶, M element, inner view; ۹. Sample R۱۲, M element, inner view; ۱۰. Sample R۱۰, M element, inner view; ۱۱. Sample R۱۲, M element, inner view; ۱۲. Sample R۱۴, M element, inner view; ۱۳. Sample R۱۲, Sa element, inner view; ۱۴. Sample R۱۲, Sb element, inner view; ۱۵. Sample R۱۳, Sb element, inner view; ۱۶. Sample R۱۲, S. element, outer view; ۱۷. Sample R۱۰, S. element, inner view; ۱۸. Sample R۱۲, S. element, inner view; ۱۹. Sample R۱۲, S. element, inner view.



شکل ۴: تصاویر منتخبی از کنودونت‌های شناسایی شده در این پژوهش

۱-۱۳. *Hadrodontina agordina* Perri and Farabegoli, ۱۹۸۷; Sample R۲۴, Pa element, oral view; ۲. Sample R۱۵, Pa element, inner view; ۳. Sample R۱۴, Pa element, inner view; ۴. Sample R۲۳, Pa element, inner-aboral view; ۵. Sample R۲۳, Pa element, inner view; ۶. Sample R۲۴, Sb element, inner view; ۷. Sample R۸, Sb element, inner view; ۸. Sample R۱۵, Sb element, inner view; ۹. Sample R۲۳, Sc element, outer view; ۱۰. Sample R۲۳, Sc element, outer view; ۱۱. Sample R۸, Sc element, outer view; ۱۲. Sample R۱۵, S. element, oral view; ۱۳. Sample R۱۳, S. element, oral view.





شکل ۵: تصاویر منتخبی از کنودونت‌های شناسایی شده در این پژوهش

۱-۴. *Pachycladina obliqua* Staesche ۱۹۶۴; Sample R۱۰, Pa element, inner view; ۲. Sample R۱۰, M element, inner view; ۳. Sample R۲۴, M element, outer view; ۴. Sample R۱۷, M element, inner view; ۵. *Pachycladina qinlingensis* Lai, ۱۹۹۲; Sample RSH۲۲, M element, inner view; ۶. *Pachycladina* spp.; Sample R۲۴, Pb element, inner view; ۷. *Parachirognathus semicircenlus* Tian and Dai in Tian et al., ۱۹۸۳; Sample R۲۴, Sa element, inner view; ۸-۹. *Hadrodontina anceps* Staesche ۱۹۶۴; Sample R۲۴, Pb element, inner view; ۹. Sample R۲۰, Sc element, inner view; ۱۰. *Hadrodontina/Ellisonia* sp. Powell et al., ۲۰۱۶; Sample R۲۰, Sc element, lateral view; ۱۱-۱۴. *Hadrodontina* sp.; Sample RSH۱۰, Sb element, inner view; ۱۲. Sample RSH۲۲, Sb element, inner view; ۱۳. Sample RSH۲۲, Sb element, inner view; ۱۴. Sample RSH۱۰, Sa element, lateral view; ۱۵. *Ellisonia triassica* Müller, ۱۹۵۶; Sample R۲۴, Pb element, outer view; ۱۶. *Ellisonia agordina* Perri and Andraghetti, ۱۹۸۷; Sample R۲۲, Sa element, inner view; ۱۷-۱۸. *Ellisonia* sp. aff. *E. triassica* Müller, ۱۹۵۶; Sample R۸, Pb element, inner view; ۱۸. Sample R۱۲, Sb element, inner view.

## ۴- بحث

کنودونت‌های تریاس پیشین و اجداد بلافصل آنها تاریخ پر فراز و نشیبی از کاهش، انقراض و گوناگونی را نشان می‌دهند. توضیح این الگوها در تعامل پیچیده با عوامل محیطی است که در دریا‌های پرمین پسین و تریاس پیشین تأثیرگذار بوده‌اند [۶۲، ۸۴ و ۲۲]. فراوانی نمایندگان کنودونت‌های خانواده Ellisoniidae [۲۱] مانند جنس‌های *Ellisonia*، *Hadrodontina* و *Pachycladina* در برش‌های چین‌شناسی مختلف تریاس در کشورهای اسلوونی، کرواسی، مجارستان، صربستان، بوسنی هرزگوین و ایتالیا، گویای سودمندی این تاکسا جهت زیست‌پهنه‌بندی، تعیین سن و تطابق این ردیف رسوبات، به ویژه در طبقات رسوبی نهشته شده در آب‌های کم ژرفای تیتیس باختری و مرکزی است [برای مثال: ۷۸، ۴۸، ۱۸، ۶۶، ۳۹، ۴۳ و ۸۳]. استفاده زیست‌چینه‌ای از برخی از گونه‌های خانواده Ellisoniidae همچون *Hadrodontina aequabilis* و *Pachycladina obliqua* اولین بار در مطالعه طبقات رسوبی تریاس کوهستان دولومیت ایتالیا صورت گرفت [۶۶] و بعداً در واحدهای سنگی مشابه در کوه‌های دینارید آلپ و اسلوونی نیز به کار رفت [۳۶، ۴۲، ۱۹]. مطالعه نمونه‌های برداشت شده از توالی مورد مطالعه در برش چین‌شناسی رباط شور به شناسایی ۹ گونه متعلق به ۴ جنس از کنودونت‌ها منجر شده است. این گونه‌ها مشتمل بر *Ellisonia agordina*، *Ellisonia triassica*، *Ellisonia aff. E. triassica*، *Hadrodontina aequabilis*، *Hadrodontina agordina*، *Hadrodontina anceps*، *Pachycladina obliqua*، *Pachycladina* و *Pachycladina spp.* بوده و گویای سن ایندوئن — اولنکین از تریاس پیشین (زیراشکوب‌های گریسباخین پسین تا اسمیتین میانی) هستند. این مجموعه کنودونتی که با حضور جنس‌های یوری‌هالین آب‌های کم ژرفا مشخص می‌شود، با فونای کنودونتی شناخته شده ایندوئن (گریسباخین پسین — دینرین) و اولنکین پیشین (اسمیتین میانی) در اروپای مرکزی و به طور ویژه‌ای اسلوونی و ایتالیا [به عنوان مثال: ۱۹، ۴۲، ۸۳ و ۲۶] همخوانی دارند (شکل ۱-۵)، همه این مناطق از دیدگاه بوم‌سازگان دیرینه با محیط‌های کم‌ژرفای عرض‌های جغرافیایی پایین مناطق گرمسیری / نیمه‌گرمسیری در ارتباط بوده‌اند. لازم به ذکر است رنگ قرمز ردیف رسوبات سازند سرخ شیل بیانگر سطح نسبتاً بالای اکسیژن در محیط کم‌ژرفای دریایی و در پهنه کشندی است [۶]. لذا، این سازند در برش مورد مطالعه مشخصاً سازندی دریایی با سنگ شناسی غالب کربناته و نه آواری بوده و سرشار از فسیل‌های کنودونت، روزن‌داران، استراکدها، دوکفه‌ای‌ها و شکم‌پایان است و برخلاف باور برخی، در یک محیط کاملاً زیرآبی دریایی و نه محیط قاره‌ای تشکیل شده است. با این توضیح، سه بایوزون کنودونتی به شرح زیر در توالی‌های سازند سرخ‌شیل در برش رباط شور شناسایی و معرفی شده است (شکل ۶) که همگی قابل انطباق با بایوزون‌های کنودونتی تریاس پیشین برای نواحی کم ژرفا در حوضه تیتیس باختری هستند (شکل ۷):

### ۴-۱- *Hadrodontina aequabilis* Interval Zone

شروع این بایوزون بینابینی همزمان با اولین حضور گونه *Hadrodontina aequabilis* و پایان آن با اولین حضور گونه *Hadrodontina anceps* مشخص می‌شود [۴۲]. گونه *Hadrodontina aequabilis* به عنوان یک گونه شاخص مناطق شلف کم ژرفای تیتیس باختری، اولین بار توسط اشتاتشه<sup>۳</sup> [۷۸] از سازند ورفن<sup>۴</sup> در کوهستان دولومیت در شمال ایتالیا معرفی و آپاراتوس چندعنصری آن بعدها توسط پری<sup>۵</sup> [۶۶] بازسازی شده است. بایوزون مورد سخن در کوهستان دولومیت ایتالیا در توالی بایوزونی *Isarcicella isarcica* - *Hadrodontina aequabilis* - *Hadrodontina anceps* - *Pachycladina obliqua* که بر اساس کنودونت‌های یوری‌هالین آب‌های کم ژرفا تعریف شده است، قرار گرفته و مؤید زیراشکوب گریسباخین

۳- Staesche

۴- Werfen

۵- Perri

پسین تا آغاز دینرین می‌باشد [۲۹]. گونه *Hadrodontina aequabilis* از ژاپن [۳۵]، برش چینه‌شناسی موکریس<sup>۶</sup> در خاور اسلوونی [۴۲] و پرموری جنوبی<sup>۷</sup> در خاور دور روسیه نیز گزارش شده است [۱۴]. بایوزون *Hadrodontina aequabilis* در برش رباط شور به خوبی گسترش یافته و با ۷/۶۵ متر ستبر، از دیدگاه سنگ‌شناسی در بردارنده شیل‌ها، مارن‌ها و سنگ‌آهک‌های آجری تا خاکستری رنگ بخش زیرین سازند سرخ‌شیل می‌باشد. لازم به ذکر است هیچ گونه کنودونتی همراهی در گستره این بایوزون یافت نشده است.

#### ۴-۲- *Hadrodontina anceps* Interval Zone

این بایوزون بینابینی با اولین حضور گونه *Hadrodontina anceps* آغاز و با اولین حضور گونه *Pachycladina obliqua* پایان می‌یابد. گونه *Hadrodontina anceps* نیز اولین بار توسط اشتاشه [۷۸] از کوهستان دولومیت ایتالیا معرفی و آپاراتوس چندعنصری آن توسط پری و آندراگتی<sup>۸</sup> [۶۷] بازسازی شده است. بایوزون *Hadrodontina anceps* نشان دهنده زیراشکوب دینرین بوده و علاوه بر ایتالیا، از سازند لوکاک<sup>۹</sup> در اسلوونی نیز گزارش شده است [۴۲]. این بایوزون در برش رباط شور ۱۵/۸۰ متر ستبر دارد و از دیدگاه سنگ‌شناسی در بردارنده شیل‌های آهکی متورق نازک سبز و خاکستری و مارن‌های سرخ رنگ در تناوب با سنگ‌آهک‌ها و سنگ‌آهک‌های مارنی آجری رنگ در بخش‌های میانی سازند سرخ‌شیل می‌باشد. کنودونت‌های همراه در این بایوزون نیز شامل گونه‌های *Ellisonia triassica*، *Ellisonia aff. triassica*، *Ellisonia/Hadrodontina sp.*، *Hadrodontina agordina* و *Hadrodontina aequabilis* هستند.

#### ۴-۳- *Pachycladina obliqua* Range Zone

این بایوزون گستره‌ای مشتمل بر فاصله اولین حضور تا آخرین حضور گونه *Pachycladina obliqua* است [۴۲]. همانند *Hadrodontina anceps*، گونه *Pachycladina obliqua* نیز اولین بار توسط اشتاشه [۷۸] از سازند ورفن در کوهستان دولومیت ایتالیا معرفی و آپاراتوس چندعنصری آن توسط پری و آندراگتی [۶۷] بازسازی شده است. اهمیت زیست‌چینه‌شناسی این گونه به عنوان یک شاخص بایوزون‌ساز در بوم سازگان گرمسیری کم ژرفای تریاس پیشین، علاوه بر ایتالیا، در کوه‌های دینارید<sup>۱۰</sup> اسلوونی [۶۶، ۴۰، ۴۱، ۳۷، ۳۶، ۲۳ و ۱۱]، کرواسی [۳۶ و ۱۰]، بوسنی و هرزگوین [۱۱]، صربستان [۸۲]، چین جنوبی [۹۶] و امریکای شمالی [۱۳] نیز مورد تأیید قرار گرفته است. گستره چینه‌شناسی این بایوزون در ایتالیا از اسمیتین تا اسپاتین پیشین متغیر است [۶۷]، اگرچه در اسلوونی بیشتر در محدوده زیراشکوب اسمیتین گزارش شده است. از سوی دیگر، حضور غالب گونه *Pachycladina obliqua* در همراهی با عناصر جنس *Hadrodontina* به اسمیتین نسبت داده شده است [۸۷]. بایوزون مورد سخن در برش چینه‌شناسی رباط شور ۱۶/۵۰ متر ستبر دارد و از دیدگاه سنگ‌شناسی در بردارنده شیل‌های خاکستری و سنگ‌آهک‌های نازک تا ستبر لایه چهره صخره ساز قهوه‌ای تا آجری رنگ در بخش‌های بالایی سازند سرخ‌شیل است. گونه‌های *Ellisonia agordina*، *Ellisonia triassica*، *Ellisonia/Hadrodontina sp.*، *Hadrodontina aequabilis*، *Hadrodontina agordina*، *Hadrodontina anceps*، *Pachycladina qinlingensis*، *Parachirognathus semicircules* و *Pachycladina spp.* مهمترین فسیل‌های همراه شناسایی شده در گستره این بایوزون هستند.

یادآور می‌گردد اطلاعات موجود درباره کنودونت‌های تریاس ایران لندک است و از خاور ایران مرکزی نیز هیچ اطلاعاتی تاکنون منتشر نشده است. همان‌طور که پیش از این نیز بیان شد، کنودونت‌های تریاس گزارش شده از نواحی جلفا، شهرضا و آباد، یادآور چهار بایوزون کنودونتی *Hindeodus parvus*، *Hindeodus lobata*، *Isarcicella staeschei* و *Isarcicella*

<sup>۶</sup>- Mokrice

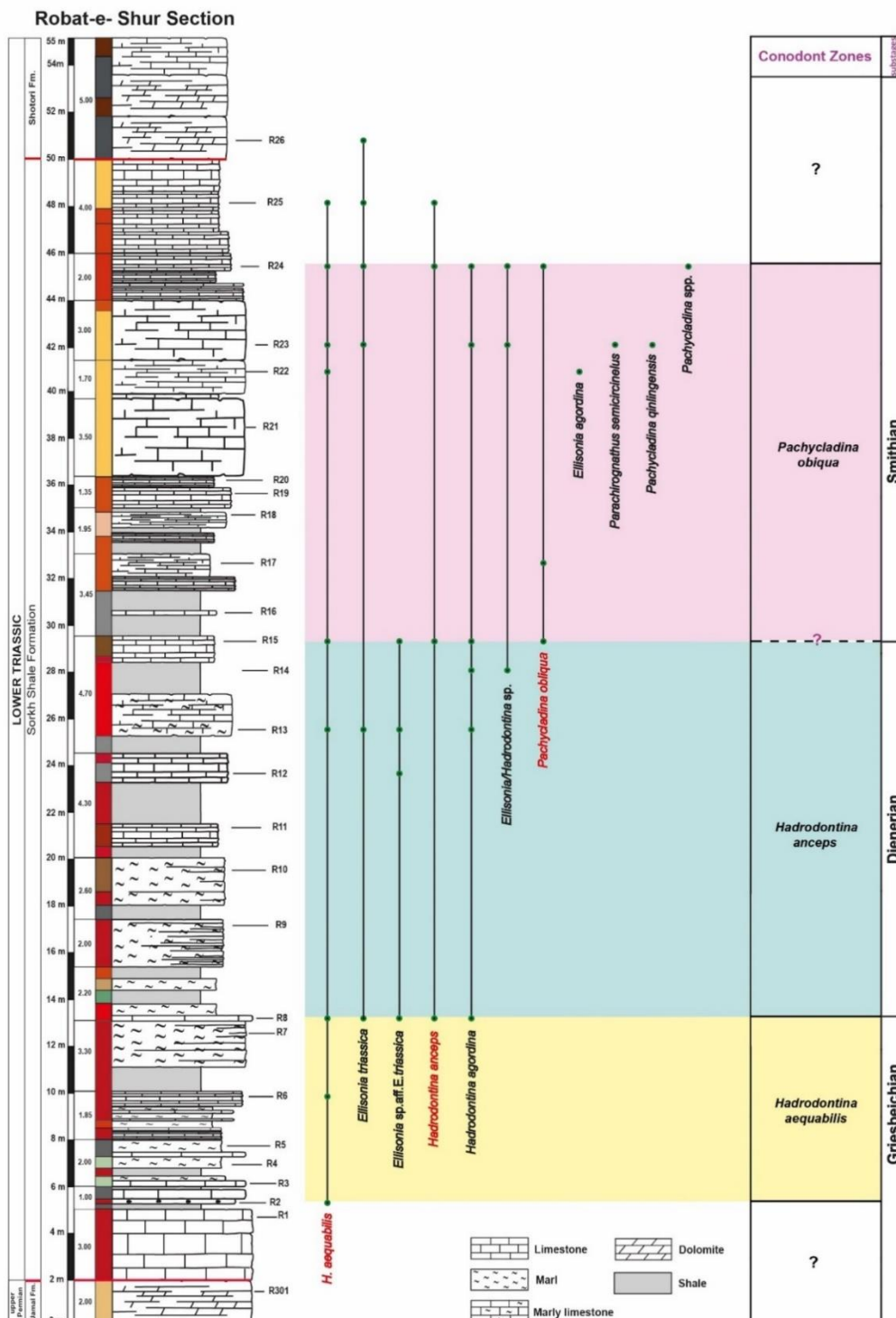
<sup>۷</sup>- South Primorye

<sup>۸</sup>- Perri and Andraghetti

<sup>۹</sup>- Lukac

<sup>۱۰</sup>- Dinaride

*isarcica* هستند [برای مثال: ۴۷، ۳۰، ۴۴، ۴۶، ۹۷] که همگی بیانگر زیراشکوب گریسباخین بوده و از بایوزون‌های کنودنتی جوان‌تر تریاس در ایران اطلاعاتی در دست نیست. یافته‌های موجود در این پژوهش، کنودنت‌هایی را معرفی می‌کند که بایوزون‌های شاخص تا زیراشکوب اسمیتین را دربرمی‌گیرد و از این حیث اطلاعات سنی جدیدی را از تکامل چینه‌شناسی تریاس زیرین ایران در اختیار قرار می‌دهد.



شکل ۶: ستون چینه‌شناسی، گستره حضور کنودنت‌های شناسایی شده و بایوزون‌های کنودنتی تعریف شده در سازند سرخ شیل

Series	Stage	Substage	Jadar Block, Serbia	Jiarong, China	Southern Alps, Italy	Southern Primorye East Russia	Dinarides, Slovenia	Robat Shur, Iran	
			Sudar et al., 2014	Chen et al., 2015a	Farabegoli & Perri, 1998	Bondarenko et al., 2015	Kolar-Jurkovišek & Jurkovišek, 2015	This paper	
Lower Triassic	Olenekian	Spathian	?	<i>Icriospathodus collinsoni</i>	?	?	<i>Triassospathodus symmetricus</i>	?	
				<i>Novispathodus pingdingshanensis</i>		?	<i>Triassospathodus hungaricus</i>		
		Smithian	<i>Neospathodus planus</i>	<i>Par. peculiaris - Pachycladina obliqua</i>	<i>Pachycladina obliqua</i>	<i>Furnishius triserratus, Ellisionia triassica</i>	<i>Platyvillosus regularis</i>		<i>Foliella gardenae</i>
				<i>Discretella discreta</i>					
			<i>Novispathodus waageni waageni</i>	<i>Neospathodus robustus</i>			<i>Pachy. obliqua</i>		
			<i>Novispathodus waageni eowaageni</i>						<i>Neospathodus planus</i>
	<i>Pachycladina obliqua - Foliella gardenae</i>	<i>Eurygnathodus costatus</i>							
	Induan	Dienerian	?	<i>Ns. cristagalli</i> <i>Euygnathodus costatus</i>	<i>Hadrodontina anceps</i>	?	<i>Hadrodontina anceps</i>	<i>Hadrodontina anceps</i>	
				?					
		Griesbachian	<i>Neoclarkina discreta</i>	<i>Clarkina planata</i>	<i>Hadrodontina aequabilis</i>	?	<i>Hindeodus postparvus</i>	<i>Hadrodontina aequabilis</i>	<i>Hadrodontina aequabilis</i>
			<i>Hindeodus sosioensis</i>	<i>Isarcicella steaschei</i>	<i>Isarcicella steaschei-Isarcicella isarcica</i>				
<i>Hindeodus parvus</i>			<i>Hindeodus parvus</i>	<i>Isarcicella lobata</i>					
	<i>Hindeodus parvus</i>		<i>Hindeodus parvus</i>				?		

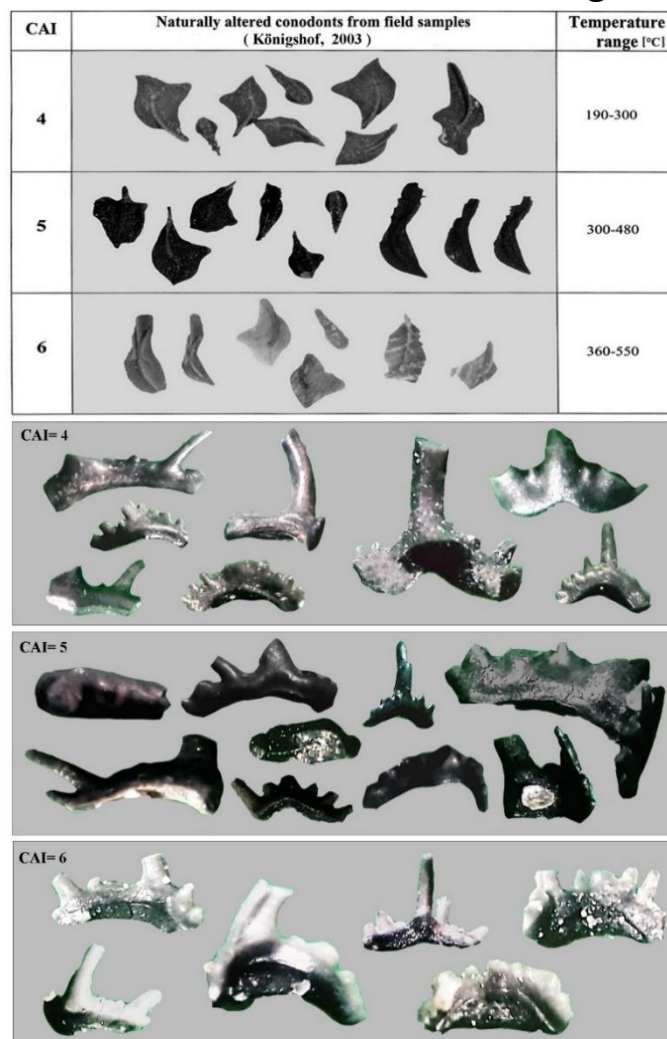
شکل ۷: مقایسه بایوزون‌های کنودوتی شناسایی شده در این پژوهش با نمونه‌های مشابه در نواحی خاوری و باختری تیس

## ۵- شاخص تغییر رنگ کنودونت‌ها در سازند سرخ‌شیل

یکی از ویژگی‌های قابل توجه در عناصر اسکلتی کنودونت‌ها، تغییر رنگ آنها با افزایش دمای دیاژنتیکی اعمال شده بر سنگ دربرگیرنده است [۲۴]. عناصر اسکلتی که حرارت زیادی را تحمل نکرده‌اند، به رنگ زرد روشن یا کهربایی دیده می‌شوند. به تدریج، با افزایش ژرفای دفن و در نتیجه افزایش فشار و حرارت، رنگ این میکروفسیل‌ها به علت فرآیند کربنی شدن به تیرگی می‌گراید [۵۴] و ابتدا به رنگ زرد و نارنجی سپس قهوه‌ای، خاکستری و سیاه تبدیل می‌شود. به باور اپستین و همکاران<sup>۱۱</sup> [۲۴]، پنج محدوده رنگی در فرآیند تغییر رنگ قابل تشخیص است که از ۱ تا ۵ شماره‌گذاری شده و ضریب تغییر رنگ (CAI) خوانده می‌شود. بعدها رجیبیان و همکاران<sup>۱۲</sup> [۷۰] و کونینگسهوف و همکاران<sup>۱۳</sup> [۴۹] این ضریب را توسعه داده و محدوده‌های رنگی ۶ تا ۸ را به آن اضافه نموده‌اند. این محدوده‌های رنگی که معرف دماهای بین ۵۰ تا

<sup>۱۱</sup>- Epstein et al.<sup>۱۲</sup>- Rejebian et al.<sup>۱۳</sup>- Königshof et al.

۶۰۰ درجه سانتی‌گراد هستند، همگی در شرایط دگرگونی درجه پایین قرار دارند و اطلاعات حاصل از آنها می‌تواند به عنوان ابزاری برای بررسی پتانسیل هیدروکربورزایی، تعیین میزان بلوغ حرارتی در لایه‌های سطحی و زیرسطحی کنودونت‌دار و تعیین زون‌های بالغ، نیمه بالغ و نابالغ در سازندهای تشکیل شده در بازه زمانی کنودونتوزوئیک<sup>۱۴</sup> [۲۸] مورد استفاده قرار گیرد [۵۹]. همچنین، این استانداردهای رنگی و دمای به دست آمده از آن قابل مقایسه با بلوغ ماده آلی و رخساره‌های آلی دانسته شده‌اند [۵۰ و ۵۸] و به کمک آن، نمودار مقایسه‌ای استاندارد برای آن تنظیم شده است [۵۵]. در نوشتار حاضر نیز مجموعه کنودونت‌های یافت شده از سازند سرخ‌شیل از دیدگاه ضریب تغییر رنگ و بر اساس الگوی ارائه شده توسط کونیگسهوف و همکاران [۴۹] بررسی شده و تخمینی از درجه حرارت دیاژنتیکی رسوبات در برش مورد مطالعه پس از ته‌نشست برای آنها ارائه شده است. بر این اساس، عناصر کنودونتی در بازه زمانی گریسباخین پسین دارای رنگ سیاه و شاخص  $CAI=5$  (دمای ۳۰۰ تا ۳۶۰ درجه سانتی‌گراد) و در بازه زمانی اسمیتین به رنگ خاکستری تیره بوده و شاخص  $CAI=4$  (۱۹۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد) را نشان می‌دهند. با افزایش بیشتر دما (تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد)، تمام ماده آلی موجود در عناصر کنودونتی تجزیه شده و از بافت آنها خارج می‌شود که در این حالت رنگ کنودونت‌ها سفید شفاف و  $CAI=6-8$  است. این دسته از عناصر کنودونتی در توالی سازند سرخ‌شیل در بازه زمانی دینرین حضور دارند (شکل ۸). با این توضیح سازند سرخ‌شیل در منطقه مورد مطالعه از توان تولید هیدروکربور برخوردار نیست.



شکل ۸: تعیین رنگ عناصر کنودونتی در برش رباط شور و مقایسه آنها با شاخص تغییر رنگ در نوشته کونیگسهوف و همکاران [۴۹]

<sup>۱۴</sup>- Conodontozoic

## ۶- نتیجه‌گیری

مطالعه کنودونت‌های به دست آمده از سازند سرخ‌شیل در برش چینه‌شناسی رباط شور در باختر شهر طبس به شناسایی ۹ گونه متعلق به ۴ جنس از کنودونت‌ها منجر شده است. بر این اساس، تعداد ۳ بایوزون کنودونتی مختلف که مؤید سن گریسباخین پسین — اسمیتین میانی هستند، در ۴۸ متر ستبرای سازند سرخ‌شیل معرفی شده‌اند. بایوزون اول متعلق به زمان گریسباخین پسین، بایوزون دوم متعلق به دینرین و بایوزون سوم نیز متعلق به اسمیتین میانی هستند و لذا امکان تفکیک مرز زیراشکوب‌های گریسباخین — دینرین را فراهم می‌کنند. با توجه به نبود هیچ گونه کنودونتی در لایه‌های متعلق به بخش پایانی سازند جمال و ردیف‌های آغازین سازند سرخ‌شیل، بایوزون‌های کنودونتی پایان‌بخش پرمین یا آغازگر تریاس در برش رباط شور مشاهده نشده‌اند و لذا گذر پرمین به تریاس در این محل بر مبنای داده‌های در دسترس، ناپیوسته دانسته شده است. بایوزون‌های معرفی شده بر اساس مجموعه‌های کنودونتی تریاس پیشین برش رباط شور، شباهت زیادی را با بایوزون‌های گزارش شده از برش‌های چینه‌شناسی متعدد در اسلوونی و ایتالیا متعلق به نواحی کم ژرفای حاشیه باختری تیس نشان می‌دهند و لذا امکان برقراری تطابق خوبی با نواحی یاد شده در اروپای جنوبی و مرکزی را فراهم می‌کنند. در این مطالعه، کنودونت‌های به دست آمده از سازند سرخ‌شیل از دیدگاه شاخص تغییر رنگ جهت ارزیابی توان تولید هیدروکربور نیز بررسی شده و تخمینی از درجه حرارت دیاژنتیکی رسوبات در برش مورد مطالعه ارائه شد. بر این اساس، کنودونت‌های سازند سرخ‌شیل در زمان گریسباخین پسین بیانگر شاخص  $CAI=5$ ، در اسمیتین بیانگر شاخص  $CAI=4$  و در دینرین بیانگر  $CAI=6-8$  می‌باشد که در محدوده عقیم برای تولید هیدروکربور قرار می‌گیرند و لذا سازند سرخ‌شیل در منطقه مورد مطالعه از توان تولید هیدروکربور برخوردار نیست.

## سپاس و قدردانی

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی شماره ۳/۵۰۲۸۲ دانشگاه فردوسی مشهد است. نگارندگان بدین وسیله از زحمات ارزشمند معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد برای حمایت‌های همه‌جانبه از این پژوهش سپاس‌گزاری می‌نمایند. همچنین از داوران مقاله آقای دکتر علی بهرامی (دانشیار دانشگاه اصفهان) و خانم دکتر الهه ستاری (مدیر اجرایی مجله زمین شناسی نفت ایران) تشکر و قدردانی می‌گردد.

## منابع

- [۱] آقائباتی، س.ع.، ۱۳۹۳. زمین‌شناسی ایران: سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۴۰ صفحه.
- [۲] پرتوآذر، م. ر.، ۱۳۸۹. بررسی مرز پرمین - تریاس در برش اسفه شمال خاور شهرضا (ایران مرکزی)، فصلنامه علوم زمین، سال نوزدهم، شماره ۷۵، صفحه ۱۳-۱۸.
- [۳] شیخ‌الاسلامی، م.ر. و زمانی، م.، ۱۳۷۸، نقشه زمین‌شناسی حلوان: سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۷۲۵۷، مقیاس ۱:۱۰۰/۰۰۰.
- [۴] قماش، م. و لاسمی، ی.، ۱۳۸۳، محیط‌های رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی سازند سرخ‌شیل (تریاس زیرین) در بلوک طبس، نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم، جلد چهارم، شماره ۲، صفحه ۳۶۹-۳۸۶.
- [۵] یحیی شیبانی، و.، صباغ بجنستانی، م. و خانه‌باد، م.، ۱۳۹۶، چینه‌سنگی و محیط رسوبی سازند سرخ‌شیل در بلوک طبس، شرق ایران مرکزی: سومین همایش انجمن رسوب‌شناسی ایران، شماره سوم، صفحه ۶۲۵-۶۴۲.

- [۶] ALGEO, T.J., ۲۰۱۱, The Early Triassic cesspool: marine conditions following the end-Permian mass extinction. In: HAKANSSON, E., TROTTER, J. (Eds.), Program and Abstracts, the XVII International Congress on the Carboniferous and Permian: *Geological Survey of Western Australia*, ۳۵ (۴), ۶-۳۸.
- [۷] ALGEO, T.J., and TWITCHETT, R.J., ۲۰۱۰, Anomalous Early Triassic sediment fluxes due to elevated weathering rates and their biological consequences: *Geology*, ۳۸, ۱۰۲۳-۱۰۲۶.
- [۸] ALGEO, T.J., CHEN, Z.Q., FRAISER, M.L., and TWITCHETT, R.J., ۲۰۱۱, Terrestrial-marine teleconnections in the collapse and rebuilding of Early Triassic marine ecosystems: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, ۳۰۸ (۱-۲), ۱-۱۱.
- [۹] ALGEO, T.J., HENDERSON, C.M., TONG, J., FENG, Q., YIN, H., and TYSON, R.V., ۲۰۱۳, Plankton and productivity during the Permian-Triassic boundary crisis: an analysis of organic carbon fluxes: *Global and Planetary Change*, ۱۰۵, ۵۲-۶۷.
- [۱۰] ALJINOVIĆ, D., KOLAR-JURKOVŠEK, T., and JURKOVŠEK, B., ۲۰۰۶, The Lower Triassic shallow marine succession in Gorski Kotar region (External Dinarides, Croatia): Lithofacies and conodont dating: *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, ۱۱۲ (۱), ۳۵-۵۳.
- [۱۱] ALJINOVIĆ, D., KOLAR-JURKOVŠEK, T., JURKOVŠEK, B., and HRVATOVIĆ, H., ۲۰۱۱, Conodont dating of the Lower Triassic sedimentary rocks in the external Dinarides (Croatia and Bosnia and Herzegovina): *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, ۱۱۷ (۱), ۱۳۵-۱۴۸.
- [۱۲] BAUD, A., RICHOSZ, S., and PRUSS, S.B., ۲۰۰۷, The Lower Triassic anachronistic carbonate facies in space and time: *Global and Planetary Change*, ۵۵, ۸۱-۸۹.
- [۱۳] BEYERS, J.M., and ORCHARD, M.J., ۱۹۹۱, Upper Permian and Triassic conodont faunas from the type area of Cache Creek complex, south-central British Columbia, Canada: *Geological Survey of Canada Bulletin*, ۴۱۷, ۲۶۹-۲۹۷.
- [۱۴] BONDARENKO, L.G., ZAKHAROV, Yu.D., GURAVSKAYA, G.I., and SAFRONOV, P.P., ۲۰۱۵, Lower Triassic zonation of southern Primorye: Article ۲. First conodont findings in *Churkites* cf. *syaskoi* Beds at the western coast of the Ussuri Gulf: *Russian Journal of Pacific Geology*, ۹ (۳), ۲۰۳-۲۱۴.
- [۱۵] BRAYARD, A., ESCARGUEL, G., BUCHER, H., MONNET, C., BRÜHWILER, T., GOUEMAND, N., GALFETTI, T., and GUEX, J., ۲۰۰۹, Good genes and good luck: Ammonoid diversity and the end-Permian mass extinction: *Science*, ۳۲۵, ۱۱۱۸-۱۱۲۱.
- [۱۶] BRAYARD, A., VENNIN, E., OLIVIER, N., BYLUND, K.G., JENKS, J., STEPHEN, D.A., BUCHER, H., HOFMANN, R., GOUEMAND, N., and ESCARGUEL, G., ۲۰۱۱, Transient metazoan reefs in the aftermath of the end-Permian mass extinction: *Nature Geoscience*, ۴, ۶۹۳-۶۹۷.
- [۱۷] BRONNIMANN, L., ZANINETTI, A., and MOSHTAGHIAN, A., HUBER, H., ۱۹۷۳, Foraminifera from the Sorkh Shale Formation of the Tabas area, east-central Iran. Riv: *Italian Paleontologists*, ۷۹ (۱): ۱-۳۲.
- [۱۸] BUDUROV, K., and PANTIĆ, S., ۱۹۷۳, Conodonten aus den Campiler Schichten von Brassina (Westserbien): II. Systematischer Teil, *Bulletin of the Geological Institute-Series Paleontology*, ۲۲, ۴۹-۶۴.
- [۱۹] CHEN, Y.L., KOLAR-JURKOVŠEK, T., JURKOVŠEK, B., ALJINOVIĆ, D., and RICHOSZ, S., ۲۰۱۶, Early Triassic conodonts and carbonate carbon isotope record of the Idrija-Žiri area, Slovenia: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, ۴۴۴, ۸۴-۱۰۰.
- [۲۰] CHEN, Z.Q., and BENTON, M.J., ۲۰۱۲, The timing and pattern of biotic recovery following the end-Permian mass extinction: *Nature Geoscience*, ۵, ۳۷۵-۳۸۳.
- [۲۱] CLARK, D.L., ۱۹۷۲, Early Permian crisis and its bearing on Permo-Triassic conodont taxonomy: *Geologica et Palaeontologica*, Sp., ۱, ۱۴۷-۱۵۸.
- [۲۲] CLARKSON, M.O., WOOD, R.A., POULTON, S.W., RICHOSZ, S., NEWTON, R.J., KASEMANN, S.A., BOWYER, F., and KRYSSTYN, L., ۲۰۱۶, Dynamic anoxic ferruginous



- conditions during the end Permian mass extinction and recovery: *Nature Communication*, ۷, ۱۲۲۳۶, ۱-۹.
- [۲۳] DOZET, S., and KOLAR-JURKOVŠEK, T., ۲۰۰۷, Spodnjetriasne plasti na južnovzhodnem obrobju Ljubljanske kotline, osrednja Slovenija = Lower Triassic beds in the southern borderland of the Ljubljana depression, central Slovenia: *Materiali in Geokolje*, ۵۴ (۳), ۳۶۱-۳۸۶.
- [۲۴] EPSTEIN, A.G., EPSTEIN, J.B., and HARRIS, L.D., ۱۹۷۷, Conodont color alteration; an index to organic metamorphism: *United States Geological Survey Professional Paper*, ۹۹۵, ۱-۲۷.
- [۲۵] ERWIN, D.H., BOWRING, S.A., and JIN, Y.G., ۲۰۰۲, End-Permian mass extinctions: a review: *Geological Society of America Special Papers*, ۳۵۶, ۳۶۳-۳۸۳.
- [۲۶] FARABEGOLI, E., and PERRI, M.C., ۱۹۹۸, Permian-Triassic boundary and Early Triassic of the Bulla section (Southern Alps, Italy): lithostratigraphy, facies and conodont biostratigraphy. In: PERRI, M.C., and Spalletta, C., (Eds.): Southern Alps Field Trip Guidebook, ECOS VII., *Giornale di Geologia, Special Issue*, ۶۰, ۲۹۲-۳۱۰.
- [۲۷] FARABEGOLI, E., and PERRI, M.C., ۲۰۱۲, Millennial Physical Events and the End-Permian Mass Mortality in the Western Palaeothethys: Timing and Primary Causes: In: TALENT, J.A. (Eds.), Part of the book Earth and Life: International Year of Planet Earth (IYPE), *Environmental Science, Geography*, ۷۱۹-۷۵۸.
- [۲۸] FERRETTI, A., BANCROFT, A.M., REPETSKI, J.R., ۲۰۲۰, GECKO: Global Events impacting Conodont evolution: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, ۵۴۹, ۱۰۹۶۷۷, ۱-۸.
- [۲۹] GANSSER, A., ۱۹۵۵, New aspects of geology in Central Iran, Proceedings of the fourth world petroleum congress, Rome, Section I/A/۵, *Geology*, ۲۷۹-۳۰۰.
- [۳۰] GHADERI, A., GARBELLI, C. ANGIOLINI, L. ASHOURI, A.R. KORN, D. RETTORI, R. and MAHMUDY GHARAIE, M.H., ۲۰۱۴a. Faunal changes near the End Permian Extinction: the brachiopods of the Ali Bashi Mountains, NW Iran: *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, ۱۲۰ (۱), ۲۷-۵۹.
- [۳۱] GHADERI, A., LEDA, L., SCHOBEN, M., KORN, D., and ASHOURI, A.R., ۲۰۱۴b. High-resolution stratigraphy of the Changhsingian (Late Permian) successions of NW Iran and the Transcaucasus based on lithological features, conodonts and ammonoids: *Fossil Record*, ۱۷, ۴۱-۵۷.
- [۳۲] GLAUS, M., ۱۹۶۴, Trias und Oberperm in Zentralen Elburs (Persien): *Eclogae Geologicae Helveticae*, ۵۷, ۴۹۷-۵۰۸.
- [۳۳] GOUEMAND, N., ۲۰۱۴. Note on the Conodonts from the Induan/Olenekian Boundary: *Albertiana*, ۴۲, ۴۹-۵۱.
- [۳۴] HORACEK, M., RICHOSZ, S., BRANDNER, R., KRYSSTYN, L., and SPOTL, C., ۲۰۰۷, Evidence for recurrent changes in Lower Triassic oceanic circulation of the Tethys: The  $\delta^{13}C$  record from marine sections in Iran: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, ۲۵۲, ۳۵۵-۳۶۹.
- [۳۵] IGO, H., ۱۹۹۶, Silurian to Triassic conodont biostratigraphy in Japan, *Acta Micropalaeontology Since*, ۱۳ (۲), ۱۴۳-۱۶۰.
- [۳۶] JELASKA, V., KOLAR-JURKOVŠEK, T., JURKOVŠEK, B. and GUŠIĆ, L. ۲۰۰۳, Triassic beds in the basement of the Adriatic-Dinaric carbonate platform of Mt. Svilaja (Croatia) = Triasne plasti v podlagi Jadransko-dinarske karbonatne platforme na planini Svilaja (Hrvaška). *Geologija*, ۴۶ (۲), ۲۲۵-۲۳۰.
- [۳۷] JURKOVŠEK, B., OGORELEC, B., and KOLAR-JURKOVŠEK, T., ۱۹۹۹, Lower Triassic beds from Tehovec = Polhov Gradec Hills, Slovenia. *Geologija*, ۴۱, ۲۹-۴۰.
- [۳۸] KOLAR-JURKOVŠEK, T., CHEN, Y. L., JURKOVŠEK, B., POLJAK, M., ALJINOVIĆ, M., and RICHOSZ, S., ۲۰۱۷, Conodont Biostratigraphy of the Early Triassic in Eastern Slovenia: *Palaeontological Journal*, ۵۱, ۶۸۷-۷۰۳.

- [۳۹] KOLAR-JURKOVŠEK, T., JURKOVŠEK, B., VUKS, V.J., HRVATOVIĆ, H., Aljinović, D., ŠARIĆ, Č., and SKOPLJAK, F., ۲۰۱۴, The Lower Triassic platy limestone in the Jajce area (Bosnia and Herzegovina), *Geologija*, ۵۷ (۲), ۱۰۵-۱۱۸.
- [۴۰] KOLAR-JURKOVŠEK, T., and JURKOVŠEK, B., ۱۹۹۵, Lower Triassic conodont fauna from Tržič (Karavanke Mts. Slovenia): *Eclogae Geologicae Helvetiae*, ۸۸ (۳), ۷۸۹-۸۰۱.
- [۴۱] KOLAR-JURKOVŠEK, T., and JURKOVŠEK, B., ۱۹۹۶, Contribution to the knowledge of the Lower Triassic conodont fauna in Slovenia: *Razprave 4. Razreda Sazu*, ۳۷ (۱), ۳-۲۱.
- [۴۲] KOLAR-JURKOVŠEK, T., and JURKOVŠEK, B., ۲۰۱۵, Conodont zonation of Lower Triassic strata in Slovenia, *Geologija*, ۵۸ (۲), ۱۵۵-۱۷۴.
- [۴۳] KOLAR-JURKOVŠEK, T., and JURKOVŠEK, B., and ALJINOVIĆ, D., ۲۰۱۱, Conodont biostratigraphy and lithostratigraphy across the Permian-Triassic boundary at the Lukač section in western Slovenia: *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, ۱۱۷ (۱), ۱۱۵-۱۳۳.
- [۴۴] KORN, D., LEDA, L., HEUER, F., MORADI SALIMI, H., FARSHID, E., AKBARI, A., SCHOBEN, M., GHADERI, A., STRUCK, U., GLIWA, J., WARE, D., and HAIRAPETIAN, V., ۲۰۲۱, Baghuk Mountain (Central Iran): high-resolution stratigraphy of a continuous Central Tethyan Permian-Triassic boundary section: *Fossil Record*, ۲۴, ۱۷۱-۱۹۲.
- [۴۵] KOZUR, H., ۲۰۰۳, Integrated ammonoid, conodont and radiolarian zonation of the Triassic and some remarks to stage/substage subdivision and the numeric age of the Triassic stages: *Albertiana*, ۲۸, ۵۷-۷۴.
- [۴۶] KOZUR, H.W., ۲۰۰۵, Pelagic uppermost Permian and the Permian-Triassic boundary conodonts of Iran, Part II: Investigated sections and evaluation of the conodont faunas: *Hallesches Jahrbuch Fur Geowissenschaften, Reihe B: Geologie, Palaontologie, Mineralogie*, ۱۹, ۴۹-۸۶.
- [۴۷] KOZUR, H.W., ۲۰۰۷, Biostratigraphy and event stratigraphy in Iran around the Permian-Triassic boundary (PTB); implications for the causes of the PTB biotic crisis; Environmental and biotic changes during the Paleozoic- Mesozoic transition: *Global and Planetary Change*, ۵۵, ۱۵۵-۱۷۶.
- [۴۸] KOZUR, H., and MOSTLER, H., ۱۹۷۰, Neue Conodonten aus der Trias: *Berichte Naturwissenschaftlichen-medizinischen Verin Innsbruck*, ۵۸, ۴۲۹-۴۶۴.
- [۴۹] KÖNIGSHOF, P., ۲۰۰۳, Conodont deformation patterns and textural alteration in Paleozoic conodonts: examples from Germany and France: *Senckenbergian althae*, ۸۳, ۱۴۹-۱۵۶.
- [۵۰] LAI, X.L., ۱۹۹۲, Conodont, in YIN, H.F., YANG, F.Q., HUANG, Q.S., YANG, H.S., and LAI, X.L., (Eds.), Triassic in Qinling and Adjacent Areas: *China University of Geosciences Press*, Wuhan, ۶۶-۶۸. [in Chinese]
- [۵۱] LEGALL, F.D., BARNES, C.R., and MCQUEEN, R.W., ۱۹۸۲, Thermal maturation, burial history and hotspot development, Paleozoic strata of Southern Ontario-Quebec, from conodont and acritarch colour alternation studies: *Bulletin Canadian Petroleum Geology*, ۲۹, ۴۹۲-۵۳۹.
- [۵۲] LEVEN, E.YA., and GORGIJ, M.N., ۲۰۰۹, Section of Permian Deposits and Fusulinids in the Halvan Mountains, Yazd Province, Central Iran: *Stratigraphy and Geological Correlation*, ۱۷ (۲), ۱۵۵-۱۷۲.
- [۵۳] LI, H., JIANG, H., CHEN, Y., WIGNALL, P. B., WU, B., ZHANG, Z., ZHANG, M., OUYANG, Z., and LAI, X. ۲۰۱۹, Smithian platform-bearing gondolellid conodonts from Yiwagou Section, northwestern China and implications for their geographic distribution in the Early Triassic: *Journal of Paleontology*, ۹۳ (۳), ۴۹۶-۵۱۱.
- [۵۴] LINDSTROM, M., ۱۹۶۴, Conodonts. *Elsevier Publishing Company*, Amsterdam, London and New York, ۵۸s, ۱-۱۹۶.
- [۵۵] METCALF, I., and RILEY, N.J. ۲۰۱۰, Conodont Colour Alteration pattern in the Carboniferous of the Craven Basin and adjacent areas, northern England: *Proceedings of The Yorkshire Geological Society*, ۵۸, ۱-۸.

- [۵۶] METCALF, I., NICOLL, R.S., WILLINK, R., LADJAVADI, M., and GRICE, K., ۲۰۱۳, Early Triassic (Induan–Olenekian) conodont biostratigraphy, global anoxia, carbon isotope excursions and environmental perturbations: new data from Western Australian Gondwana: *Gondwana Research*, ۲۳, ۱۱۳۶–۱۱۵۰.
- [۵۷] MEYER, K.M., YU, M., JOST, A.B., KELLEY, B.M., and PAYNE, J.L., ۲۰۱۱,  $\delta^{13}\text{C}$  evidence that high primary productivity delayed recovery from end-Permian mass extinction: *Earth and Planetary Science Letters*, ۳۰۲ (۳–۴), ۳۷۸–۳۸۴.
- [۵۸] MÜLLER, K.J., ۱۹۵۶, Triassic conodonts from Nevada: *Journal of Paleontology*, ۳۰, ۸۱۸–۸۳۰.
- [۵۹] NICOLL, R.S., and CORTER, J.D., ۱۹۸۴, Conodont colour alternation, Thermal maturation and geothermal history of the Canning Basin, Western Australia: *Australian Petroleum Exploration Association*, ۲۴, ۲۴۳–۲۵۸.
- [۶۰] NOWLAN, G.S., and BARNES, C.R., ۱۹۸۷, Thermal maturation of Paleozoic strata in eastern Canada from conodont colour alteration index (CAI) data with implication for burial history, tectonic evolution, hotspot tracks and mineral and hydrocarbon exploration: *Geological Survey of Canada Bulletin*, ۳۶۷, ۱–۴۷.
- [۶۱] ORCHARD, M.J., ۲۰۰۵, Multielement conodont apparatuses of Triassic Gondolelloidea: *Special Papers in Palaeontology*, ۷۳, ۷۳–۱۰۱.
- [۶۲] ORCHARD, M.J., ۲۰۰۷, Conodont diversity and evolution through the latest Permian and Early Triassic upheavals: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, ۲۵۲, ۹۳–۱۱۷.
- [۶۳] ORCHARD, M.J., ۲۰۱۰, Triassic conodonts and their role in stage boundary definition. In: Lucas, S.G. (Ed.), The Triassic Timescale. Geological Society, London, *Special Publications* ۳۳۴, ۱۳۹–۱۶۱.
- [۶۴] PAYNE, J.L., and KUMP, L.R., ۲۰۰۷, Evidence for recurrent Early Triassic massive volcanism from quantitative interpretation of carbon isotope fluctuations: *Earth and Planetary Science Letters*, ۲۵۶ (۱–۲), ۲۶۴–۲۷۷.
- [۶۵] PAYNE, J.L., LEHRMANN, D.J., WIE, J.Y., ORCHARD, M.J., SCHRAGE, D.P., and KNOLL A.H., ۲۰۰۴, Large perturbations of the carbon cycle during recovery from the end-Permian extinction: *Science*, ۳۰۵, ۵۰۶–۵۰۹.
- [۶۶] PERRI, M.C., ۱۹۹۱, Conodont biostratigraphy of the Werfen Formation (Lower Triassic), Southern Alps, Italy: *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, ۳۰ (۱), ۲۳–۴۶.
- [۶۷] PERRI, M.C., and ANDRAGHETTI, M., ۱۹۸۷, Permian–Triassic and Early Triassic conodonts from the Southern Alps, Italy: *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, ۹۳: ۲۹۱–۳۲۸.
- [۶۸] POWELL, J.H., NICORA, A., PERRI, M.C., RETTORI, R., POSENATO, R., STEPHENSON, M.H., MASRI, A., BORLENGHI, L.M. and GENNARI, V., ۲۰۱۹, Lower Triassic (Induan to Olenekian) conodonts, foraminifera and bivalves from the Al Mamalih area, Dead Sea, Jordan: constraints on the P-T boundary: *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, ۱۲۵ (۱), ۱۴۷–۱۸۱.
- [۶۹] POWELL, J.H., STEPHENSON, M.H., NICORA, A., RETTORI, R., BORLENGHI, L.M. and PERRI, M.C., ۲۰۱۶, The Permian–Triassic boundary, Dead Sea, Jordan: transitional alluvial to marine depositional sequences and biostratigraphy: *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, ۱۲۲ (۳), ۲۳–۴۰.
- [۷۰] REJEBIAN, V. A., HARRIS, A. G., and HUEBNER, J. S. ۱۹۸۷, Conodont color and textural alteration: an index to regional metamorphism, contact metamorphism and hydrothermal alteration: *Geological Society of America Bulletin*, ۹۹, ۴۷۱–۴۷۹.
- [۷۱] RICHOZ, S., KRYSZYN, L., BAUD, A., BRANDNER, R., HORACEK, M., and MOHTAT-AGHAI, P., ۲۰۱۰, Permian–Triassic boundary interval in the Middle East (Iran and N. Oman): Progressive environmental change from detailed carbonate carbon isotope marine curve and sedimentary evolution: *Journal of Asian Earth Science*, ۳۹ (۴), ۲۳۶–۲۵۳.

- [۷۲] RUBAN, D.A., AL-HUSSEINI, M.I., and IWASAKI, Y., ۲۰۰۷. Review of Middle East Paleozoic plate tectonics: *GeoArabia*, ۱۲: ۳۵-۵۶.
- [۷۳] SAMANKASSUO, E., ۱۹۹۵, Early Triassic (Scythian) conodonts from the Werfen Formation, Southern Alps, Italy: *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, ۴, ۲۴۸-۲۵۶.
- [۷۴] SCHOBEN, M., STEBBINS, A., GHADERI, A., STRAUSS, U., KORN, D., and KORTE, CH., ۲۰۱۶, Eutrophication, microbial-sulfate reduction and mass extinctions: *Communicative and Integrative Biology*, ۹ (۱), ۱-۹.
- [۷۵] SEPTON, M.A., LOOY, C.V., BRINKHUIS, H., WIGNALL, P.B., DE LEEUW, J.W., and VISSCHER, H., ۲۰۰۵, Catastrophic soil erosion during the end-Permian biotic crisis: *Geology*, ۳۳ (۱۲), ۹۴۱-۹۴۴.
- [۷۶] SEYED-EMAMI, K., ۲۰۰۳, Triassic in Iran: *Facies*, ۴۸, ۹۱-۱۰۶.
- [۷۷] SOLIEN, M.A., ۱۹۷۹, Conodont biostratigraphy of the Lower Triassic Thaynes Formation, Utah: *Journal of Paleontology*, ۵۳ (۲), ۲۷۶-۳۰۶.
- [۷۸] STAESCHE, U., ۱۹۶۴, Conodonten aus dem Skyth von Sudtirol: *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie* (Abh.), ۱۱۹, ۲۴۷-۳۰۶.
- [۷۹] STANLEY, S.M., ۲۰۰۹, Evidence from ammonoids and conodonts for multiple Early Triassic mass extinctions: *Proceedings of the National Academy of Sciences* (PNAS), ۱۰۶ (۳۶), ۱۵۲۶۴-۱۵۲۶۷.
- [۸۰] STANLEY S.M., ۲۰۱۶, Estimates of the magnitudes of major marine mass extinctions in earth history: *Proceedings of the National Academy of Sciences* (PNAS), ۱۱۳ (۴۲), E۶۳۲۵-E۶۳۳۴.
- [۸۱] STÖCKLIN, J., EFTEKHAR NAZHAD, J., and HUSHMAND ZADEH, A., ۱۹۶۵, Geology of the Shotori Range, Tabas area, East Iran: *Geological Survey of Iran*, ۳, ۱-۶۹.
- [۸۲] SUDAR, M.N., ۱۹۸۶, Triassic microfossils and biostratigraphy of the Inner Dinarides between Gučevo and Ljubišnja Mts., Yugoslavia: *Geološki anali Balkanskog poluostrva*, ۵۰, ۱۵۱-۳۹۴ (in Serbian, English summary).
- [۸۳] SUDAR, M.N., CHEN, Y.L., KOLAR-JURKOVŠEK, T., JURKOVŠEK, B., JOVANOVIĆ, D., and FOREL, M.B., ۲۰۱۴, Lower Triassic (Olenekian) microfauna from Jadar Block (Gučevo Mt., NW Serbia): *Annales Géologiques de la Péninsule Balkanique*, ۷۵, ۱-۱۵.
- [۸۴] SUN, Y.D., JOACHIMSKI, M.M., WIGNALL, P.B., YAN, C.B., CHEN, Y.L., JIANG, H.S., WANG, L.N., and LAI, X.L., ۲۰۱۲, Lethally hot temperatures during the Early Triassic greenhouse: *Science*, ۳۳۸, ۳۶۶-۳۷۰.
- [۸۵] SWEET, W.C., ۱۹۷۰, Uppermost Permian and Lower Triassic conodonts of the Salt Range and Trans-Indus ranges, West Pakistan. In: Kummel B., Teichert C. (Eds.), Stratigraphic Boundary Problems: Permian and Triassic of West Pakistan. Department of Geology, University of Kansas, *Special Publication*, ۴, ۲۰۷-۲۷۵.
- [۸۶] SWEET, W.C., ۱۹۸۸, A quantitative conodont biostratigraphy for the Lower Triassic: *Senckenbergiana lethaeo*, ۶۹, ۲۵۳-۲۷۳.
- [۸۷] SWEET, W.C., MOSHER, L.C., CLARK, D.L., COHINSON, J.W., and HASENMULLER, W.A., ۱۹۷۱, Conodont Biostratigraphy of the Triassic: In: Sweet, W.C., Bergström, S.M. (Eds.), Symposium on conodont Biostratigraphy. *Geological Society of America Memoir*, ۱۲۷, ۴۴۱-۴۶۵.
- [۸۸] TIAN, C.R., DAI, J.Y., and TIAN, S.G., ۱۹۸۳, Triassic conodonts: In: Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, (Ed.), Paleontological Atlas of Southwest China, Volume of Microfossils (Pt. ۴, Micropaleontology): *Geological Publishing House*, Beijing, ۳۴۵-۳۹۸. [in Chinese]
- [۸۹] TORSVIK, T.H. and COCKS, L.R.M., ۲۰۰۴, Earth geography from ۴۰۰ to ۲۵۰ Ma: a palaeomagnetic, faunal and facies review: *Journal of the Geological Society, London*, ۱۶۱, ۵۵۵-۵۷۲.
- [۹۰] TORSVIK, T.H. and COCKS, L.R.M., ۲۰۱۷, Earth History and Palaeogeography: *Cambridge University Press*, ۱-۳۱۷.

- [۹۱] TWITCHETT, R.J., ۱۹۹۹, Palaeoenvironments and faunal recovery after the end-Permian mass extinction: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, ۱۵۴, ۲۷-۳۷.
- [۹۲] TWITCHETT, R.J., ۲۰۰۷, The Lilliput effect in the aftermath of the end-Permian extinction event: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, ۲۵۲, ۱۳۲-۱۴۴.
- [۹۳] VENNIN, E., OLIVIER, N., BRAYAD, A., BOUR, I., THOMAZO, C., ESCARGUEL, G., FARA, E., BYLUND, K.G., JENKS, J.F., STEPHEN, D.A., and HOFMANN, R., ۲۰۱۵, Microbial deposits in the aftermath of the end-Permian mass extinction: a diverging case from the Mineral Mountains (Utah, USA): *Sedimentology*, ۶۲, ۷۵۳-۷۹۲.
- [۹۴] WANG, H.M., WANG, X.L., LI, R.X., and WIE, J.Y., ۲۰۰۵, Triassic conodont succession and stage subdivision of the Guandao section, Bianyang, Luodian, Guizhou: *Acta Palaeontologica Sinica*, ۴۴ (۴), ۶۱۱-۶۲۶.
- [۹۵] WANG, Z.H., and CAO, Y.Y., ۱۹۸۱, Early Triassic conodonts from Lichuan, Western Hubei. *Acta Micropalaeontology Sinica*, ۲۰ (۴), ۳۶۳-۳۷۵.
- [۹۶] YAN, C.B., WANG, L.N., JIANG, H.S., WINGALL, P.B., SUN, Y.D., CHEN, Y.L., and ALI, X.L., ۲۰۱۳, Uppermost Permian to Lower Triassic conodont at Bianyang Section, Guizhou province, South China: *Palaios*, ۲۸, ۵۰۹-۵۲۲.
- [۹۷] YAZDI, M., and SHIRANI, M., ۲۰۰۲. First research on marine and nonmarine sedimentary sequences and micropaleontologic significance across Permian/Triassic boundary in Iran (Isfahan and Abadeh): *Journal of China University of Geosciences*, ۱۳, ۱۷۲-۱۷۶.
- [۹۸] ZHAO, L.S., ORCHARD, M.J., TONG, J.N., SUN, Z.M., ZUO, J.X., ZHANG, S.X., and YUN, A.L., ۲۰۰۷, Lower Triassic conodont sequence in Chaohu, Anhui Province, China and its global correlation: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, ۲۵۲, ۲۴-۳۸.
- [۹۹] ZHAO, L.S., TONG, J.N., SUN, Z.M., and ORCHARD, M.J., ۲۰۰۸, A detailed Lower Triassic conodont biostratigraphy and its implications for the GSSP candidate of the Induan-Olenekian boundary in Chaohu, Anhui Province: *Progress in National Science*, ۱۸, ۷۹-۹۰.
- [۱۰۰] ZHENG, Y., XU, R., WANG, C., MA, G., LAI, X., YE, D., CAO, L., and LIANG, J., ۲۰۰۷, Discovery of Early Triassic conodonts in western Gangdisê and the establishment of the Tangnale Formation: *Science in China Series D- Earth Sciences*, ۵۰ (۱۲), ۱۷۶۷-۱۷۷۲.

## Early Triassic conodonts of the Sorkh-Shale Formation in Rabat-Shor section of (West of Tabas, East of Central Iran); investigation of their alteration index concerning the hydrocarbon production capacity

Abeer Isaa<sup>۱</sup>, Abbas Ghaderi<sup>۲\*</sup>, Mohammad Khanehbad<sup>۳</sup>, Tea Kolar-Jurkovšek<sup>۴</sup>

۱- Ph.D. student, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

۲- Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

۳- Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

۴- Professor, Geological Survey of Slovenia, Dimičeva ulica ۱۴, ۱۰۰۰ Ljubljana, Slovenia. E-mails: tea.kolar-jurkovsek@geo-zs.si

\* aghaderi@um.ac.ir

Received: September ۲۰۲۲, Accepted: November ۲۰۲۲

### Abstract

Sorkh Shale Formation in Rabat-e-Shur stratigraphic section, west of the Tabas Depression, has been biostratigraphically investigated in this research. The Sorkh Shale Formation, with ۴۸ meters thickness in this section, consists of shale, marl, and marly limestones, which are underlain by the Permian Jamal Formation and are overlain by the Triassic Sotori Formation dolomites. Nine conodont species belonging to four genera, *Ellisonia*, *Hadrodontina*, *Parachirognathus*, and *Pachycladina* were identified for the first time from this formation. The mentioned conodont assemblage is divided into three biozones: *Hadrodontina aequabilis*, *Hadrodontina anceps*, and *Pachycladina obliqua*. These taxa are in good agreement with the previously reported euryhaline assemblages from the near-shore and shallow water Western Tethyan realms in the south and east of Europe in the Early Triassic (Late Griesbachian-Middle Smithian). These conodont biozones are used for a better understanding of the distribution and affinities of the Early Triassic conodonts in West Asia, their paleobiogeographical rank, their significant role in the Early Triassic chronostratigraphy and their importance in bio-correlation of different section worldwide. Examination of the conodont alteration index of the obtained taxa from the Sorkh Shale Formation demonstrates CAI=۶ during the late Griesbachian, CAI=۴ in the Smithian, and CAI=۶-۸ in the Dienerian substages which is placed in the barren Zone for hydrocarbon production.

**Keywords:** Early Triassic, Griesbachian, Smithian, Sorkh Shale, Conodont.