

زیست چینه نگاری، زیست رخساره‌های کنودونتی و اندیس تغییر رنگ (CAI) کنودونت ها در نهشته های دونین بالایی-کربنیفر در برش انارک، ایران مرکزی

الهه ستاری^۱، علی بهرامی^{۲*}، حسین وزیری مقدم^۳، عزیزاله طاهری^۴، ساندرایزابلا کایسر^۵ و پیتر کونیگشوف^۶

^۱ دانشجوی دکتری چینه و فسیل شناسی، گروه زمین شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

^{۲*} دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

^۳ استاد گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

^۴ استاد دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

^۵ استاد موزه تاریخ طبیعی اشتوتگارت، اشتوتگارت، آلمان

^۶ استاد مؤسسه پژوهشی و موزه تاریخ طبیعی سنکنبرگ، فرانکفورت، آلمان

*a.bahrami@sci.ui.ac.ir

دریافت خرداد ۱۳۹۹، پذیرش مرداد ۱۳۹۹

چکیده

بررسی فونای کنودونتی نهشته های دونین پسین-کربونیفر (می می سی سی پین-پنسیلوانین) سازند های بهرام، شیشتو و قلعه (سردر ۱) در برش انارک (کوهبند عبدالحسین) در شمال شرقی اصفهان، واقع در زون ایران مرکزی، منجر به شناسایی تعداد ۶۷ گونه از ۱۸ جنس کنودونتی شد و بر همین اساس تعداد ۲۲ زون زیستی کنودونتی تفکیک گردید؛ که از این تعداد ۱۵ عدد مربوط به دونین پسین (۱ زیست زون مربوط به فرازین، ۱۴ زیست زون مربوط به فامنین) و ۷ زیست زون مربوط به کربنیفر (می می سی سی پین - پنسیلوانین) می باشد. مرزهای زیستی فرازین / فامنین، دونین / کربونیفر، می می سی سی پین / پنسیلوانین بر همین اساس تشخیص داده شد. با بررسی های صحرائی در برش مذکور تعداد ۵ واحد سنگ چینه ای تفکیک شد. انطباق منحنی های تغییرات سطح آب بر اساس زیست رخساره های کنودونتی با منحنی تغییرات سطح آب جهانی حاکی از تطابق نسبی در زمان های مذکور دارد که علت آن کم عمق بودن حوضه ایران مرکزی نسبت به حوضه اروپا و آمریکاست. عناصر کنودونتی در زیست زون های فرازین تیره $CAI=4$ (11-a)، در فامنین رنگ روشن $CAI=1.5-2$ (11-b,c) و در کربنیفر مجدداً رنگ تیره $CAI=5-5.5$ (11-d,e) را نشان می دهند که این تغییرات اندیس رنگ حاکی از بلوغ بافتی و احتمال حضور هیدروکربور در فامنین نسبت به فرازین و کربنیفر می باشد.

کلید واژه: دونین، کربنیفر، برش انارک، زیست زون های کنودونتی، ریز رخساره کنودونتی.

۱- مقدمه

مطالعه تغییرات زیستی و زمانی مرز دونین-کربنیفر از موضوعات مهم و جالب توجه است که توجه محققین بسیاری را در گوشه و کنار جهان به خود جلب نموده و تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه سنگ‌شناسی، رسوب‌شناسی و فسیل‌شناسی این مرز در نقاط مختلف جهان انجام گرفته است. در این مرز و کمی قبل از آن یک حادثه زیستی به نام هنگنبرگ برای موجودات جهان (بخصوص موجودات دریایی) رخ داده است [۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۵۸، ۵۹، ۶۰، ۶۱، ۸۴، ۱۰۷، ۱۰۸]. حادثه هنگنبرگ که با انقراض شدید تاکساها مشخص می‌شود، باعث انقراض حدود ۴۵٪ از جنس‌ها و حدود ۲۰٪ از گروه‌ها و خانواده‌های مختلف فسیلی گردیده است [۹۵، ۹۷]. در این حادثه فونای پلاژیک و همی‌پلاژیک نسبت به فونای بنتیک، بیشتر تحت تاثیر قرار گرفتند. تقریباً ۵۰٪ از گونه‌های استراکدهای پلاژیک و همی‌پلاژیک در مرز D/C از بین رفته‌اند [۱۰۷]. انقراض بزرگی در تریلوبیت‌ها، براکیوپودها و آمونوئیدها، فرامینیفرها و مهره‌داران و کنودونت‌ها صورت گرفته و به میزان کمتر بر روی بریوزوئرها و دوکفه‌ای‌ها مؤثر بوده است. میزان انقراض نسبی آمونوئیدها در این حادثه حدود ۸۵٪ است [۱۶]. انقراض اصلی در میان کنودونت‌ها در فاز اصلی این حادثه رخ می‌دهد و کنودونت‌های پلاژیک تا ۷۲٪ و کنودونت‌های نکتوبنتیک بیش از ۵۰٪ منقرض شده‌اند و پالماتولیدها و ایکرودیدها (بجز چند گونه خاص از پالماتولیدها) در اواخر فامنین، به طور کلی از بین می‌روند [۱۱۱]. استروماتوپوریدها در فاز اصلی این حادثه به طور کامل از بین رفته‌اند [۱۰۸] و ریف‌های میکروبیال و متازوئن به صورت کامل منقرض شده‌اند [۶۰]. مطالعه مرز دونین-کربونیفر و حادثه‌ی زیستی هنگنبرگ در ایران توسط افراد مختلف مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. بهرامی و یزدی (۱۳۹۱)، نیز مطالعاتی بر روی حادثه هنگنبرگ و مرز D/C در ایران مرکزی (برش‌های قلعه کلاغو، حوض دوره ۱ و ۲) انجام داده که منجر به شناسایی ناپیوستگی در این مرز و نبود دو زیست‌زون کنودونتی *M. praesulcata Zone* و *U. praesulcata Zone* از آخرین زیست‌زون‌های فامنین پسین گردید، ضمن اینکه انقراض زیستی هنگنبرگ را مرتبط با زون آنوکسیک در حاشیه‌های شمالی و جنوبی نواحی پلت فرمی پالئوتتیس بر اثر تقویت نیروهای بالارونده ناشی از بادهای دائمی حاصل از نیروی کوریولیس دانسته‌اند [۲]. براری و همکاران (۱۳۹۱) در برش سیمه کوه در البرز شرقی، شروع کربونیفر را منطبق بر لایه‌های شیل تیره غنی از مواد آلی و آهک‌هایی نازک لایه و تیره رنگ و حضور آن‌ها را به حداکثر بالآمدگی سطح آب دریا نسبت داده و منطبق بر حادثه جهانی هنگنبرگ دانسته‌اند [۱]. پرویزی و همکاران (۱۳۹۹) حادثه هنگنبرگ و مرز دونین-کربونیفر در برش تیل آباد (البرز شرقی) را منطبق بر یک لایه شیل تیره زغالی با ضخامت حدود ۳ سانتی‌متر دارای ورقه‌های نازک ژیبسی معادل *Middle Praesulcata* (Ziegler and Sandberg 1990) دانسته‌اند [۳].

برش انارک از جمله برش‌های پرفسیل زمان دونین میانی-کربونیفر پیشین به شمار می‌رود که دارای فسیل‌های گونیاتیت، کنودونت، براکیوپود، تتاکولیت، تریلوبیت و فرامینیفر می‌باشد [۱۰۹]. بهرامی و همکاران (۲۰۱۹)^۱ کنودونت‌های سازند بهرام در برش انارک را مطالعه نموده‌اند [۱۳]. لون و گورگیج (۲۰۰۶)^۲ در ناحیه‌ی انارک با بررسی رسوبات کربونیفر بالا (قلعه و

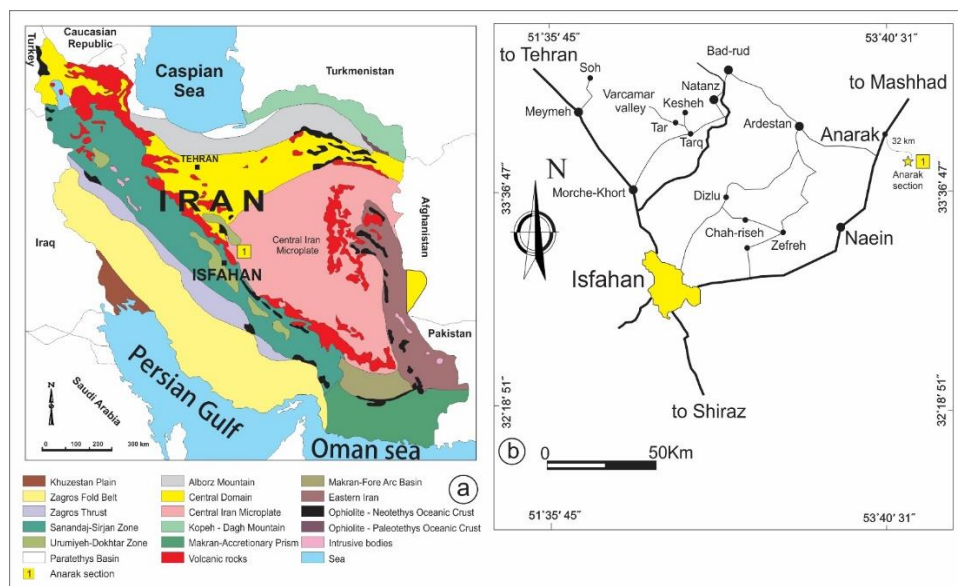
^۱ Bahrami et al., 2019

^۲ Leven and Gorgij, 2006

آبشنی) و پرمین زیرین (شامل سازندهای زلدو، تیغه معدنو، باغ و نگ و جمال) بر اساس فونای فرامینیفری، برش انارک را برشی کامل در ایران برای مطالعه در زمانهای مذکور دانسته و معتقدند علی رغم برخی ویژگیهای خاص، مجموعه فوزولیناهای قزلین و آسلین کاملاً مطابق با برش های اروپای شرقی است؛ که همگی نشان دهندهی اتصال آزاد بین حوضه مرکزی و شرقی ایران، البرز و حوضه اصلی پالئوتتیس می باشد [۶۹]. این تحقیق به بررسی کنودونت های دونین پسین- کربنیفر با تأکید بر مرز دونین-کربنیفر در برش انارک و تغییرات رخساره های زیستی در حادثه هنگنبرگ می پردازد.

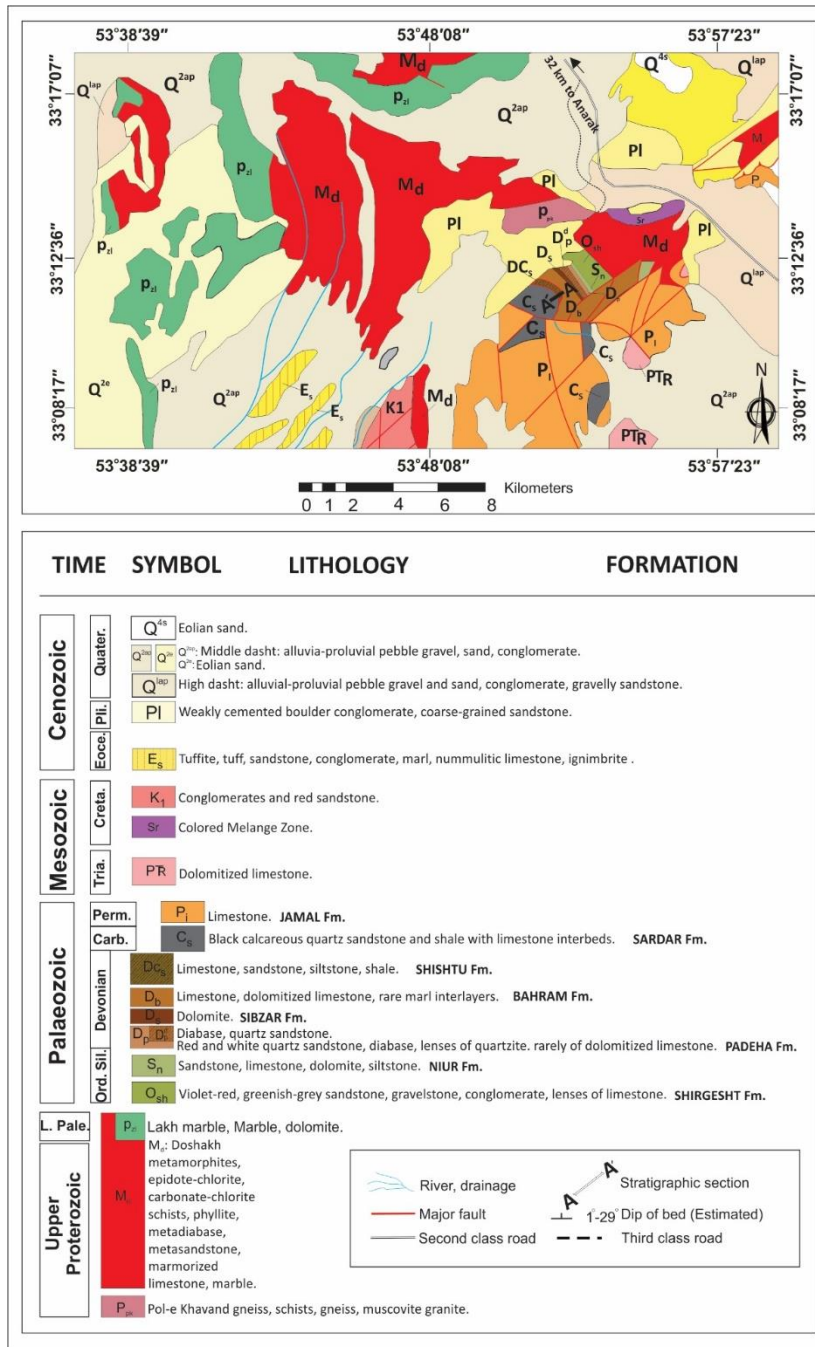
۲- موقعیت برش انارک

برش مورد مطالعه در ۳۲ کیلومتری جنوب شرق انارک و شرق ارتفاعات دوشاخ در منطقه ای تحت عنوان بند عبدالحسین و حدود ۱۸۰ کیلومتری شمال شرق اصفهان قرار دارد. در این ناحیه نهشته های رسوبی پالئوزوئیک به صورت ناپیوسته آذرین پی بر روی مرمراهی منسوب به لاج با سن کامبرین زیرین قرار گرفته اند. شارکوفسکی و همکاران (۱۹۸۴)^۳ بر پایه حضور آرکتوسیاتیدهای موجود در این مرمراه، سن کامبرین زیرین را برای این بخش در نظر گرفته اند [۹۶]. توالی نهشته های پالئوزوئیک در برش بند عبدالحسین شامل سازندهای شیرگشت، نیور، پادها، سببزار، بهرام، شیشتو، قلعه، آب شنی (سردر ۲،۱)، زلدو، تیغه معدنو، باغ و نگ و جمال می باشند که مجموعاً با ضخامتی در حدود ۱۲۰۰ متر بدنه اصلی پالئوزوئیک این ناحیه را تشکیل می دهند. برش انارک در ورقه ۱/۱۰۰/۰۰۰ انارک به شماره ۶۷۵۶ قابل دسترس بوده [۱۰۲]، و مختصات قاعده برش $33^{\circ}10'44.79''N$; $53^{\circ}52'23.83''E$ و رأس برش $33^{\circ}10'33.78''N$; $53^{\circ}52'22.90''E$ در رخنمون نمونه برداری شده می باشد (اشکال ۱ و ۲).



شکل ۱- (a) زونهای ساختاری ایران [۲۲]، (b) موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به برش انارک [۱۴].

³ Sharkovski et al., 1984



شکل ۲- نقشه ی زمین شناسی محدوده مورد مطالعه از نقشه با مقیاس ۱/۱۰۰/۰۰۰ انارک (اقتباس از سوساو و همکاران، ۲۰۰۰).

۳- روش مطالعه

پس از بررسی و مشاهدات صحرائی در برش انارک، رخنمون با ضخامت ۱۷۸ متر شامل بخش بالایی سازند بهرام، سازند شیشتو و سازند قلعه (سردر ۱)، و ثبت ساخت‌های رسوبی و ویژگی‌های سنگ شناسی، تعداد ۵۶ نمونه جهت بررسی فون‌های کنودنتی برداشت گردید. مطالعات آزمایشگاهی شامل خرد کردن، انحلال و شستشوی نمونه‌ها با اسید استیک، جدا سازی به وسیله جدایش دستی در زیر میکروسکوپ بینوکولار، آماده سازی استاپ و چسباندن کنودنت‌ها بر روی پایه آلومینیومی، تعیین

اندیس تغییر رنگ کنودونت‌ها به کمک جداول استاندارد [۴۱]، تهیه عکس SEM، نام گذاری و شناسایی کنودونت‌ها و زون‌بندی زیستی آن‌ها بر اساس منابع جهانی (سندبرگ و همکاران، ۱۹۷۸؛ زیگلر و سندبرگ، ۱۹۹۰؛ هارتنفلس، ۲۰۱۱؛ کورادینی و همکاران، ۲۰۱۶؛ اسپالتا و همکاران، ۲۰۱۷) انجام گردید. در نهایت با تعیین تغییرات سطح آب دریا بر اساس فونای کنودونتی، رخساره‌های کنودونتی و انطباق آن‌ها با منحنی تغییرات سطح آب جهانی، میزان تطابق سطح آب در برش مورد مطالعه با سطح آب جهانی بررسی و مقایسه گردید.

۴- بحث

۴-۱- سنگ چینه نگاری

بر طبق مشاهدات و مطالعات صحرایی رخنمون مورد مطالعه در برش انارک شامل سازندهای بهرام، شیشتو و قلعه (سردر ۱) می باشد. مرز زیرین سازند بهرام با دولومیت سبزار بصورت تدریجی و مرز فوقانی آن با سازند شیشتو بصورت ناپیوسته همشیب می باشد. مرز فوقانی سازند شیشتو با سازند قلعه (سردر ۱) نیز ناپیوسته و همشیب می باشد.

با بررسی رخساره های سنگی و ویژگی های سنگ شناسی ۵ واحد سنگ چینه‌ای تفکیک گردید (شکل ۳).

واحد ۱- آهک‌های خاکستری رنگ متوسط تا ضخیم لایه دارای بقایای بازوپایان، بریوزوئر، شکم پایان و ریز بقایای مهره داران می باشد. (ضخامت ۱۵ متر، نمونه های A1-A6).

واحد ۲- آهک‌های سفید تا خاکستری نودولار با میان لایه‌های نازک شیل قرمز که به تدریج به سمت بالا به میزان شیل‌های قرمز اضافه شده و مجدداً در بخش بالایی به آهک خاکستری اسکلتی (خرده های بازوپایان، انکوئید، بقایای اسفنج ها) تبدیل می گردد (ضخامت ۳۰ متر و شامل نمونه های A7-A29).

واحد ۳- آهک نودولار قرمز رنگ مارنی نازک لایه دارای مرجان های انفرادی، شکم پایان، بازوپایان و دوکفه‌ای ها، در بخش بالایی این واحد یک لایه غنی از کرینوئید و لایه حدوداً ۲۰ سانتی متری حاوی آمونوئید می باشد (ضخامت ۶۸ متر، نمونه های A30-A48).

واحد ۴- آهک برشی شده سفید رنگ و دولومیتی شده که میزان فسیل در این واحد بسیار اندک است و بعضاً خرده های براکیوپود و دوکفه‌ای مشاهده می گردد (ضخامت ۲۷ متر، A49-A50).

واحد ۵- آهک خاکستری فسیل‌دار که عمدتاً شامل خرده های اسکلتی دوکفه ای ها، و فرامینیفر فراوان می باشد (ضخامت ۳۸ متر، A51-A56).

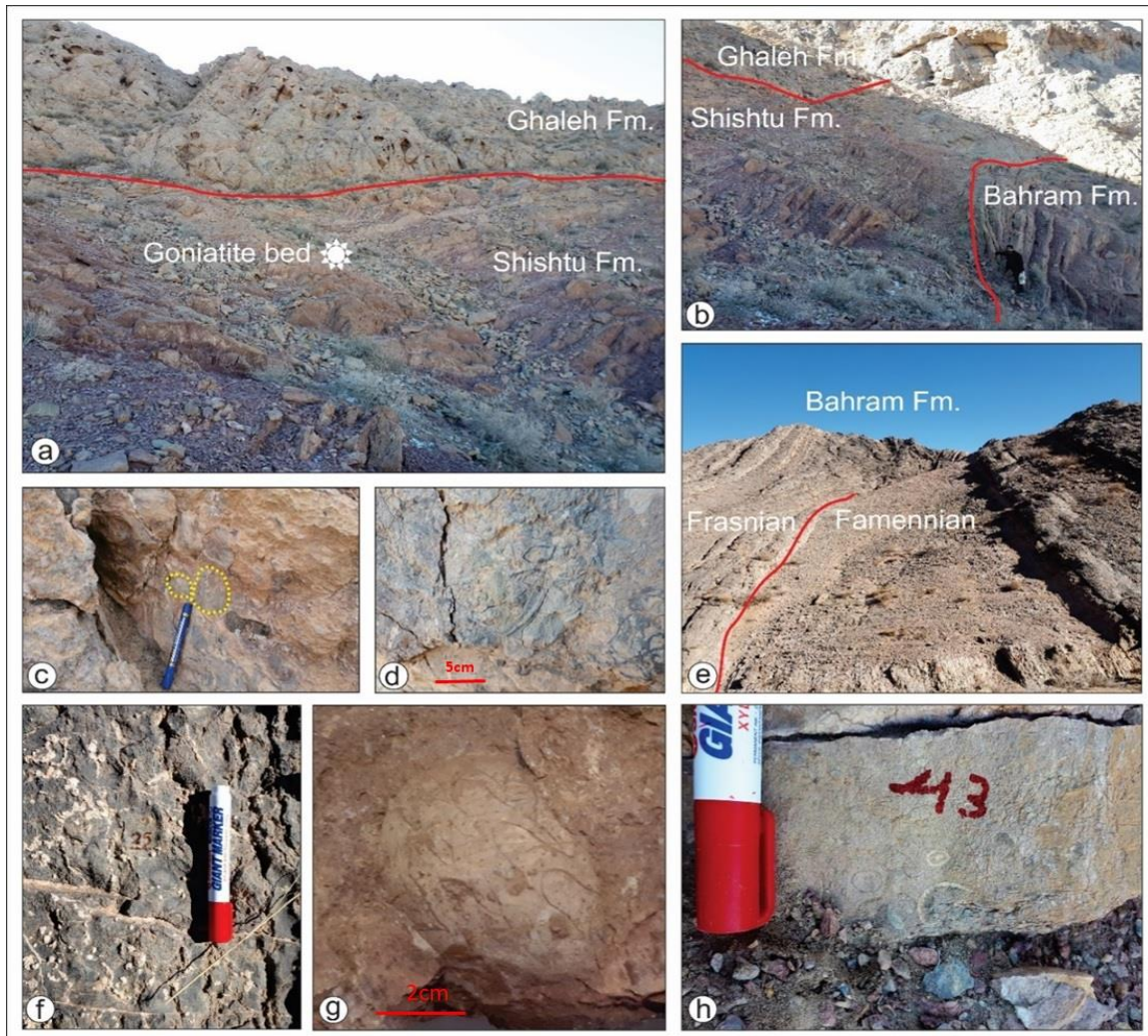
⁴ Sandberg et al., 1978

⁵ Ziegler and Sandberg, 1990

⁶ Hartenfels, 2011

⁷ Corradini et al., 2016

⁸ Spalletta et al., 2017



شکل ۳-۴ (a) مرز سازند شیشتو و سازند قلعه (سردرا) و محل افق گونیاتیت دار (b) مرز سازند های بهرام، شیشتو و قلعه (سردرا) (c) آهک های برشی شده در قاعده سازند قلعه (d) آهک اسکلتی (بیوکلاستی) سازند قلعه (سردرا) (e) مرز فرازین-فامنین در سازند بهرام (تبدیل آهک‌های خاکستری پرفسیل به آهک‌های مارنی نودولار سفید تا خاکستری رنگ با میان لایه‌های نازک شیل قرمز) (f) آهک خاکستری فسیل دار در بخش بالایی سازند بهرام (g) افق گونیاتیتی در رأس سازند شیشتو و (h) آهک خاکستری فسیل دار دارای مرجان در بخش بالایی سازند شیشتو.

۴-۲- زیست زون های کنودونتی

اگرچه تعداد عناصر کنودونتی بدست آمده از هر نمونه حدود ۴ تا ۵ کیلوگرمی حداکثر تا ۳۰ عدد در نمونه A29 می باشد و همچنین عدم وجود برخی از گونه‌های کنودونتی شاخص آب های عمیق که در زیست زون بندی های جهانی (هارتفلس، ۲۰۱۱؛ اسپالتا، ۲۰۱۷) مورد استفاده قرار گرفته است، از گستره کنودونت های عمدتاً مربوط به رخساره های کم عمق جهت تفکیک زیست زون ها استفاده گردید.

در مجموع از مطالعه فونای بدست آمده ۶۷ گونه متعلق به ۱۸ جنس: *Gnathodus*، *Polygnathus*، *Pseudopolygnathus*، *Branmehla*، *Alternognathus*، *Scaphygnathus*، *Mehlina*، *Palmatolepis*، *Icriodus*، *Bispathodus*، *Pelekysgnathus*

Rhachistognathus, *Locheria*, *Ancyrognathus*, *Idiognathodus*, *Declinognathus*, *Protognathodus*, *Clydagnathus* شناسایی گردید. با توجه به گستره سنی گونه‌های کنودونتی تعداد ۲۲ زون زیستی شناسایی گردید که از این تعداد ۱۵ زیست زون مربوط به دونین پسین (فرازین پسین-فامنین) و ۷ زیست زون مربوط به کربنیفر (می‌سی‌سی‌پین-پنسلوانین) می‌باشد (شکل ۴ و ۵).

***Palmatolepis winchelli* to *Ancyrognathus ubiquitous* zones (A2-A6)**

نام‌گذاری این زیست زون بر اساس حضور گونه‌های *Palmatolepis winchelli* و *Ancyrognathus ubiquitous* و *Palmatolepis bogartensis* (Girard et al. 2005) صورت گرفته است که این گونه‌ها در رخنمون مورد مطالعه یافت نگردید؛ ولی با توجه به آخرین حضور گونه‌های کنودونتی Ovnatanova 1969 *Polygnathus cf. alatus* و Huddle 1934 *Polygnathus webbi* (در نمونه A6) که از گونه‌های کنودونتی مهم در شناسایی مرز فرازین-فامنین می‌باشند و همگی در *linguiformis* Zone منقرض می‌شوند (زیگلر و سندبرگ، ۱۹۹۶، ۲۰۰۰؛ اوناتانوا و کونونوا، ۲۰۰۱، ۲۰۰۸؛ بولتینک، ۲۰۰۳). مجموعه کنودونتی در این زیست زون متعلق به فرازین بالایی (-*Upper rhenana* *linguiformis*) است و معادل زیست زون های *Palmatolepis winchelli* to *Ancyrognathus ubiquitous* zones می‌باشد. مرز فرازین/فامنین در رخنمون انارک به صورت پیوسته و بدون وقفه در رسوبگذاری است. لایه‌های شیل سیاه یا آهک تیره رنگ که در بیشتر برش‌های دریایی جهان دیده می‌شوند (کارمیچل و همکاران، ۲۰۱۹) در مرز مذکور مشاهده نگردید. کنودونت های دیگر همراه این بایوزون *Polygnathus aequalis* و *Polygnathus cf. xylus* می‌باشد.

***Palmatolepis triangularis* Zone (A7-A9)**

بر اساس مطالعات اسپالتا و همکاران (۲۰۱۷) قاعده فامنین با زیست زون *Palmatolepis subperlobata* Zone که منطبق با پایتترین قسمت *Lower triangularis* Zone است، منطبق می‌باشد و با اولین ظهور گونه *Palmatolepis subperlobata* مشخص می‌شود. در رخنمون مورد مطالعه گونه *Palmatolepis subperlobata* مشاهده نگردید و در نتیجه مرز زیرین این زیست زون با اولین ظهور *Palmatolepis triangularis* Sannemann 1955a در نمونه A7 مشخص می‌گردد. از دیگر گونه-های کنودونتی مطالعه شده در این بایوزون *Polygnathus brevilaminus*، *Polygnathus aspelundi* می‌باشند که در این بایوزون ظهور یافته‌اند.

***Palmatolepis delicatula platys* to *Palmatolepis minuta minuta* zones (A10-A13)**

⁹ Ovnatanova and Kononova 2001; 2008

¹⁰ Bultynck, 2003

¹¹ Carmichael et al., 2019

زیست زون *Palmatolepis delicatula platys Zone* که منطبق با زیست زون *Middle triangularis Zone* Ziegler and Sandberg 1990 می‌باشد، با اولین حضور گونه‌ی *Pelekysgnathus inclinatus* Thomas, 1949 با گستره سنی Middle *triangularis* to Upper *praesulcata* و *Ancyrognathus sinelaminus* (Branson and Mehl, 1934a) با گستره سنی Middle *triangularis* into the Uppermost *crepida* مشخص می‌شود (سندبرگ و دریسین، ۱۹۸۴؛ زیگلر و سندبرگ، ۱۹۹۰؛ هانگ و گانگ، ۲۰۱۶). اولین حضور گونه *Palmatolepis perlobata perlobata* Ulrich and Bassler 1926 در A12 یکی دیگر از گونه‌های مهم در تشخیص حد پائین این زیست زون است دیگر گونه‌های همراه شامل دو گونه‌ی ذیل است:
Icriodus alternatus alternatus, *Icriodus alternatus helmi*

***Palmatolepis crepida* Zone (A14-A15)**

این زیست زون معادل *Lower crepida* (Ziegler and Sandberg 1990) می‌باشد. بر اساس اسپالتا و همکاران (۲۰۱۷)، مرز زیرین این زیست زون با نخستین حضور گونه‌ی *Palmatolepis minuta loba* Helms, 1963 مشخص می‌شود که سن آن از *Icriodus* *base of the crepida Zone to rhomboidea Zone* (Spalletta et al. 2017) می‌باشد. در انتهای این زیست زون *Icriodus alternatus helmsi* Sandberg and Dreesen 1984 متفرض می‌گردد. از دیگر گونه‌های کنودونتی مطالعه شده در این زیست زون: *Icriodus alternatus alternatus*, *Polygnathus cf. communis communis* می‌باشد.

***Palmatolepis termini* Zone (A16)**

این زیست زون معادل با *Middle crepida* (Ziegler and Sandberg 1990) می‌باشد. مرز زیرین آن با اولین حضور گونه‌ی *Polygnathus semicostatus* Branson and Mehl, 1934a در نمونه A16 مشخص می‌شود (جی و زیگلر، ۱۹۹۳). گستره سنی گونه‌ی *Polygnathus semicostatus* از زیست زون *Palmatolepis termini Zone* تا زیست زون *ultimus Zone* (اسپالتا و همکاران، ۲۰۱۷). از دیگر گونه‌های کنودونتی مطالعه شده در این بایوزون، *Icriodus alternatus alternatus*, *Palmatolepis minuta loba*, *Polygnathus cf. communis communis* هستند.

***Palmatolepis glabra pectinata* to *Palmatolepis rhomboidea* zones (A17-A18)**

مرز زیرین این زیست زون با اولین حضور گونه‌ی شاخص *Palmatolepis glabra pectinata* Ziegler 1962b M1 Sandberg and Ziegler 1973 و گونه‌ی *Palmatolepis quadrantinosalobata* Sannemann 1955a M1 Sandberg and Ziegler 1973 در نمونه A17 مشخص می‌گردد. آخرین حضور گونه‌ی *Icriodus alternatus alternatus* نیز مربوط به قسمت بالایی این زیست زون در نمونه A18 است (بولتینک، ۲۰۰۳؛ اسپالتا و همکاران، ۲۰۱۷). از دیگر گونه‌های کنودونتی مطالعه شده در این بایوزون شامل:

¹² Sandberg and Dreesen, 1984

¹³ Huang and Gong, 2016

¹⁴ Ji and Ziegler, 1993

Polygnathus. cf. *communis communis*, *Polygnathus padovanii*, *Polygnathus* cf. *subnormalis*, *Palmatolepis minuta minuta*

***Palmatolepis gracilis gracilis* Zone (A19)**

این زیست زون منطبق بر زیست زون *Upper rhomboidea Zone* معرفی شده توسط زیگلر و سندبرگ، ۱۹۹۰ می‌باشد. اولین حضور گونه‌های *Palmatolepis gracilis gracilis* *Polygnathus triphyllatus* و *Bispathodus stabilis vulgaris* در (A19) منطبق بر مرز زیرین زیست زون *Palmatolepis gracilis gracilis Zone* می‌باشد (متزگر، ۱۹۹۴؛ کلایپر و زیگلر، ۱۹۷۹، اسپالتا و همکاران، ۲۰۱۷). کنودونت‌های دیگر این بایوزون شامل:

Polygnathus semicostatus, *Palmatolepis glabra pectinata*, *Palmatolepis minuta minuta*, *P. subnormalis*, *Mehlina strigosa*, *Icriodus cornutus*, *Polygnathus inconinnus*

***Palmatolepis marginifera* Zone (A20)**

مرز زیرین این زیست زون منطبق بر اولین حضور گونه‌ی *Palmatolepis perlobata maxima* Müller 1956 در نمونه A20 است که گستره سنی این گونه بر اساس (جی و زیگلر، ۱۹۹۳؛ اسپالتا و همکاران، ۲۰۱۷) از *Upper marginifera Zone* تا *Lower expansa Zone* است. همچنین گونه‌ی مهم دیگر شاخص Helms, 1961 *Polygnathus triphyllatus* در این زیست زون منقرض می‌شود (اسپالتا و همکاران، ۲۰۱۷). سایر گونه‌های همراه شامل:

Bispathodus stabilis vulgaris, *Palmatolepis gracilis gracilis*, *Palmatolepis minuta minuta*, *Polygnathus semicostatus* *Icriodus cornutus*

***Scaphignathus velifer velifer to Palmatolepis rugose trachytera* zones (A21)**

مرز زیرین این زیست زون با اولین حضور گونه‌های شاخص Helms 1959 *Scaphignathus velifer velifer* و *Scaphignathus velifer velifer* در نمونه A21 تعیین می‌گردد. این زیست زون معادل زیست زون *Uppermost marginifera Zone* معرفی شده توسط (زیگلر و سندبرگ، ۱۹۹۰) می‌باشد که توسط (اسپالتا و همکاران، ۲۰۱۷) به عنوان زیست زون *Scaphignathus velifer velifer* معرفی شده است. سایر گونه‌های همراه به شرح ذیل می‌باشد:

Polygnathus perplexus, *Polygnathus granulosus*, *Alternognathus regularis regularis*, *Polygnathus nodocostatus*, *Branmehla bohlenana*, *Bispathodus stabilis vulgaris*, *Palmatolepis perlobata maxima*, *Mehlina strigosa*, *Polygnathus semicostatus*

***Pseudopolygnathus granulosus* Zone (A22)**

مرز زیرین این زیست زون با اولین حضور گونه‌های *Palmatolepis gracilis sigmoidalis* Ziegler, 1962a و *Bispathodus stabilis stabilis* (Branson and Mehl, 1934a) [M2] در مرز فوقانی با آخرین حضور *Icriodus cornutus* Sannemann 1955b, *Palmatolepis minuta minuta* Branson and Mehl 1934a, *Scaphygnathus velifer velifer* Helms 1959 در نمونه A22 می‌باشد. زیست زون *Pseudopolygnathus granulosus Zone* معادل زیست زون قدیمی و پیش تر شناخته شده *Upper trachytera Zone* می‌باشد (بولتینک، ۲۰۰۳؛ جی و زیگلر، ۱۹۹۳؛ زیگلر و

¹⁵ Metzger, 1994

¹⁶ Klapper and Ziegler, 1979

سندبرگ، ۱۹۸۴؛ اسپالتا و همکاران، ۲۰۱۷). از دیگر کنودونت های این زیست زون *Bispathodus stabilis vulgaris*، *Mehlina strigosa* را می توان نام برد.

***Polygnathus styriacus* to *Palmatolepis gracilis manca* zones (A23)**

این ایتروال (زیست زون بینابینی) زون فاقد کنودونت های شاخص می باشد و بر اساس زیست زون های زیرین و فوقانی تفکیک گردیده است، البته گونه کنودونتی شاخص *Scaphygnathus velifer leptus* Ziegler and Sandberg, 1984 در نمونه A23 منقرض می شود. در حقیقت این گونه گستره سنی از *Scaphygnathus velifer velifer* Zone تا *Palmatolepis gracilis manca* Zone را دارا می باشد (اسپالتا و همکاران، ۲۰۱۷).

سایر فون های همراه شامل:

Bispathodus stabilis stabilis, *Branmehla bohlenana*, *Palmatolepis gracilis sigmoidalis*

***Palmatolepis gracilis expansa* Zone (A24)**

این زیست زون معادل زیست زون *Lower expansa* Zone معرفی شده توسط زیگلر و سندبرگ، ۱۹۹۰ است. مرز زیرین این زیست زون توسط دو گونه شاخص کنودونتی *Bispathodus jugosus* (Branson and Mehl, 1934a) و *Palmatolepis gracilis expansa* Sandberg and Ziegler, 1979 تعیین می گردد. گستره سنی هر دو گونه از *Palmatolepis gracilis expansa* تا *Bispathodus ultimus* می باشد (اسپالتا و همکاران، ۲۰۱۷). سایر فون های همراه شامل:

Clydagnathus ormistoni, *Bispathodus bispathodus*, *Bispathodus stabilis stabilis*.

***Bispathodus aculeatus aculeatus* Zone (A25)**

این زیست زون معادل زیست زون *Middle expansa* Zone معرفی شده توسط زیگلر و سندبرگ، ۱۹۹۰ است. مرز زیرین این زیست زون با اولین حضور گونه‌ی شاخص *Bispathodus aculeatus aculeatus* (Branson and Mehl, 1934a). گستره سنی این گونه بر اساس مطالعات لین و همکاران، ۱۹۸۰^{۱۷} و توسط زیگلر و سندبرگ، ۱۹۸۴ از *Middle expansa* تا *texanus* Zone می باشد. در این زیست زون گونه‌ی *Clydagnathus ormistoni* Beinert et al. 1971 نیز منقرض می گردد.

***Bispathodus costatus* Zone (A26)**

مرز زیرین این زیست زون با اولین حضور گونه‌ی شاخص *Bispathodus costatus* Branson 1934 M1 Ziegler and Sandberg 1984 مشخص می شود. سایر گونه‌های همراه شامل:

Bispathodus bispathodus, *Bispathodus spinulicostatus*, *Pseudopolygnathus* cf. *primus*, *Polygnathus communis collinsoni*, *Bispathodus jugosus*, *Palmatolepis gracilis expansa*, *Polygnathus perplexus*, *Bispathodus* cf. *costatus*

***Bispathodus ultimus* Zone (A27-A29)**

¹⁷ Lane et al., 1980

این زیست زون معادل Upper expansa و *praesulcata* zones و *costatus-kockeli* Interregnum معرفی شده توسط کایسر و همکاران، ۲۰۰۹^{۱۸} است. مرز زیرین این زیست زون با اولین حضور *Bispathodus ultimus* (Bischoff, 1957) مشخص می‌شود که گستره سنی آن بر اساس (Ziegler and Sandberg 1984) از Upper expansa تا Middle praesulcata است. دیگر گونه‌های کنودونتی مطالعه شده در این زیست شامل:

Bispathodus spinulicostatus, *Pseudopolygnathus* cf. *primus*, *Bispathodus aculeatus aculeatus*, *Polygnathus communis collinsoni*, *Bispathodus costatus*, *Bispathodus bispathodus*, *Palmatolepis gracilis expansa* مرز بالایی زیست زون *Bispathodus ultimus* Zone بر اساس زون‌بندی‌های استاندارد کورادینی، ۲۰۱۶ و اسپالتا و همکاران، ۲۰۱۷ باید با اولین حضور *Protognathodus kockeli* و یا بر اساس سندبرگ و همکاران، ۱۹۷۸ با حضور گونه *Siphonodella praesulcata* مشخص گردد، ولی با توجه به عدم حضور دو گونه مذکور در برش انارک این برش فاقد زون زیستی *praesulcata* Zone می‌باشد.

?*Protognathodus kockeli* - L. *Siphonodella crenulata* zones (A30-A32)

مرز زیرین این زیست زون با اولین حضور گونه *Siphonodella sulcata* مشخص می‌گردد [۳۳، ۵۹، ۸۸، ۱۱۲]. اما با توجه به این‌که این گونه پراکندگی جغرافیایی وسیعی نداشته و در مناطق مختلف اولین ظهورشان همزمان نمی‌باشد و در بسیاری از برش‌های مطالعه شده جهانی نادر می‌باشند، لذا کورادینی و همکاران، ۲۰۱۶ گونه *Siphonodella bransoni* (= *Siphonodella duplicate* M1) و نیز گونه *Protognathodus kockeli* را که کم و بیش منطبق بر مرز D/C می‌باشد معرفی نموده اند [۳۳، ۷۴، ۷۵]. با توجه به این‌که هیچ یک از کنودونت‌های شاخص مذکور در برش انارک مشاهده نگردید، لذا با توجه به اولین حضور گونه‌های *Protognathodus collinsoni*, *Polygnathus inornatus*, *Polygnathus longiposticus* و گونه *Polygnathus parapetus* می‌توان مرز پایینی را تعیین نمود.

***Siphonodella isosticha* – U. *Siphonodella crenulata* to Upper *Gnathodus typicus* zones (A33-A35)**

مرز زیرین این زیست زون بینایی (ایتروال) با اولین حضور گونه‌های *Gnathodus delicatus*, *Gnathodus cueniformis*، *Gnathodus typicus*، Hass، *Gnathodus semiglaber* در نمونه A33 مشخص می‌شود. به دلیل ظهور *Gnathodus typicus*، 1953 و عدم وجود فون‌های کنودونتی شاخص در قاعده‌ی زیست زون *typicus* Zone تفکیک این ایتروال قابل انجام نمی‌باشد.

***Scalignathus anchoralis-Doliognathus latus* Zone (A36-A38)**

مرز زیرین این زیست زون با اولین حضور Thomson and Fellows, 1970 *Gnathodus pseudosemiglaber* که دارای گستره سنی از *anchoralis-latus* Zone تا *texanus* Zone بر اساس مطالعات لین و همکاران، ۱۹۸۰؛ بلکا و کورن، ۱۹۹۴ می‌باشد در نمونه A35 مشخص می‌شود. دیگر کنودونت‌های همراه *Gnathodus semiglaber*، *Gnathodus typicus* هستند.

¹⁸ Kaiser et al., 2009

¹⁹ Belka and Korn, 1994

Upper *Gnathodus texanus* to *Adetognathus unicornis* zones (A38-A45)

مرز زیرین این زیست زون با اولین ظهور *Gnathodus bilineatus* و *Locheria commutata* Branson and Mehl 1941
bilineatus Roundy 1926 مشخص می‌شود. هر دو گونه کنودونت مذکور به عنوان گونه های شاخص در ویزن زیرین می باشند [۷۰، ۷۹، ۱۰۰].

***Rachistognathus muricatus* Zone (A46-A48)**

مرز زیرین این زیست زون با اولین حضور گونه‌ی *Rachistognathus muricatus* (Dunn, 1966) تعیین می‌شود. این زون (late Serpukhovian) مرز کربونفر زیرین-بالایی (Mississippian - Pennsylvanian) را نشان می‌دهد. کنودونت‌های همراه شامل:

Gnathodus girty girty, *Gnathodus girty simplex*

مرز کربنیفر پیشین-پسین

کنودونت‌های رایج در کربونفر پیشین شامل جنس‌های *Gnathodus*، *Lochriea* و *Cavusgnathus* می‌باشد که در آخر Serpukhovian منقرض می‌شوند و با اولین حضور جنس کنودونتی *Declinognathodus* متعلق به Bashkirian در مرز کربونفر پیشین-پسین (Mississippian - Pennsylvanian) جایگزین می‌گردد [۲۹، ۶۶، ۶۸، ۷۸، ۸۴]. کمیسیون بین‌المللی چینه‌شناسی کربونفر، در سال ۱۹۹۵، برش کانیون نوادا (آمریکا) را به عنوان GSSP برای مرز کربونفر پیشین-پسین، معرفی نموده است. اولین حضور تاکسای کنودونتی شاخص *Declinognathodus noduliferus sensu lato* (شامل سه زیر گونه‌ی *Declinognathodus noduliferus noduliferus*، *Declinognathodus noduliferus inaequalis* و *Declinognathodus noduliferus japonicas*) به عنوان یک شاخص زیست چینه‌ای در تعیین مرز کربنیفر پیشین-پسین معرفی گردیده است [۵، ۴۳، ۶۸، ۷۷، ۷۸، ۸۳].

***Declinognathodus noduliferus* Zone (A49-51)**

مرز زیرین این زیست زون با اولین حضور *D. noduliferus* s.l. Ellison and Graves 1941 در نمونه A49 (در مترای ۱۰۸ متری از قاعده برش) مشخص می‌شود. کنودونت‌های حاضر در مترای ۱۰۸ تا ۱۳۵ متری شامل *D. noduliferus* و *Declinognathodus praenoduliferus* Nemirovskaya and Nigmatdaganov 1992 می‌باشند.

***Idiognathoides sinuatus* – *Rachistognathus minutus* Zone (A51-A53)**

این زیست زون متعلق به middle Bashkirian می‌باشد و مرز زیرین این زیست زون با اولین حضور گونه‌های *Idiognathodus sinuosus*. Ellison and Graves, و *Rachistognathus minutus minutus* (Higgins and Bouckaert 1968) 1941 مشخص می‌شود که گستره سنی آنها از lower Morrowan (base of *sinuatus-minutus* Zone) در آمریکای شمالی است (وارکر و همکاران، ۱۹۹۱^{۲۰}). این زیست زون با اولین حضور آهک‌های میکرایتی ضخیم لایه که با مرزی واضح بر روی

²⁰ Varker et al., 1991

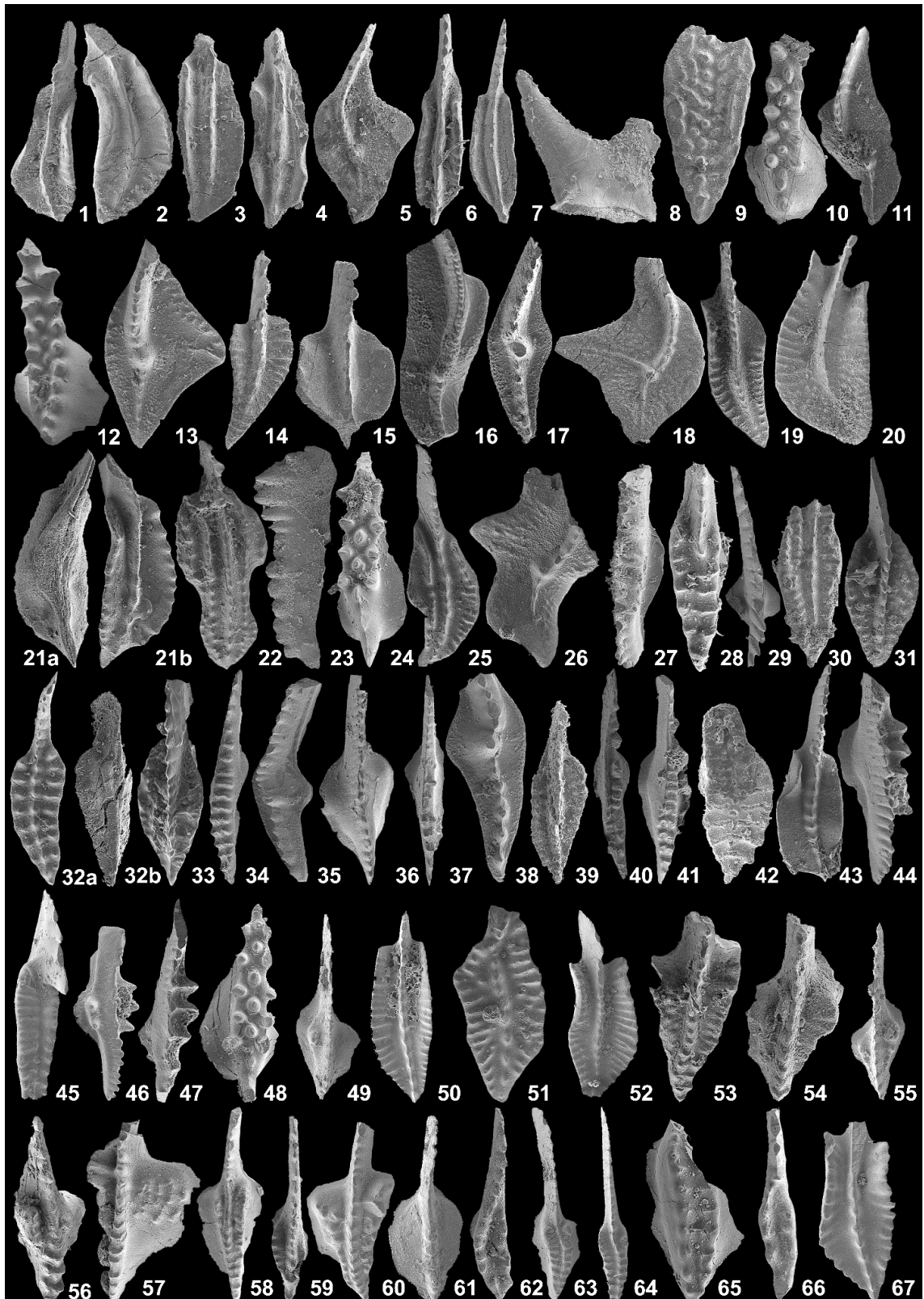


Fig.1- *Polygnathus aequalis* Klapper and Lane, 1985; Upper view of IUMC 222, sample A4, X 289, Fig. 2- *Polygnathus alatus* Huddle, 1934; Upper view of IUMC 222, sample A4, X 289, Fig. 3- *Polygnathus cf. politus* Ovnatanova, 1969; Upper view of IUMC 125, sample A6, X 131, Fig. 4- *Polygnathus cf. xylus* Stauffer, 1940, Upper view of IUMC 103, sample A4, X 205. Fig. 5- *Palmatolepis triangularis* Sannemann, 1955; Upper view of IUMC 101, sample A7, X 140, Fig. 6- *Polygnathus aspelundi aspelundi* Savage and Funai, 1980; Upper view of IUMC 222, sample A8, X 300, Fig. 7- *Polygnathus brevilaminus* Branson and Mehl, 1934a; Upper view of IUMC 125, sample A13, X 131, Fig. 8- *Pelekysgnathus inclinatus* Thomas, 1949; Lateral view of IUMC 124, sample A10, X 140, Fig.9- *Ancyrognathus sinelaminus* (Branson and Mehl, 1934); Upper view of IUMC 100, sample A10, X 127, Fig. 10- *Icriodus alternathus alternathus* Branson and Mehl, 1934; Upper view of IUMC 105, sample A11, X 216, Fig. 11- *Palmatolepis perlobata perlobata* Ulrich and Basler, 1926; Upper view of IUMC 160, sample A12, X 143, Fig. 12- *Icriodus alternathus helmsi* Sandberg et Dreesen, 1984; Upper view of IUMC 146, sample A15, X 137, Fig. 13- *Palmatolepis minuta loba* Helms, 1963; Upper view of IUMC 167, sample A14, X 179, Fig. 14- *Polygnathus semicostatus* Branson and Mehl, 1934; Upper view of IUMC 119, sample A16, X 141, Fig. 15- *Polygnathus cf. communis communis* Branson and Mehl, 1934; Upper view of IUMC 108, sample A15, X 188, Fig. 16- *Palmatolepis glabra pectinata* Ziegler, 1962; Upper view of IUMC 207, sample A17, X 127, Fig. 17- *Palmatolepis minuta minuta* Branson and Mehl, 1934a; Upper view of IUMC 148, sample A17, X 120, Fig. 18- *Palmatolepis quadrantinosalobata* Sannemann, 1955a; Upper view of IUMC 102, sample A17, X 161, Fig. 19- *Polygnathus padovani*, Perri and Spalletta, 1990; Upper view of IUMC 158, sample A18, X 201, Fig. 20- *Polygnathus webbi* Stauffer 1938; Upper view of IUMC 222, sample A4, X 289, Fig. 21- *Polygnathus aff. subnormalis* Vorontsova and Kuzmin, 1984; Upper (a) and lower (b) view of IUMC 196, sample A18, X 181, Fig. 22- *Polygnathus triphylatus* Ziegler, 1960; Upper view of IUMC 170, sample A20, X 142, Fig. 23- *Mehlina strigosa* (Branson and Mehl 1934); Lateral view of IUMC 185, sample A19, X 97, Fig. 24- *Icriodus cf. cornutus* Sannemann, 1955; Upper lateral view of IUMC 139, sample A19, X 261, Fig. 25- *Polygnathus inconcinus* Kuzmin and Melnikova, 1991; Upper view of IUMC 206, sample A19, X 86, Fig. 26- *Palmatolepis perlobata maxima* Müller, 1956; Upper view of IUMC 198, sample A19, X 126, Fig. 27- *Bispathodus stablis vulgaris* (Dzik, 2006) Branson and Mehl, 1934; Upper view of IUMC 128, sample A21, X 216, Fig. 28- *Scaphignathus velifer velifer* Helms, 1959; Upper view of IUMC 125, sample A21, X 131, Fig. 29- *Branmehla bohlenana* Helms, 1959; Upper view of IUMC 155, sample A21, X 172, Fig. 30- *Polygnathus nodocostatus* Branson and Mehl, 1934; Upper view of IUMC 125, sample A21, X 131, Fig. 31- *Polygnathus granulatus* Branson and Mehl, 1934a; Upper view of IUMC 177, sample A21, X 197, Fig. 32- *Alternognathus regularis regularis* Ziegler and Andberg, 1984; Upper (a) and lower (b) views of IUMC 186, sample A21, X 123, Fig. 33- *Polygnathus perplexus* Thomas, 1949; Upper lateral view of IUMC 157, sample A21, X 201, Fig. 34- *Scaphignathus velifer leptus* Ziegler and Sandberg 1984; Upper view of IUMC 197, sample A23, X 125, Fig.35- *Palmatolepis gracilis sigmoidalis* Ziegler, 1962a; Upper-lateral view of IUMC 187, sample A22, X 122, Fig. 36- *Bispathodus stabilis stabilis* (Branson and Mehl, 1934a); Upper lateral view of IUMC 164, sample A22, X 201, Fig. 37- *Bispathodus bispathodus* Ziegler, Sandberg and Austin, 1974; Upper view of IUMC 188, sample A26, X 144, Fig. 38- *Palmatolepis gracilis expansa* Sandberg and Ziegler, 1979 Morphotyp 1; Upper view of IUMC 141, sample A24, X 201, Fig. 39- *Polygnathus delicatulus* Ulrich and Bassler, 1926; Upper view of IUMC 125, sample A26, X 131, Fig. 40- *Bispathodus costatus* (Branson,1934) Morphotyp 1; Upper lateral view of IUMC 193, sample A25, X 108, Fig. 41- *Bispathodus jugosus* (Branson and Mehl 1934a); Upper view of IUMC 200, sample A24, X 108, Fig. 42- *Bispathodus ultimus* Bischoff, 1957; Upper view of IUMC 181, sample A27, X 138, Fig. 43- *Polygnathus communis collinsoni* Druce 1969; Upper view of IUMC 189, sample A26, X 143, Fig. 44- *Bispathodus aculeatus aculeatus* Branson and Mehl, 1934a; Upper lateral view of IUMC 175, sample A25, X 161, Fig. 45- *CLydnathus ormistoni* Beinen, Klapper, Sandberg k Ziegler, 1971; Upper view of IUMC 222, sample A24, X 289, Fig. 46- *Pseudopolygnathus cf. primus* **Branson and Mehl, 1934b**; Upper view of IUMC 125, sample A27, X 131, Fig. 47- *Bispathodus spinulicostatus* (Branson, 1934) Morphotyp 1; Upper lateral view of IUMC 144, sample A26, X 183, Fig. 48- *Icriodus costatus darbyensis* Klapper, 1958; Upper view of IUMC 120, sample A28, X 159, Fig. 49- *Protognathodus collinsoni* Ziegler, 1969; Upper view of IUMC 222, sample A31, X 289, Fig. 50- *Polygnathus inornatus* E. R Branson, 1934; Upper view of IUMC 222, sample A30, X 289, Fig. 51- *Polygnathus tichonovitchi* Kuzmin and Melinkova, 1991; Upper view of IUMC 165, sample A13, X 201, Fig. 52- *Polygnathus parapetus* Druce, 1969;19) Upper view of IUMC 222, sample A32, X 289, Fig. 53- *Gnathodus cuneiformis* Mehl and Thomas, 1947; Upper view of IUMC 211, sample A35, X 188, Fig. 54- *Gnathodus semiglaber* **Bischoff, 1957**; Upper view of IUMC 216, sample A35, X 178. Fig. 55- *Gnathodus typicus* Cooper, 1939; Upper view of IUMC 222, sample A36, X 289, Fig.56- *Gnathodus pseudosemiglaber* Thomson and Fellow, 1970; Upper view of IUMC 209, sample A37, X 143, Fig.57- *Gnathodus bilineatus* Roundy, 1926; Upper view of IUMC 213, sample A38, X 130, Fig. 58- *Gnathodus girty girty* Hass, 1953; Upper view of IUMC

214, sample A38, X 130, Fig. 59- *Gnathodus girtyi simpLex* Dunn, 1965; Upper view of IUMC 210, sample A38, X 196, Fig. 60- *Gnathodus delicatus* Branson and Mehl, 1938; Upper view of IUMC 222, sample A38, X 289, Fig. 61- *Loebria commutata* (Branson and Mehl, 1941); Upper view of IUMC 222, sample A39, X 289, Fig. 62- *Rhachistognathodus muricatus* Dunn, 1965; Upper view of IUMC 219, sample A48, X 155, Fig. 63- *Declinognathus noduliferus* s.l. (Ellison and Graves, 1941), Upper view of IUMC 222, sample A50, X 289, Fig. 64- *Declinognathus praenoduliferus* Nigmadganov and Nemirovskaya, 1992; Upper view of IUMC 222, sample A49, X 289, Fig. 65- *Idiognathodus sinus* Ellison and Graves, 1941; Upper view of IUMC 221, sample A52, X 280, Fig. 66- *Rhachistognathodus minutus minutus* (Higgins and Bouckaert, 1968); Upper lateral view of IUMC 212, sample A46, X 150, Fig. 67- *Polygnathus inornatus inornatus* Branson, 1934; Upper view of IUMC 222, sample A30, X 289.

۵- تغییرات سطح آب دریا و محیط دیرینه برش انارک

بر اساس مطالعات سندبرگ و دریسن، ۱۹۸۴، ۹ رخساره کنودونتی برای نهشته‌های دونین پسین پیشنهاد شد که به شرح ذیل می باشد (شکل ۶):

- I. Palmatolepid or Palmatolepid-bispathoid (outer shelf)
- II. Palmatolepid – polygnathid (middle-outer shelf)
- III. Polygnathid-icriodid (middle-inner shelf)
- IV. Polygnathid – pelekysgnathid (inner shelf)
- V. Clydagnathid (various restricted marine and peritidal setting)
- VI. Scaphignathid (various restricted marine and peritidal setting)
- VII. Patrognathid (various restricted marine and peritidal setting)
- VIII. Pandorinellid (various restricted marine and peritidal setting)
- IX. Antognathid (various restricted marine and peritidal setting)

همچنین بر طبق مطالعات سندبرگ و گاسشیک، ۱۹۸۴^{۲۱} در مدل ارائه شده ۷ رخساره زیستی از نواحی عمیق تا ساحلی به شرح زیر برای محدوده کرینفر زیرین (می سی سی سین) ارائه گردیده است (شکل ۷):

- I. Bispathoid (starved basin).
- II. Scaliognathid-doliognathid (starved basin and lower slope).
- III. Gnathodid-pseudopolygnathid (fore slope).
- IV. Eotaphrid (shelf edge).
- V. Hindeodellid (outer platform).
- VI. Pandorinellid (inner platform)
- VII. Mestognathid (tidal lagoon and sabkha).

²¹ Sandberg and Gutschick, 1984

Upper Devonian	sedimentary environment	shelf					various restricted marine and peritidal setting
		outer		middle	inner		
	conodont biofacies	Palmatolepid or Palmatolepid-bispathoid		Palmatolepid polygnathid	Polygnathid -icriodid	Polygnathid -pelekysgnathid	Scaphignathid Clydagnathid
	conodont biozones	Z2 Z12 Z13 Z15	Z4 Z10 Z11 Z14	Z8 Z2	Z1 Z6 Z7 Z9	Z3 Z5 Z6	Z3
environmental reconstruction							

- Z1: *Palmatolepis winchelli* to *Ancyrognathus ubiquitousus* zones Z9: *Scaphignathus velifer velifer* to *Palmatolepis rugose trachytera* zones
 Z2: *Palmatolepis triangularis* Zone Z10: *Pseudopolygnathus granulosus* Zone
 Z3: *Palmatolepis delicatula platys* to *Palmatolepis minuta minuta* zones Z11: *Polygnathus styriacus* to *Palmatolepis gracilis manca* zones
 Z4: *Palmatolepis crepida* Zone Z12: *Palmatolepis gracilis expansa* Zone
 Z5: *Palmatolepis termini* Zone Z13: *Bispathodus aculeatus aculeatus* Zone
 Z6: *Palmatolepis glabra pectinata* to *Palmatolepis rhomboidea* zones Z14: *Bispathodus costatus* Zone
 Z7: *Palmatolepis gracilis gracilis* Zone Z15: *Bispathodus ultimus* Zone
 Z8: *Palmatolepis marginifera* Zone

شکل ۶- مدل رخساره‌های زیستی دونین پسین در برش مورد مطالعه (اقتباس از سندبرگ و دریسن، ۱۹۸۴ و تغییر توسط نگارنده).

Lower Carboniferous	sedimentary environment	Starved basin		Foreslope lower middle upper		Carbonate platform outer middle inner			Tidal lagoon
	conodont biofacies	Bispathoid	Scaliognathid-doliognathid	Gnathodid-pseudopolygnathid		Eotaphrid	Hindeodellid	Pandorinellid	Mes-tognathid
	conodont biozones			Z17 Z18 Z19	Z16 Z20				
	environmental reconstruction								

- Z16: *Protognathodus kockeli* - *L. Siphonodella crenulata* zones Z19: Upper *Gnathodus texanus* to *Adetognathus unicornis* zones
 Z17: *Siphonodella isosticha* - *U. Siphonodella crenulata* to Upper *Gnathodus typicus* zones
 Z18: *Scaliognathus anchoralis-Doliognathus latus* Zone Z20: *Rhachistognathus muricatus* Zone

شکل ۷- مدل رخساره‌های زیستی کربنیفر پیشین برش مورد مطالعه (اقتباس از سندبرگ و گاسشیک، ۱۹۸۴، تغییر توسط نگارنده).

در بررسی برش مورد مطالعه در زمان‌های دونین پسین-کربونیفر پیشین از تلفیق دو مدل ذکر شده استفاده گردیده است. در فرازین پسین که لیتولوژی شامل آهک‌های خاکستری رنگ با لایه‌بندی متوسط تا ضخیم پرفسیل است؛ در محدوده زیست زون (*Palmatolepis winchelli* to *Ancyrognathus ubiquitus* zones) با حضور انواع گونه‌های جنس *Polygnathus* (به فراوانی ۱۰۰٪) و شامل: *Polygnathus cf. politus*، *Polygnathus cf. alatus*، *Polygnathus webbi* و *Polygnathus aequalis* و *Polygnathus cf. xylus* همراه می‌باشد؛ که در این بین *Polygnathus cf. xylus* بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده است. رخساره زیستی مربوط به این زمان *Polygnathid biofacies*، رخساره‌ی مربوط به شلف میانی است. در شروع فامنین با لیتولوژی آهک‌های مارنی سفید تا خاکستری نودولار با میان لایه‌های نازک شیل قرمز، در محدوده زیست زون (*Palmatolepis triangularis* Zone) افزایش عمق بر اساس رخساره‌های زیستی رخ داده؛ به طوری که نمونه A7 با میزان ۱۰۰٪ فراوانی گونه‌های جنس *Palmatolepis* (پلاژیک) دارای رخساره زیستی *Palmatolepid* *Polygnathid biofacies* مربوط به شلف خارجی است. در نمونه A8 فراوانی جنس *Palmatolepis* و *Polygnathus* به میزان مساوی و دارای رخساره زیستی *Palmatolepid - polygnathid biofacies* (مربوط به بخش‌های خارجی و میانی شلف) است و در نمونه A9 فراوانی جنس *Polygnathus* حدود ۸۵٪ و *Palmatolepis* حدود ۱۵٪ می‌باشد که معرف رخساره زیستی *Polygnathid biofacies* می‌باشد. در ادامه روند کم عمق شوندگی زیست رخساره ها ادامه پیدا کرده به حدی که در زیست زون (*Palmatolepis delicatula platys* to *Palmatolepis minuta minuta* zones) فراوانی جنس *Pelekysgnathus* (۷۵٪) افزایش یافته؛ که معرف رخساره‌ی *Polygnathid - pelekysgnathid biofacies* نزدیک به ساحل (شلف داخلی) است. لیتولوژی در این بخش شامل آهک‌های پرفسیل (از جمله براکیوپود) است و فون همراه آن جنس *Ancyrognathus* است. در انتهای زیست زون مذکور (A13) روند عمیق شوندگی با رخساره‌ی زیستی *Polygnathid-icriodid biofacies* مربوط به شلف داخلی مشاهده می‌گردد. فون همراه آن *Palmatolepis* است و لیتولوژی در این بخش شامل آهک‌های مارنی خاکستری رنگ فسیل‌دار می‌باشد. این روند عمیق شوندگی تا زیست زون بعدی (*Palmatolepis crepida* Zone) ادامه پیدا کرده به طوری که در A15 فراوانی *Palmatolepis* به حدود ۷۱.۵٪ می‌رسد و معرف رخساره زیستی *Palmatolepid biofacies* مربوط به شلف خارجی می‌باشد فون همراه آن *Icriodus* می‌باشد. در زیست زون ۵ (*Palmatolepis termini* Zone) با لیتولوژی آهک مارنی متوسط لایه، کاهش عمق آب با افزایش *Icriodus* (به میزان ۶۲.۵٪) و کاهش فراوانی *Palmatolepis* به میزان ۲۵٪ و *Polygnathus* به میزان ۱۲.۵٪ (رخساره‌ی زیستی *Polygnathid-icriodid biofacies* مربوط به شلف داخلی) است. در زیست زون ۶ (*Palmatolepis glabra*) و زیست زون ۷ (*Palmatolepis pectinata* to *Palmatolepis rhomboidea* zones) فراوانی *Icriodus* حدود ۵۳.۵٪ در معیت با *Polygnathus* (۲۰٪) و *Palmatolepis* (۲۶.۵٪) است و رخساره زیستی (*Polygnathid-icriodid biofacies*) و لیتولوژی این بخش کماکان آهک مارنی متوسط لایه می‌باشد. در A18 فراوانی *Polygnathus* به حدود ۸۱٪ رسیده که در همراهی با *Palmatolepis* است و بیانگر رخساره‌ی زیستی *Polygnathid biofacies* می‌باشد، لیتولوژی این بخش شامل آهک‌های مارنی متوسط لایه با میان لایه‌های شیل قرمز به میزان اندک است. زیست زون بعدی (*Palmatolepis gracilis gracilis* Zone) نیز با داشتن فراوانی حدود ۵۰٪ *Mehlina + Polygnathus* و همراهی سایر فون‌ها (*Palmatolepis* و *Icriodus*)، همچنان رخساره زیستی *Polygnathid biofacies* را نشان می‌دهد و از نظر لیتولوژی شامل آهک‌های مارنی متوسط لایه می‌باشد. در زیست زون (*Palmatolepis marginifera* Zone) با افزایش فراوانی (*Bispathodus + Palmatolepis*)، رخساره

زیستی *Palmatolepid – polygnathid biofacies* می‌باشد و لیتولوژی شامل آهک های مارنی متوسط لایه است. زیست زون *Scaphignathus velifer velifer to Palmatolepis rugose trachytera zones* دارای تنوع فونی بالاست (*Polygnathus, Alternognathus, Scaphygnathus, Branmehla, Palmatolepis, Icriodus, Bispathodus*) ولی با توجه به درصد بالای فراوانی *Polygnathus* (۵۰٪) رخساره زیستی *Polygnathid biofacies* می‌باشد. زون زیستی *Pseudopolygnathus granulosis Zone* دارای لیتولوژی آهک مارنی است. افزایش فراوانی (*Bispathodus +*) *Palmatolepis* نشان دهنده رخساره زیستی *Palmatolepid-bispathoid biofacies* است و فون های همراه *Mehlina* و *Scaphygnathus* می‌باشند. نهشته‌های موجود در زیست زون‌های بعدی تا مرز دونین همگی گویای زیست رخساره *Bispathoid biofacies* هستند که به بخش شلف خارجی مربوط می‌باشند لیتولوژی نیز از آهک‌های خاکستری متوسط لایه و مارنی تا آهک‌های متوسط لایه دارای میان لایه شیل قرمز متغیر است. اولین زیست زون کربونیفر (*Protognathodus –*) *Gnathodid-pseudopolygnathid* است و پس از آن *Polygnathid biofacies* به میزان ۱۰۰٪ است که معرف از جنس *Gnathodus*؛ *Locheria*؛ *Rhachistognathus*؛ *Idiognathodus* و *Declinognathodus* در بخش های بالایی کربونیفر که همگی از جنس های کنودونتی شاخص آب های عمیق می باشند حاکی از افزایش نسبی سطح آب تا کربنیفر پسین می باشد.

همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده منحنی تغییرات سطح آب دریا بر اساس فراوانی فون های کنودونتی ترسیم و با منحنی تغییرات سطح آب در (جانسون و همکاران، ۱۹۸۵؛ جانسون و سندبرگ، ۱۹۸۹) *Euramerica* مربوط به بخش دونین پسین و بخش کربونیفر حوضه اروپا (اسمیت و رید، ۲۰۰۰؛ ایسبل و همکاران، ۲۰۰۳؛ مینینگ و همکاران، ۲۰۰۶؛ داویدو و همکاران، ۲۰۱۲، سلترمن و توماس، ۲۰۱۲) و منحنی تغییرات سطح آب جهانی (حق و شالتر، ۲۰۰۸) مقایسه شده است. این مقایسه حاکی از استقرار پلتفرم ایران مرکزی در بخش های کم عمق حوضه پالتوتیس نسبت به برش های حوضه اروپا و آمریکا می باشد.

²² Johnson et al., 1985

²³ Johnson and Sandberg, 1989

²⁴ Smith and Read, 2000

²⁵ Isbell et al., 2003

²⁶ Menning et al., 2006

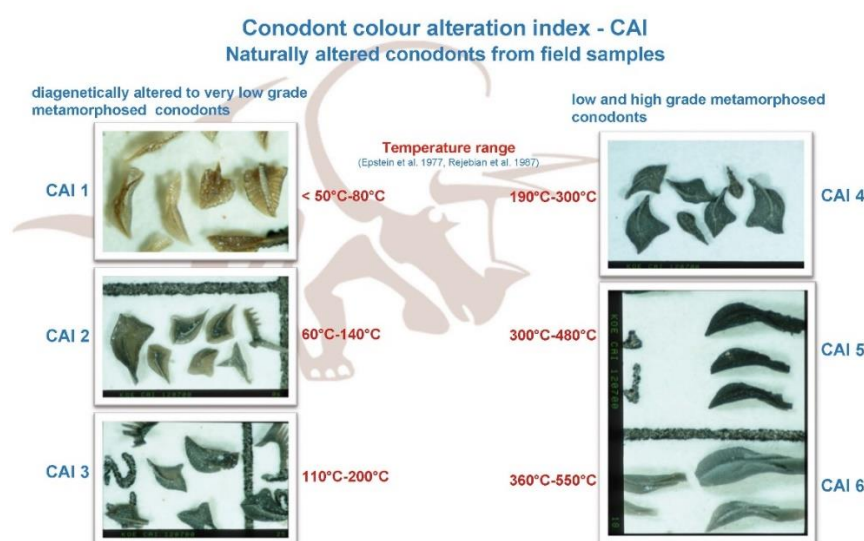
²⁷ Davydov et al., 2012

²⁸ Saltzman and Thomas, 2012

²⁹ Haq and Schalter, 2008

۶- تعیین اندیس تغییر رنگ کنودونت ها

رنگ کنودونت‌ها فرایندی بی بازگشت است؛ که به سه عامل (عمق، میزان زمان دفن شدگی و گرادیان حرارتی) وابسته است [۳۲، ۴۱، ۷۳]. با بررسی دقیق ریزساختارهای موجود در عناصر کنودونتی میتوان علت تغییر رنگ آنها را شناسایی کرد و از طرفی دیگر با بررسی اندیس تغییر رنگ کنودونت‌ها میتوان بلوغ بافتی، متامورفیسم و میزان حرارت افق‌های کنودونت دار و در نهایت دمای لازم جهت حضور یا عدم حضور مواد هیدروکربوری را بررسی نمود [۶۵، ۶۶]. بر طبق جدول استاندارد اندیس تغییر رنگ کنودونت‌ها در برش مورد مطالعه بین ۱/۵ تا ۵/۵ می‌باشد که حرارت ۶۰ درجه تا ۵۰۰ درجه را نشان می‌دهند. عناصر کنودونتی در زیست زون های فرازین تیره (11-a) CAI=4، در فامنین رنگ روشن CAI= 1.5-2 (11-b,c) و در کربنیفر مجدداً رنگ تیره (11-d,e) CAI= 5-5.5 را نشان می‌دهند (شکل ۱۰). وجود مجموعه دگرگونی، دیابازها و عملکرد گسل ها با سن های مختلف (باقری و استامفلی، ۲۰۰۸) در منطقه از عوامل مهم تغییر رنگ کنودونت‌ها در برش مذکور می باشند.



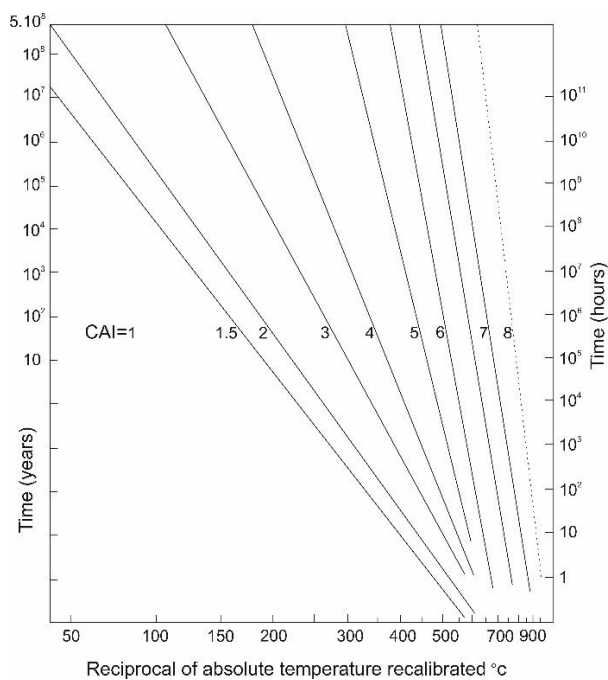
شکل ۱۰- جدول استاندارد تغییر رنگ کنودونت‌ها به همراه دمای تثبیت درصد کربن (اپستین و همکاران، ۱۹۷۷)



شکل ۱۱- تعیین رنگ عناصر کنودونتی در برش انارک

° C	Organic Metamorphic Facies	Conodonts CAI Ranges	Associated Hydrocarbons	Vitrinite reflectance %Ro
-50	Immature	1	Early dry gas, wet gas and oil	0.70 - 0.85
	Incipient maturation	1½		
-100	Mature	2	Heavy to light oil and wet gas	0.85 - 1.30
	Liquid window			
-150		3		1.40 - 1.95
-200	Supermature	4	Dry gas or Barren	1.95 - 3.60
-250				

شکل ۱۲- جدول شاخص تغییر رنگ کنodont ها در ارتباط با درجات رخساره های دگرگونی زیستی و رابطه آن با حضور یا عدم حضور هیدروکربور (اپستین و همکاران، ۱۹۷۷^{۳۱})



شکل ۱۳- نمودار رابطه زمان رسوب گذاری و درجه حرارت (اپستین و همکاران، ۱۹۷۷)

³¹ Epstein et al., 1977

۷- نتیجه گیری

بررسی برش انارک در حاشیه غربی ورقه ایران مرکزی منجر به شناسایی تعداد ۶۷ گونه‌ی کنودونتی از ۱۸ جنس گردید که بر این اساس ۲۲ زون زیستی مربوط به زمان‌های دونین پسین تا کربونیفر تفکیک گردید. همچنین ۳ مرز زیستی فرازنین-فامنین، دونین-کربنیفر و کربنیفر زیرین-بالایی در برش مذکور تشخیص داده شد. بررسی فونای کنودونتی، زیست رخساره های کنودونتی و فراوانی فونای کنودونتی در برش انارک و بررسی رخساره های سنگی حاکی از استقرار پلنفرم ایران مرکزی در بخش های کم عمق پالئوتتیس نسبت به برش های حوضه اروپا و آمریکا می باشد. حضور و فراوانی کنودونت های جنس پالماتولپیس و بیسپاتودوس در فامنین پسین و جنس های گناتودوس، ایدیوگناتودوس، راجیستوگناتوس در کربنیفر این برش حاکی از شباهت حوضه ای برش انارک با حوضه طبس می باشد. همچنین بررسی اندیس تغییر رنگ کنودنت ها حاکی از کاهش میزان CAI در فامنین نسبت به فرازنین و کربنیفر می باشد.

سپاس و قدردانی

مقاله حاضر برگرفته از پایان نامه دکتری نویسنده اول در گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان می باشد که بدین وسیله از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه اصفهان سپاسگزاری می گردد. همچنین نگارندگان از حمایت های علمی و لجستیکی گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان نیز قدردانی می نمایند. همچنین از داوران مقاله آقایان دکتر مهدی یزدی و دکتر حامد عامری تشکر و قدردانی می گردد.

منابع

- [1] براری، ع.، حمدی، ب.، و مصدق، ح.، ۱۳۹۱، تغییرات دیرینه‌شناختی رسوبات کربنیفر در برش سیمه‌کوه (شمال‌دامغان) با معرفی 4 زون کنودونتی: علوم زمین، جلد ۸۴، صفحه ۳۴-۴۲.
- [2] بهرامی، ع.، و یزدی، م.، ۱۳۹۱، رخساره زیستی کنودونت‌های مرز دونین-کربونیفر در ایران مرکزی (برش قلعه‌کلاغو، حوض‌دو راه ۱ و ۲) و مقایسه آن با برش‌های حوضه آلپ در اروپا و ارتباط آنها باحادثه زیستی هنگنبرگ: پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، جلد ۴۹، شماره ۴، صفحه ۵۹-۸۰.
- [3] پرویزی، ط.، بهرامی، ع.، کایسر، س.ا.، و کونینگشوف، پ.، ۱۳۹۹، زیست چینه‌نگاری نهشته‌های دونین پایانی-کربونیفر آغازین در برش تیل آباد، شمال شرق شاهرود، البرز شرقی: پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، اصفهان، ایران، جلد ۷۸، صفحه ۸۹-۱۱۴.
- [4] ALBERTI, H., GROOS-UFFENORDE, H., STREEL, M., UFFEN-ORDE, H. and WALLISER, O.H., 1974, The stratigraphical significance of the Protognathodus fauna from Stockum (Devonian/Carboniferous boundary): *Rhenish*, 263-276.
- [5] AMLER, M.R., 1993, Shallow marine bivalves at the Devonian/Carboniferous boundary from the Velbert Anticline (Rheinisches Schiefergebirge): *de Annales de la Societe geologique Belgique*, **115**, 405-423.
- [6] ASHOURI, A.R., 1990, Devonian and Carboniferous conodont faunas from Iran. Ph.D. thesis, University of Hull, 351.
- [7] ASHOURI, A.R., 1997b, Revision in stratigraphical position of Cephalopod Bed and Devonian-Carboniferous boundary in the Howz-e-Dorah and introducing five conodont zones: *Journal of Geosciences*, **6**, 10-17 [in Persian].
- [8] ASHOURI, A.R., 1998, The Devonian-Carboniferous boundary in the Ozbak-Kuh area: *Geosciences Scientific Quarterly Journal*, **7**, 47-53 [in Persian].
- [9] ASHOURI, A.R., 2006, Middle Devonian – Early Carboniferous conodont fauna from the Khoshyeilagh Formation Alborz Mountains, north Iran: *Journal of Scientific Research*, **17**, 53-65.

- [10] BAGHERI, S. and STAMPFLI, G., 2008, The Anarak, Jandaq and Posht-e-Badam metamorphic complexes in central Iran: new geological data, relationships and tectonic implications: *Tectonophysics*, **451**, 123–155.
- [11] BAHRAMI, A., CORRADINI C. and YAZDI, M., 2011a, Upper Devonian-Lower Carboniferous conodont biostratigraphy in Shotori rang, Tabas area, Central Iran Microplate: *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, **50**, 35-53.
- [12] BAHRAMI, A., GHOLAMALIAN A., CORRADINI C. and YAZDI, M., 2011b, Upper Devonian conodont biostratigraphy of Shamsabad section, Kerman province, Iran: *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, **117**, 199-209.
- [13] BAHRAMI, A., KÖNIGSHOF, P., VAZIRI-MOGHADDAM, H., SHAKERI, B. and BONCHEVA, I., 2019, Conodont stratigraphy and conodont biofacies of the shallow-water Kuh-e-Bande-Abdol-Hosseini section (SE Anarak, Central Iran): Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments, **99**, 477–494.
- [14] BAKHTIARI, S., 2005, Road atlas of Iran Gitashenasi: *Geological and Cartographic Institute*, 1:1000,000: Tehran, Iran.
- [15] BAESEMANN, J. F. and LANE, H. R., 1985, Taxonomy and evolution of the genus *Rhachistognathus* Dunn (Conodonts; Late Mississippian to early middle Pennsylvanian): *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, **74**, 93–136.
- [16] BECKER, R.T., 1993a, Analysis of ammonoid palaeo-geography in relation to the global Hangenberg (terminal Devonian) and Lower Alum Shale (Middle Tournaisian) Events: *Annales de la Societe geologique Belgique*, **115**, 459–473.
- [17] BECKER, R.T., 1993b, Anoxia, eustatic changes and Upper Devonian to lowermost Carboniferous global ammonoid diversity: In: House, M.R. (Ed.), 1993, The Ammonoidea: Environment, Ecology and Evolutionary Change: *The Systematics Association Special Volume*, **47**, 115–163, Clarendon Press, Oxford.
- [18] BECKER, R.T., 1996, New faunal records and holostratigraphic correlation of the Hasselbachtal D/C boundary auxiliary stratotype (Germany): *Annales de la Societe geologique de Belgique*, **117**, 19–45.
- [19] BECKER, R.T., KAISER, S.I. and ARETZ, M., 2016, Review of chrono-, litho- and biostratigraphy across the global Hangenberg Crisis and Devonian–Carboniferous Boundary: In: Becker, R.T., Königshof, P. and Brett, C.E. (Eds.), 2016, Devonian Climate, Sea Level and Evolutionary Events: Geological Society, London, Special Publications, 423.
- [20] BELKA, Z. and KORN, D., 1994, Re-evaluation of the Early Carboniferous conodont succession in the Esla area of the Cantabrian Zone (Cantabrian Mountains, Spain): *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, **168**, 183-193.
- [21] BEINERT, R.J., KLAPPER, G., SANDBERG, C.A. and ZIEGLER, W., 1971, Revision of *Scaphignathus* and description of *Clydagnathus ormistoni* n. sp. (Conodonts, Upper Devonian): *Geologica et Palaeontologica*, **5**, 81-91.
- [22] BERBERIAN, M. and KING, G.C.P., 1981, Toward a Paleogeographic and Tectonic evolution of Iran: *Canadian Journal of Earth Sciences*, **18**, 210–265.
- [23] BERRA, F., ZANCHI, A., ANGIOLINI, L., VACHARD, D., VEZZOLI, G., ZANCHETTA, S., BERGOMI, M., JAVADI, H.J. and KOUHPEIMA, M., 2017, The Upper Palaeozoic Godar–e–Siah Complex of Jandaq: Evidence and significance of a north Palaeotethyan succession in Central Iran: *Journal of Asian Earth Sciences*, **138**, 272–290.
- [24] BISCHOFF, G., 1957, Die Conodonten-Stratigraphie des rhenohertzynischen Unterkarbons mit Berücksichtigung der Wocklumeria-Stufe und der Devon-Karbon Grenze: *Abhandlungen des Hessisches Landesamt für Bodenforschung*, **84**, 115–137.
- [25] BLESS, M.J.M., BECKER, R.T., HIGGS, K., PAPROTH, E. and STREEL, M., 1993, Eustatic cycles around the Devonian Carboniferous boundary and the sedimentary and fossil record in Sauerland (Federal Republic Germany): *Annales de la Societe geologique de Belgique*, **115**, 689-702.
- [26] BLUMENSTENGEL, H., 1993, Ostracodes from the Devonian Carboniferous boundary beds in Thuringia (Germany): *Annales de la Societe geologique de Belgique*, **115**, 115-483.
- [27] BRANSON, E.B. and MEHL, M.G., 1934a, Conodonts from the Grassy Creek shale of Missouri: *Missouri University Studies*, **8**, 171–259.
- [28] BRANSON, E.R., 1934, Conodonts from the Hannibal Formation of Missouri: *Missouri University Studies*, **8**, 301–343.
- [29] BRECKLE, P.L., BAESEMANN, J.F., LANE, H.R., WEST, R.R., WEBSTER, G.O., LANGENHEIM, R.L., BRAND, U. and RICHARDS, B.C., 1997, Arrow Canyon, the Mid-Carboniferous boundary stratotype: In: BRECKLE, P.L. and PAGE, W.R. (Eds.), 1997, PaleoForams '97 Guidebook: PostConference field trip to the Arrow Canyon Range, southern Nevada, U.S.A.: Cushman Foundation for Foraminiferal Research Supplement to Special Publication, **36**, 13-32.

- [30] BULTYNCK, P., 2003, Devonian Icriodontidae: biostratigraphy, classification and remarks on paleoecology and dispersal: *Revista Espanola de Micropaleontologia*, **35**, 295-314.
- [31] CARMICHAEL, S., WATERS, J., KÖNIGSHOF, P., SUTTNER, T. and KIDO, E., 2019, Paleogeography and paleoenvironments of the Late Devonian Kellwasser Event: A review of its sedimentological and geochemical expression: *Global and Planetary Change*, **183**; <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.102984>.
- [32] CLARK, D. L., and ROSSER, S. V., 1976, Analysis of paleoecologic factors associated with the Triassic parachirognathus *Furnishius conodont* fauna in Utah 7 Nevada: *university of Wisconsin*, 269-303.
- [33] CORRADINI, C., 2003, Famennian (late Devonian) conodonts from the Corona Mizziu section (SE Sardinia, Italy): *Palaeontographia Italica*, **89**, 63-114.
- [34] CORRADINI, C., SPALLETTA, C., KAISER, S.I. and MATYJA, H., 2013, Conodonts across the Devonian/Carboniferous Boundary: *Conodonts from the Andes*, **51**, 13-16.
- [35] CORRADINI, C., SPALLETTA, C., MOSSONI, A., MATYJA, H. and OVER, D.J., 2016, Conodont across the Devonian/Carboniferous boundary: a review and implication for the redefinition of the boundary and a proposal for an updated conodont zonation: *Geological Magazine*, 1-15.
- [36] CORRADINI C., SPALLETTA C., MOSSONI A., MATYJA H. and OVER D.J., 2017a, Conodonts across the Devonian / Carboniferous boundary: a review and implication for the redefinition of the boundary and a proposal for an updated conodont zonation: *Geological Magazine*, **154**, 888-902.
- [37] CORRADINI, C., SCHONLAUB H. P. and KAISER, S.I., 2017b, The Devonian/Carboniferous boundary in the Grüne Schneid section: *International Conodont Symposium 4*, 271-275.
- [38] DAVYDOV, V., KORN, D. and SCHMITZ, M., 2012, The Carboniferous period in The Geologic Time Scale: In: Gradstein, F., Ogg, J.G., Schmitz, M. and Ogg, G. (Eds.), 2012, *Elsevier, Boston, Mass*, 603-651.
- [39] DUNN, D.L., 1966, New Pennsylvanian Platform Conodonts from southwestern United States: *Journal of Paleontology*, **40**, 1294-1303.
- [40] ELLISON, S.P. and GRAVES, R.W., 1941, Lower Pennsylvanian (Dimple Limestone) conodonts of the Marathon region, Texas: *School of Mines and Metallurgy*, **14**, 21.
- [41] EPSTEIN, A. G., EPSTEIN, J. B. and HARRIS, L.D. 1977, Conodont color Alteration an index to Organic Metamorphism: Geological Survey, Professional Paper, **995**, 1-27.
- [42] GIRARD, C., KLAPPER, G. and FEIST, R., 2005, Subdivision of the terminal Frasnian linguiformis conodont Zone, revision of the correlative interval of Montagne Noire Zone 13 and discussion of stratigraphically significant associated trilobites, 181-198: In: OVER, D.J., MORROW, J.R. and WIGNALL, P.B. (Eds.), 2005, *Understanding Late Devonian and Permian-Triassic Biotic and Climatic Events: Towards an Integrated Approach*, Developments in Palaeontology and Stratigraphy 20, Elsevier, Amsterdam.
- [43] GRADSTEIN, F.M., J.G., OGG, A.G., SMITH, F.P., AGTEBERG, W., BLEEKER, R.A., COOPER, V., DAVYDOV, P., GIBBARD, L.A., HINNOV, M.R., HOUSE, L., LOURENS, H-P., LUTERBACHER, J., MC ARTHUR, M.J., MELCHIN, L.J., ROBB, P.M., SADLER, J., SHERGOLD, M., VILLENEUVE, B.R., WARDLAW, J., ALI, H., BRINKHUIS, F.J., HILGEN, J., HOOKER, R.J., HOWARTH, A.H., KNOLL, J., LASKAR, S., MONECHI, J., POWELL, K.A., PLUMB, I., RAFFI, U., RÖHL, A., SANFILIPPO, B., SCHMITZ, N.J., SHACKLETON, G.A., SHIELDS, H., STRAUSS, J., VAN DAM, J., VEIZER, TH., VAN KOLFSCHOTEN and WILSON, D., 2004, *Geologic Time Scale 2004*: Cambridge University Press, 589.
- [44] HAQ, B.U. and SCHALTTTER, S.R., 2008, A Chronology of Paleozoic Sea-Level Changes, *Science*, v. 322, 64-68.
- [45] HARTENFELS, S., 2011, Die globalen Annulata-Events und die Dasberg-Krise (Famennium, Oberdevon) in Europa und Nord-Afrika: hochauflösende Conodonten-Stratigraphie, KarbonatMikrofazies, Paläoökologie und Paläodiversität: Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie, **105**, 17-527.
- [46] HASS, W. H., 1953, Conodonts of the Barnett Formation of Texas: United States Geological Survey Professional Paper, **243**, 69-94.
- [47] HELMS, J., 1959, Conodonten aus dem Saalfelder Oberdevon (Thuringen): *Geologie*, **8**, 634-677.
- [48] HELMS, J., 1961, Die "nodocostata-Gruppe" der Gattung *Polygnathus*: *Geologie*, **10**, 674-711.
- [49] HELMS, J., 1963, Zur Phylogense und Taxionomie von *Palmatolepis* (Conodontida, Oberdevon): *Geologie*, **12**, 449-485.
- [50] HIGGINS, A.C. and BOUCKAERT, J., 1968, Conodont stratigraphy and paleontology of the Namurian of Belgium: *Memoir du Service Geologique de Belgique*, **10**, 64.
- [51] HUDDLE, J. W., 1934, Conodonts from the New Albany Shale of Indiana: *Bulletin America Paleontology*, **21**, 1-136.

- [52] HUANG, C. and GONG, J., 2016, Timing and patterns of the Frasnian–Famennian event: Evidences from high-resolution conodont biostratigraphy and event stratigraphy at the Yangdi section, Guangxi, South China: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **448**, 317–338.
- [53] ISBELL, J.L., MILLER, M.F., WOLFE, K.L. and LENAHER, P., 2003, Timing of late Paleozoic glaciation in Gondwana: Was glaciation responsible for the development of Northern Hemisphere cyclothems?: *Special Paper of the Geological Society of America*, 5-24.
- [54] JI, Q. and ZIEGLER, W., 1993, The Lali section: an excellent reference section for Late Devonian in South China: *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, **157**, 183.
- [55] JOHNSON, J., KLAPPER, G. and SANDBERG, C. A., 1985, Devonian eustatic fluctuations in eurasia: *Geological Society American Bulletin*, **96**, 567-587.
- [56] JOHNSON, J.G. and SANDBERG, C.A., 1989, Devonian eustatic events in the Western United States and their biostratigraphic responses: In: McMillan, N.J., Embry, A.F. and Glass, D.J. (Eds.), 1989, Devonian of the World: *Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 14*, **3**, 171–179.
- [57] JOHNSON, J. G., KLAPPER, G. and ELRICK, M., 1996, Devonian transgressive-regressive cycles and biostratigraphy, northern Antelope Range, Nevada: establishment of reference horizons for global cycles: *Palaios*, 3-14.
- [58] KAISER, S.I., 2005, Mass Extinctions, Climatic and-Oceanographic Changes at the Devonian–Carboniferous Boundary. PhD thesis, Fakultät für Geowissenschaften, Ruhr-Universität Bochum, 120.
- [59] KAISER, S. I., BECKER, R. T., SPALLETTA, C. Steuber, T., 2009, High-resolution conodont stratigraphy, biofacies and extinctions around the Hangenberg Event in pelagic successions from Austria, Italy and France. *Palaeontographica Americana*, **63**, 97–139.
- [60] KAISER, S.I., STEUBER, T., BECKER, R.T. and JOACHIMSKI, M. M., 2006, Geochemical evidence for major environmental change at the Devonian–Carboniferous boundary in the Carnic Alps and the Rhenish Massif: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **240**, 146–160.
- [61] KAISER, S.I., ARETZ, M. and BECKER, R.T., 2015, The global Hangenberg Crisis (Devonian–Carboniferous transition): review of a first-order mass extinction, 387–437: In: BECKER, R.T., Kroh, A. and J. H. Nebelsick, 2010, Echinoderms and Oligo-Miocene Carbonate Systems: Potential applications in sedimentology and environmental Reconstruction, carbonate systems during the Oligocene-Miocene climatic transition, Wiley-Blackwell, 201-228.
- [62] KLAPPER, G. and ZIEGLER, W., 1979, Devonian conodont biostratigraphy: In House, M.R., Scrutton, C.T. and Bassett, M.G. (eds) *The Devonian System: Special Papers in Paleontology*, **23**, 199–224.
- [63] KLAPPER, G. and LANE, H. R., 1985, Upper Devonian (Frasnian) conodonts of the Polygnathus biofacies, N.W.T., Canada: *Journal of Paleontology*, **59**, 904–951.
- [64] KONIGSHOF, P., 1992, Der Farbänderungs index von conodonten (CAI) in paläozoischen Gesteinen (Mitteldevon bis Unterkarbon) des Rheinischen Schiefergebirges eine Ergänzung zur Vitritreflexion: *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, **146**, 1-115.
- [65] KONIGSHOF, P., 2003, Conodont deformation patterns and textural alteration in Paleozoic conodonts: examples from Germany and France: *Senckenbergiana lethae*, 149-156.
- [66] KRUMHARDT, A.P., HARRIS, A. and WATTS, K.F., 1996, Lithostratigraphy, microlithofacies and conodont biostratigraphy and biofacies of the Wahoo limestone (Carboniferous), Eastern Sadlerochit Mountains, Northeast Brooks Range, Alaska: United States Geological Survey Professional Paper, **1568**, 1–70.
- [67] LANE, H.R., SANDBERG, Ch. and ZIEGLER, W., 1980, Taxonomy and phylogeny of some Lower Carboniferous conodonts and preliminary standard post – Siphonodella zonation: *Geologica et Paleontologica*, **14**, 117–164.
- [68] LANE, H.R., BRECKLE, P.L., BAESEMANN, J.F. and RICHARDS, B.C., 1999, The IUGS boundary in the middle of the Carboniferous and: arrow Canyon, Nevada, USA. *Episodes*, **22**, 272–283.
- [69] LEVEN, E.J.A., DAVYDOV, V.I. and GORGIJ, M.N., 2006, Pennsylvanian Stratigraphy and Fusulinids of Central and Eastern Iran: *Palaeontol. Electronica*, **9**, 1-36.
- [70] MENNING, M., ALEKSEEVE, A. S., CHUVASHOV, B.I. and DAVYDO, V., 2006, Global time scale and regional stratigraphic reference scales of Central and West Europe, East Europe, Tethys, South China and North America as used in the Devonian-Carboniferous-Permian Correlation Chart 2003 (DCP 2003): [Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology](#), **240**, 318-372.
- [71] MEISCHNER, D. and NEMYROVSKA, T., 1999, Origin of Gnathodus bilineatus (Roundy, 1926) related to goniatite zonation in Rhenisches Schiefergebirge, Germany: *Bolletino della Società Paleontologica Italiana*, **37**, 427-442.

- [72] METZGER, R.A., 1994, Multielement reconstructions of Palmatolepis and Polygnathus (Upper Devonian, Famennian) from the Canning Basin, Australia and Bactrian Mountain, Nevada: *Journal of Paleontology*, **68**, 617–647.
- [73] MILLER, J. F., 1969, Conodont fauna of the North Peak Limestone (Cambro – Ordovician), House Range, Utah: *Journal of Paleontology*, 413-439.
- [74] MOSSONI, A., CARTA, N., CORRADINI, C. and SPALLETTA, C., 2013, Famennian-Tournasian Conodonts from the Monte taccu section (Sardinia, Italy), *Publicación Especial*, **13**, 85-90.
- [75] MOSSONI, A., CARTA, N., CORRADINI, C. and SPALLETTA, C., 2015, Conodonts across the Devonian/Carboniferous boundary in SE Sardinia (Italy): *Bulletin of Geosciences*, **90**, 371-388.
- [76] MULLER, K.J., 1956, Zur Kenntnis der Conodonten-Fauna des europäischen Devons, 1; Die Gattung Palmatolepis: *Abhandlungen und Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft*, **494**, 1–70.
- [77] NEMIROVSKAYA, T.L. NIGMADGANOV, M., 1994, The MidCarboniferous Conodont Event: *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, **168**, 319-333.
- [78] NEMIROVSKAYA, T. I., 1999, Bashkirian Conodonts of the Donets Basin, Ukraine: *Scripta Geologica*, 115.
- [79] NEMYROVSKA, T.I., Perret-Mirouse M-F and Weyant M., 2006, The early Viséan (Carboniferous) conodonts from the Saoura Valley, Algeria: *Acta Geologica Polonica*, **56**, 361–370.
- [80] OVNATANOVA, N.S., 1969, New Upper Devonian conodonts from the central region of the Russian platform and of the Timan: In *Fauna and stratigraphy of the Palaeozoic of the Russian platform: Nedra*, 39–141.
- [81] OVNATANOVA, N.S. and KONONOVA, L.I., 2008, Frasnian conodonts from the Eastern Russian Platform: *Paleontological Journal*, **42**, 997-1166.
- [82] OVNATANOVA, N.S. and KONONOVA, L.I., 2001, Conodonts and Late Devonian (Frasnian) biostratigraphy of central regions of Russian platform: *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, **233**, 1–115.
- [83] Özdemir, A., 2012, Stage boundaries in the Mississippian of Taurides based on conodont data: statistical analysis taxonomy and biostratigraphy. PhD thesis, The Graduate school of Natural and Applied science of Middle East Technical University, 358.
- [84] PASCHALL, O., [CARMICHAEL](#), S.K., [KOENIGSHOF](#), P., WATERS, J. A., TA, P.H., KOMATSU, T. and DOMBROWSKI, A., 2019, The Devonian-Carboniferous boundary in Vietnam: Sustained ocean anoxia with a volcanic trigger for the Hangenberg Crisis?: [Global and Planetary Change](#), **175**: 64-81
- [85] RICHARDS, B.C. and ARETZ, M., 2010, Report on the SCCS Field Meeting in the Cantabrian Mountains, northwest Spain: *Newsletter on Carboniferous Stratigraphy*, **28**, 7–14.
- [86] ROUDNY, P. V., 1926, Part 2, The micro-fauna, in Roundy, P. V., Girty, G. H. and Goldman, M. I., Mississippian formations of San Saba County, Tex: United States Geological Survey Professional Paper, 146, 5-23.
- [87] SALTZMAN, M.R. and THOMAS, E., 2012, Carbon isotope stratigraphy; in *The Geological Time Scale 2012*: In: Gradstein, F.M., Ogg, G.J., SCHMITZ M.D. and Ogg, G.M. (Ed.), 2012, Carbon isotope stratigraphy, *Elsevier BV*, **1**, 207–232.
- [88] SANDBERG, C.A. and ZIEGLER, W., 1973, Refinement of standard Upper Devonian conodont zonation based on sections in Nevada and West Germany: *Geologica et Palaeontologica*, **7**, 97–122
- [89] SANDBERG, C.A., ZIEGLER, W., LEUTERITZ, K. and BRILL, S.M., 1978, Phylogeny, speciation and zonation of Siphonodella (Conodonta, Upper Devonian and Lower Carboniferous), *Newsletters on Stratigraphy*, Stuttgart, Gebrueder Borntraeger, **7**, 102-120.
- [90] SANDBERG, C. A. and DREESEN, A., 1984, Late Devonian icriodontid biofacies models and alternate shallow water Conodont zonation, 143-178. In: Clark, D. L. (Ed.), 1984, Conodont biofacies and provincialism: *Geological Society of America, Special paper*, **196**.
- [91] SANDBERG, C.A. and GUTSCHICK, R.C., 1984, Distribution, microfauna and source-rock potential of Mississippian Delle Phosphatic Member of Woodman Formation and equivalents, Utah and adjacent States: In: WOODWARD, J., MEISSNER, F.F. and CLAYTON, J.L. (Eds.), 1984, Hydrocarbon source rocks of the Greater Rocky Mountain region, Denver Colorado, Rocky Mountain: Association of Geologists, 135-178.
- [92] SANNEMANN, D., 1955a, Oberdevonische Conodonten (to II): *Senckenbergiana lethaea*, **36**, 123–156.
- [93] SANNEMANN, D., 1955b, Beitrag zur untergliederung des Oberdevons nach Conodonten: *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, **100**, 324–331.
- [94] SAVAG, N.M. and FUNAI, C. A., 1980, Devonian Conodonts of Probable Early Frasnian Age from the Coronados Islands of Southeastern Alaska: *Journal of Paleontology*, **54**, 806–813.
- [95] SEPKOSKI, J. J., 1996, Patterns of Phanerozoic extinction: In: WALLISER, O.H. (Ed.), 1996, Global Events and Event Stratigraphy in the Phanerozoic: *Springer*, 35-51.

- [96] Sharkovski, M., Susov, M., and Krivyakin, B., 1984, Geology of the Anarak area (Central Iran), Explanatory text of the Anarak quadrangle map: *Geological Survey of Iran*, Scale, 1: 250. 000, V/O Technoexport, Report, 19. Tehran, 143.
- [97] SIMAKOV K.V., (1993). "The dynamics and biochronological structure of the Hangenbergia bioevent", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 104, 127-137.
- [98] SMITH, L.B. and READ, J.F., 2000, Rapid onset of late Paleozoic glaciation on Gondwana: Evidence from Upper Mississippian strata of the Midcontinent, United States: *Geology*, 28, 279–282.
- [99] SPALLETTA, C., PERRI, M. C., OVER, D.J. and CORRADINI, C., 2017, Famennian (Upper Devonian) conodont zonation: revised global standard: *Bulletin of Geosciences*, 92, 31-57.
- [100] STAUFFER, C. R., 1938, Conodonts of the Olentangy Shale: *Journal of Paleontology*, 12, 411-433.
- [101] SUDAR, M. N., NOVAK, M., KORN, D. and JOVANOVIĆ, D., 2018, Conodont biostratigraphy and carbonate microfacies of the Late Devonian to Mississippian Milivojevića Kamenjar section (Družetić, NW Serbia): *Bulletin of Geosciences*, 93, 163-183.
- [102] SUSOV, M., DOVRYANKIN, A. and SELIVANOW, E., 2000, Anarak: *Geological survey of Iran*, Scale 1:100000.
- [103] THOMAS, L.A., 1949, Devonian-Mississippian Formations of southeast Iowa: *Bulletin of the Geological Society of America*, 60, 403–138.
- [104] ULRICH, E. O. and BASSLER, R. S., 1926, A classification of the toothlike fossils, conodonts, with descriptions of American Devonian and Mississippian species: *United States National Museum*, Proc., 68, 63.
- [105] THOMSON, T.L. and FELLOWS, L.D., 1970, Stratigraphy and Conodont biostratigraphy of Kinderhookian and Osagean (lower Mississippian) rocks of southwestern Missouri and adjacent areas: *Missouri Geological Survey and Water Resources*, Rolla, Missouri, 45, 1-263.
- [106] VARKER, W.J., OWENS, B. and RILEY, N.J. 1991. Integrated biostratigraphy for the proposed Mid-Carboniferous boundary stratotype, Stonehead Beck, Cowling, north Yorkshire, England: In: BRECKLE, P. L. and MANGER, W. L. (Eds.), 1991, International Correlation and Division of the Carboniferous System: *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 130, 221-235.
- [107] WALLISER, O. H., 1996b, Global Events of Devonian and Carboniferous: In: WALLISER, O. H., (Ed.), 1996, Global Events and Event Stratigraphy in the Phanerozoic, *Spring, Berlin, Heidelberg New York*, 225-250.
- [108] WEBER, H. M., 2000a, Die karbonatischen Flachwasserschelfe im europäischen Oberfamennium. – Unpublished Ph.D. Thesis, University of Cologne, 192.
- [109] WENDT, J., KAUFMANN, B., BELKA, Z., FARSAAN, N. and KARIMI BAVANDPUR, A., (2005) Devonian/Lower Carboniferous stratigraphy, facies patterns and palaeogeography of Iran. Part II. Northern and Central Iran: *Acta Geologica Polonica*, 55, 31–97.
- [110] YAZDI, M., 1999, Late Devonian–Carboniferous conodonts from Eastern Iran: *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 105, 167-200.
- [111] ZIEGLER, W. and SANDBERG, C.A., 1984, Palmatolepis-based revision of upper part of standard Late Devonian conodont zonation: In: Clark, D. L. (Ed), 1984, conodont biofacies and provincialism: *Geological Society of America Special Paper*, 179-194.
- [112] ZIEGLER, W., 1962b, Die Conodonten aus den Geröllen des Zechsteinkonglomerates von Rossenray (südwestlich Rheinberg/Niederrhein): *Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen*, 6, 391–406, pre-print 1960.
- [113] ZIEGLER, W., 1969, Eine neue Conodonten fauna aus dem höchsten Oberdevon: *Fortschritte Geologie von Rheinland und Westfalen*, 17, 179–191.
- [114] ZIEGLER, W. and SANDBERG, C. A., 1990, The Late Devonian Standard Conodont Zonation: *Courier Forschungs Institut Senckenberg*, 121, 1–115.
- [115] ZIEGLER, W. and SANDBERG, C. A., 1996, Reflexions on the Frasnian and Famennian stage boundary decisions as a guide to future deliberations: *Newsletters on Stratigraphy*, 33, 157 –180.
- [116] ZIEGLER, W. and SANDBERG C.A., 2000, Utility of Palmatolepis and Icriodontids in recognizing Upper Devonian series, stages and possible substage boundaries: *Courier Forschungs Institut Senckenberg*, 225, 335-437.

Biostratigraphy, conodont biofacies and CAI of Late Devonian-Carboniferous deposits in Anarak section, Central Iran

Elahe Sattari¹, Ali Bahrami^{2*}, Hossein Vaziri-Moghaddam³, Azizolah Taheri⁴,
Sandra Isabella Kaiser⁵, Peter Königshof⁶

1-Ph.D. in Paleontology & Stratigraphy, Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Isfahan

2- Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, University of Isfahan

3- Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Isfahan

4- Professor, Faculty of Earth Science, Shahrood University of technology, Shahrood, Iran

5- Museum of Natural History Stuttgart, Stuttgart, Germany

6-Senckenberg – Research Institute and Natural History Museum, Frankfurt, Germany

*a.bahrami@sci.ui.ac.ir; Bahrami_geo@yahoo.com

Received: May 2020, Accepted: August 2020

Abstract

Late Devonian-Carboniferous (Mississippian-Pennsylvanian) conodonts fauna of Anarak section, NE Isfahan (central Iran), led to identifying 67 conodont species belonging to 18 genera. 22 conodont bio-intervals were separated; 15 biozones belong to Late Devonian and 7 biozones belong to carboniferous (Mississippian-Pennsylvanian) time interval. Based on field observation and sedimentological features and characteristics, the section, subdivided into 5 lithostratigraphic unit. The conodonts element show dark color, CAI=4 (11-a) in Frasnian biozones, light color, CAI= 1.5-2 (11-b,c) in Famennian and dark color in Carboniferous CAI= 5-5.5 (11-d,e) these changes in the Color Alteration Index reveals texture maturity and the possibility of hydrocarbure potential in the Famennian stage.

Key words: Devonian, Carboniferous, Anarak section, Conodont biozones, Conodont biofacies.