

## زیست‌چینه‌نگاری نهشته‌های دونین پسین - کربنیفر پیشین (فامنین پسین - تورنیزین) در برش زو (شمال شرق ایران) بر اساس فونای کنودونتی

محمد تقی نجارزاده<sup>۱</sup>، علیرضا عاشوری<sup>۲\*</sup>، مهدی یزدی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری چینه‌نگاری و دیرینه‌شناسی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

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

۳- استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

\*پست الکترونیک: ashouri@um.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۸/۴/۲۳

تاریخ دریافت: ۹۷/۹/۲۸

### چکیده

بررسی فونای کنودونتی نهشته‌های دونین پسین - کربنیفر سازندهای خوش‌ییلاق و مبارک در برش زو (شمال شرقی شهر جاجرم) به شناسایی ۱۰ جنس، ۲۳ گونه و ۸ زیرگونه منجر شده است. زیای کنودونتی به دست آمده در این مطالعه، مؤید زیست‌زون *Bispathodus ultimus* (فامنین پسین) و گستره‌های زیستی معادل *base of Siphonodella duplicata* to within *Siphonodella crenulata* (تورنیزین) و *Pseudopolygnathus multistriatus* (ویزین) می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که گذر فامنین - تورنیزین در انتهای سازند خوش‌ییلاق و ۶ متر بالاتر از لایه دیاباز قرار دارد. زیای کنودونتی مزبور، نشانگر غلبه زیست‌رخساره *Polygnathid* می‌باشد. زیست‌رخساره‌های کنودونتی پیش‌روی سطح آب در کربنیفر را تأیید می‌کنند. برش مذکور هم از دیدگاه رخساره سنگی و هم از دیدگاه رخساره زیستی، با دیگر برش‌های البرز شرقی مشابه است. شاخص تغییر رنگ کنودونت‌ها در عناصر کنودونتی کربنیفر نسبت به دونین پسین افزایش نشان می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** کنودونت؛ دونین؛ کربنیفر؛ سازند خوش‌ییلاق؛ مبارک؛ فامنین؛ تورنیزین.

### مقدمه

؛Kaiser et al., 2006, 2011؛ Sandberg et al., 2002؛ Königshof et al., ؛Bahrami et al., 2011, 2019؛ Sattari et al., 2021؛ 2021. حادثه انقراضی هنگنبرگ، بر بخش عمده‌ای از موجودات دریایی از جمله کنودونت‌ها و حتی زیست‌مندان خشکی‌زی تأثیر گذار بوده است (Kaiser et al., 2006, 2011). برش الگوی مرز دونین - کربنیفر در محل برش La Serre E در جنوب فرانسه قرار دارد (Paproth et al., 1991) که در بین سنگ آهک‌های ورقه‌ای، نودولار و حاوی پاپرسران لایه ۸۸ و

بررسی مرزهای زیستی، تعیین جایگاه و شناخت حوادث رخ داده در آن‌ها یکی از مباحثی است که از دیرباز توجه بسیاری از پژوهشگران علم چینه‌شناسی را در سراسر جهان به خود جلب نموده است. مرز دونین - کربنیفر که در این پژوهش نیز به آن پرداخته شده است، به سبب تنوع در محیط‌های رسوب‌گذاری و تنوع در نهشته‌ها، تغییرات آب و هوایی و همزمانی نسبی با حادثه زیستی هنگنبرگ در نقاط مختلف دنیا مورد بررسی قرار گرفته است (Caplan & Bustin, 1999؛ Mc.Ghee, 1998)

مطالعات انجام شده در برخی از نواحی البرز شرقی به ویژه در اطراف شهر دامغان و ناحیه کلاریز، نشان دهنده تشکیل نهشته‌های پیرامون مرز دونین - کربنیفر در آب‌های کم ژرفا و در رمپ‌های کربناته است (حسینی‌نژاد، ۱۳۸۵، ۱۳۸۶). شدت تغییرات در مرز گاهی آن چنان بوده که سبب وقفه در رسوب‌گذاری و ایجاد ناپوستگی شده است. این تغییرات در حوالی مرز، گاهی با بروز حوادثی همانند فعالیت‌های آتش‌فشانی زیر دریایی و حضور لایه‌های دیاباز زیر دریایی در نواحی تویه - دروار و جاجرم همراه بوده است (شوشتری زاده، ۱۳۸۴). گاهی نرخ سرعت تغییرات، آهسته‌تر بوده و تنها به ایجاد محیط‌های کم ژرفای ساحلی منجر شده است (حسینی‌نژاد، ۱۳۸۵).

با توجه به آن چه بیان شد، انجام پژوهش‌های مشابه و بررسی برش‌های جدید در سایر نواحی دنیا، از جمله در ایران، می‌تواند ارائه دهنده اطلاعات جدید، در راستای تکمیل یافته‌های ارزشمند پیشین باشد. به همین جهت، این پژوهش بر شناسایی و بازبینی مرز دونین - کربنیفر در بخشی از پهنه البرز شرقی و بررسی زیست چینه نگاری نهشته‌های حوالی مرز، براساس فونای کنودونتی در برش زو متمرکز شده است.

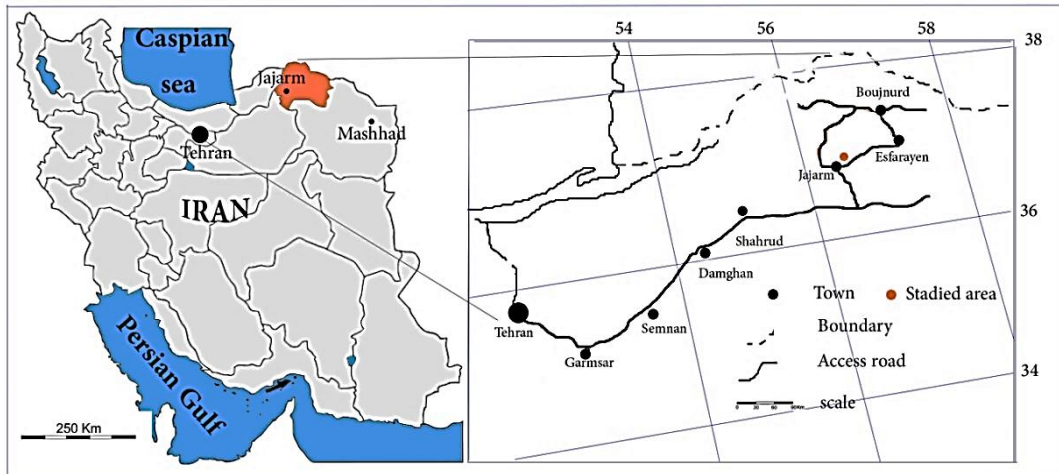
### موقعیت جغرافیایی

برش زو در تقادیس کوه زو با مختصات  $54^{\circ} 21' 46.32''$  عرض شمالی و  $18^{\circ} 15' 23''$  طول شرقی در فاصله ۱۵ کیلومتری شمال شرقی شهر جاجرم، در دامنه‌های جنوبی رشته کوه‌های البرز شرقی واقع شده است (شکل ۱). نهشته‌های دوران پالئوزوئیک تا سنوزوئیک در این ناحیه با امتداد شرقی - غربی، رخنمون یافته‌اند. این رخنمون نخستین بار هنگام انجام مطالعات مربوط به تهیه نقشه زمین شناسی کورخود با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ به صورت تفکیک نشده در قالب یک واحد چینه‌شناسی یکپارچه تحت عنوان سازند

سنگ آهک‌های اووئیدی لایه ۸۹ برش مذکور واقع شده و حدود ۲۰ سانتی‌متر بالاتر از لایه شیلی هنگنبرگ با ستبرای ۲۵ سانتی‌متر قرار دارد (Feist, 1990). انقراض کنودونت‌ها، تریلوبیت‌ها، پابرسران، بازوپایان و مرجان‌ها پیرامون این مرز، به سمت آخرین لایه‌های سنگ آهک حاوی پابرسران اتفاق افتاده است، اما در نخستین لایه‌های بالای مرز، بازیابی و شکوفایی تمامی این گونه‌ها از سر گرفته شده است (Feist, 1990). برخی از پژوهشگران، مرز دونین - کربنیفر را منطبق بر نخستین حضور گونه کنودونتی *Siphonodella sulcata* از نیای خود، گونه *Siphonodella praesulcata* دانسته‌اند (Flajs & Feist, 1988). به دلیل به دلیل حضور افرادی از گونه *Siphonodella sulcata* در لایه ۸۸ برش الگوی La Serre E پیش از مرز دونین - کربنیفر، نبود گونه *Siphonodella sulcata* در برخی از برش‌های مشابه و حضور این گونه در همراهی با تاکسای خاص فامنین پسین، تعیین مرز دونین - کربنیفر بر اساس دو گونه *Siphonodella sulcata* و *Siphonodella praesulcata* را با مشکلاتی همراه کرده است (Corradini, 2003, 2008؛ Kaiser, 2009). به همین دلیل، کمیته بین‌المللی چینه‌شناسی مطالعاتی را جهت بررسی مجدد برش الگو با هدف رفع موارد ابهام و یا کشف برش جایگزین، به عنوان برش مرجع آغاز نمود. گونه *Protognathodus kockeli* که در اطراف مرز چینه‌شناسی یاد شده ظهور یافته است (Corradini et al., 2003؛ Mossoni et al., 2013, 2015) و همچنین اولین حضور گونه *Siphonodella bransoni* به دلیل گسترش جغرافیایی زیاد و تشخیص آسان آن نسبت به دو گونه *Siphonodella sulcata* و *Siphonodella praesulcata*، نیز به عنوان شاخصی برای تعیین مرز مذکور توسط Corradini et al. (2016) پیشنهاد شده است.

منجر شده است (نजारزاده، ۱۳۷۶). سازند خوش ییلاق در برش زو مشکل از نهشته‌های دریایی کم ژرفا، متناسب به بازه زمانی دونین پسین (فرازین - فامنین) است (نजारزاده، ۱۳۷۶).

خوش ییلاق معرفی شده است (افشارحرب و همکاران، ۱۳۴۹). بررسی‌های زیست‌چینه‌نگاری، به شناسایی و تفکیک ردیف‌های دونین و کربنیفر در قالب دو سازند پادها و خوش ییلاق (دونین) و سازند مبارک (کربنیفر)



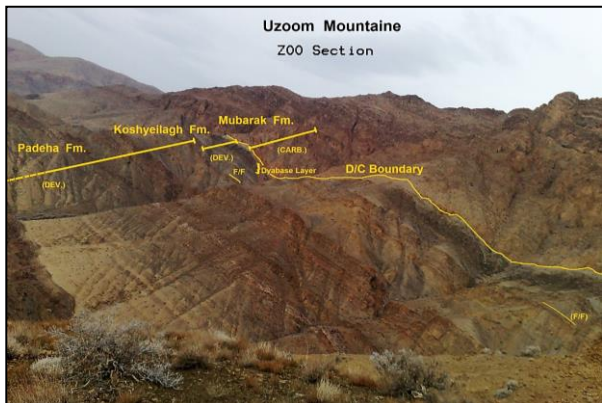
شکل ۱: موقعیت شهر جاجرم در استان خراسان شمالی و نمایش راه‌های دسترسی به برش مورد مطالعه

نمونه‌های غیر کربناته انجام شد. در مرحله اسیدشویی از محلول اسید استیک ۱۰٪ و در مواردی اسید فرمیک ۱۰٪ (در شرایط خاص با غلظت ۲/۵ برابر حد استاندارد) استفاده گردید. رسوب باقی‌مانده از فرآیند اسیدشویی هر نمونه، با استفاده از جریان ملایم آب و به آرامی از الک‌های با مش‌های متفاوت عبور داده شد. پس از شماره‌گذاری و خشک کردن رسوب باقی‌مانده بر روی هر یک از الک‌ها، نسبت به جداسازی فیلها، در زیر میکروسکپ دوچشمی اقدام شد. بعد از بررسی و شناسایی مقدماتی کنودونت‌ها و تثبیت آنها بر روی پایه آلومینیومی مخصوص تصویربرداری و پوشش نمونه‌ها با غبار طلا در داخل دستگاه Spatter coater و در شرایط خلأ، تصویربرداری از کنودونت‌ها به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) در گروه فیزیک دانشگاه ملی یزد انجام گرفت. شناسایی نهایی کنودونت‌ها، با استفاده از منابع رایج همچون Branson & Mehl (1934)، Sandberg *et al.* (1988) و ... صورت گرفت و بر همین اساس زیست‌پهنه‌بندی توالی

## روش مطالعه

پس از بررسی اولیه و مشاهدات صحرایی و شناسایی موقعیت تقریبی مرز دونین - کربنیفر، با توجه به بررسی‌ها و مطالعات پژوهشگران پیشین (برای مثال: نजारزاده، ۱۳۷۶؛ Wendt *et al.*, 2005) در برش مورد مطالعه، نسبت به نمونه برداری، ترسیم ستون چینه‌نگاری، ثبت اطلاعات سنگ‌شناسی و اندازه‌گیری‌های میدانی اقدام شد. نمونه‌برداری به صورت متراکم و لایه‌به‌لایه با وزن تقریبی ۳ تا ۴ کیلوگرم برای هر نمونه انجام گرفت. در این میان، ۵۸ نمونه سخت (شامل سنگ آهک، دولومیت، ماسه‌سنگ‌های آهکی و سیلت‌های آهکی) و ۱۱ نمونه شیلی - مارنی از ستبرای برش مورد مطالعه برداشت شد. این نمونه‌ها جهت آماده‌سازی به آزمایشگاه دیرینه‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران منتقل گردید. پس از خرد کردن نمونه‌ها به قطعاتی با ابعاد ۲ تا ۳ سانتی‌متر، بازیابی عناصر کنودونتی با تکنیک اسیدشویی و در مواردی تکنیک‌های انجماد و فراوری در نفت برای

سازند دورود پوشیده می‌شود و یک افق بوکسیتی در رأس آن قابل مشاهده است (افشار حرب و همکاران، ۱۳۴۹؛ علوی نائینی، ۱۳۷۲) (شکل‌های ۲ و ۳).



شکل ۲: نمایی از تاقدیس کوه ازوم و توالی دونین - کربونیفر در برش زو (دید به سمت شمال)

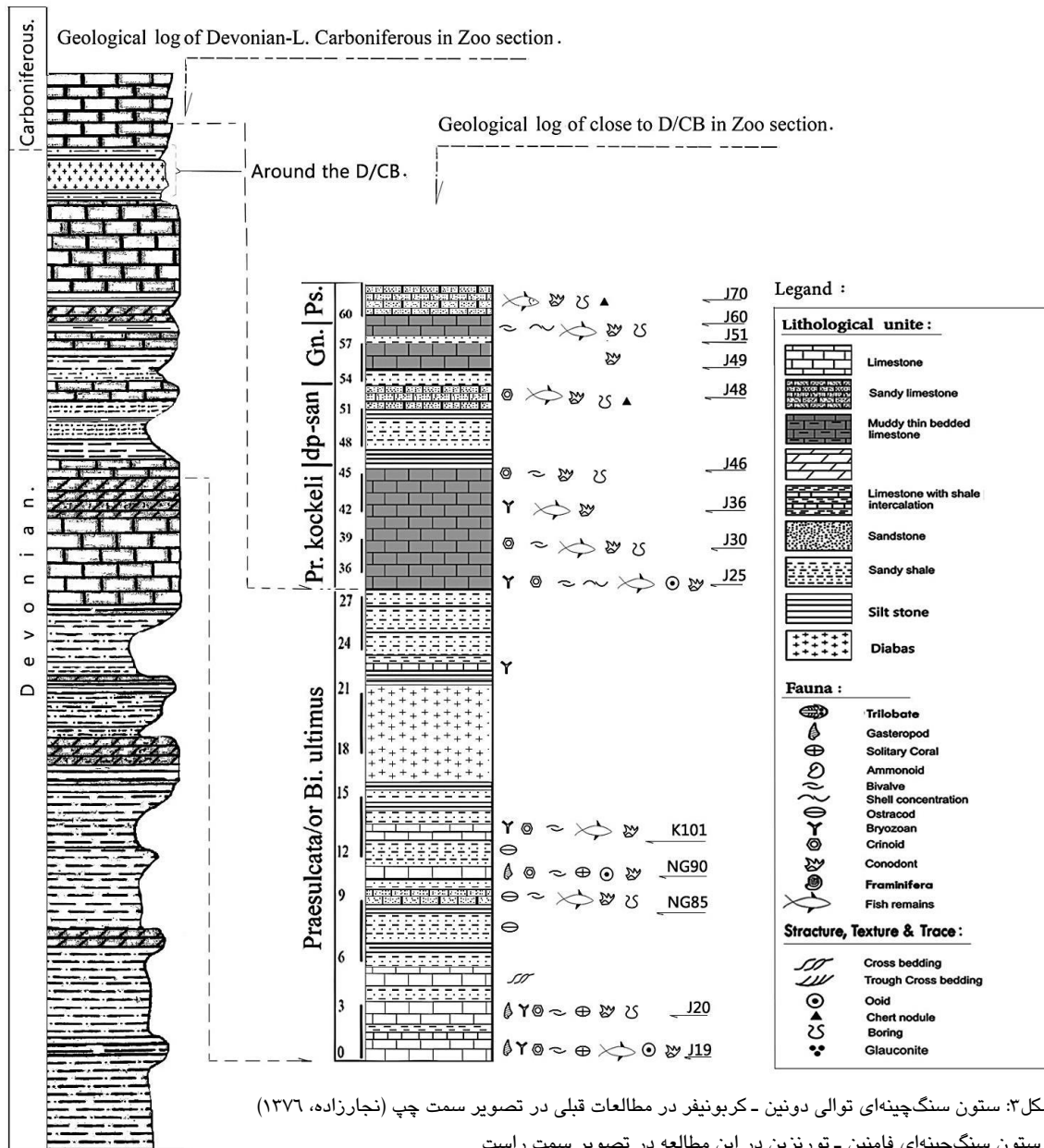
### زیست چینه نگاری

از مجموع ۶۹ نمونه کربناته و غیر کربناته برداشت شده از برش مورد مطالعه، تنها ۱۴ نمونه حاوی ۱۰۳ عدد عنصر کنودونتی (۱۰ جنس، ۲۳ گونه و ۸ زیر گونه) بوده‌اند (شکل‌های ۴ تا ۷). به طور میانگین، تعداد عناصر کنودونتی در هر کیلوگرم سنگ، معادل ۱/۴ (el/kg) است. بیشینه تعداد (با میزان ۱۴/۵ el/kg)، مربوط به نمونه J46 می‌باشد. بنابراین، میزان بازیافت عناصر کنودونتی در برش مذکور بسیار اندک بوده است. بیشتر لایه‌های سنگی علاوه بر فشردگی بالا (ناشی از نیروهای تکتونیکی)، دارای درصد بالایی از ترکیبات سیلیسی هستند. به همین سبب، در حین عملیات اسیدشویی نمونه‌ها، گاهی به ناچار از محلول اسید فرمیک ۲۵٪ با دوره انحلال ۱۰ ساعت استفاده شده است. نمونه‌های به دست آمده دارای حفظ شدگی متوسط بوده و گاهی شکسته و فرسوده می‌باشند. با هدف زیست پهنه‌بندی کنودونت‌ها در برش مورد مطالعه در محدوده فامنین پسین، از الگوی استاندارد جهانی معرفی شده توسط Spalletta *et al.* (2017) و برای محدوده تورنژین تا ویزن تا زیست پهنه‌بندی معرفی شده توسط Poty *et al.* (2006)

مورد مطالعه به کمک الگوهای استاندارد جهانی Zeigler Poty *et al.* (1990) & Sandberg (2008)، Spalletta *et al.* (2006) و نیز برخی از الگوهای زیست پهنه‌بندی تجمعی - محلی تعیین شده است. تمامی کنودونت‌های به دست آمده با پیشوند AUIC کدگذاری شده و در آزمایشگاه دیرینه‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران نگهداری می‌شوند.

### سنگ چینه نگاری برش مورد مطالعه

بخش دونین در برش زو با ستبرای ۵۵۸ متر، عمدتاً شامل نهشته‌های دریایی کم ژرفا با ترکیب شیل‌های رنگین، سیلت‌سنگ، ماسه‌سنگ و سنگ آهک است. توالی کربنیفر منطقه نیز شامل تناوبی از سنگ آهک‌های آلئیتی، دولومیت، شیل و سیلت‌سنگ می‌باشد. ستبرای لایه‌های فامنین در برش زو در حدود ۲۲۰ متر برآورد شده است و محتوای سنگ‌شناسی غالب آن را سنگ آهک و دولومیت، در تناوب تکرار شونده‌ای با لایه‌های آواری همانند، سیلت‌سنگ، ماسه‌سنگ و شیل تشکیل می‌دهد. توالی دونین در برش زو با حضور سه بخش از سازند پادها در هسته تاقدیس اوزوم آغاز گردیده که بخش زیرین آن پوشیده شده است و در بخش بالایی به گونه‌ای همشیب و تدریجی به سنگ آهک‌های سازند خوش‌سیلاق ختم می‌شود (نजारزاده، ۱۳۷۶). ردیف‌های کربنیفر در برش زو به ستبرای ۲۷۲ متر، مشتمل بر تناوبی از سنگ آهک‌های خاکستری تیره و شیل‌های سیاه رنگ می‌باشند. بخش زیرین سازند مبارک در این برش با ستبرای ۲۶/۷ متر از تناوب سنگ آهک‌های آلئیتی متوسط لایه با رنگ خاکستری مایل به آبی کبود تشکیل شده است و تمامی ستبرای سازند مبارک در حدود ۲۷۲ متر، به ویزن پیشین - میانی منتسب است. مرز بالایی کربنیفر در برش زو با یک ناپوستگی فرسایشی و به وسیله لایه‌های ماسه‌سنگی قاعده



شکل ۳: ستون سنگ‌چینه‌ای توالی دونین - کربونيفر در مطالعات قبلی در تصویر سمت چپ (نजारزاده، ۱۳۷۶) و ستون سنگ‌چینه‌ای فامنین - تورنیزین در این مطالعه در تصویر سمت راست

نخستین حضور گونه *Bispathodus ultimus* مشخص می‌گردد. این زیست‌زون معادل با *Siphonodella praesulcata* Zone از زیست‌زون‌های معرفی شده توسط Ziegler & Sandberg (1990) است و مرز بالایی آن منطبق بر مرز زیرین محدوده زیستی بعدی است (شکل ۹). گونه‌های همراه در این زیست‌زون شامل *Bispathodus costatus*, *Bispathodus aculeatus*, *Mehlina strigose*, *Bispathodus ultimus stabilis* و *Neopolygnathus communis*

و Sommerville (2008) استفاده شده است. بر این اساس یک زیست‌زون و دو محدوده زیستی شناسایی و تعیین شد که به شرح ذیل است (شکل‌های ۸ و ۹):

#### *Bispathodus ultimus* Zone (J19 تا J24)

این زیست‌زون مربوط به فامنین پسین است و نهشته‌های بخش پایه تا افق ۲۷/۵ متری برش مورد مطالعه در رأس سازند خوش‌بیلاق را دربرمی‌گیرد. براساس مطالعات Spalletta et al. (2017)، مرز زیرین این زیست‌زون با

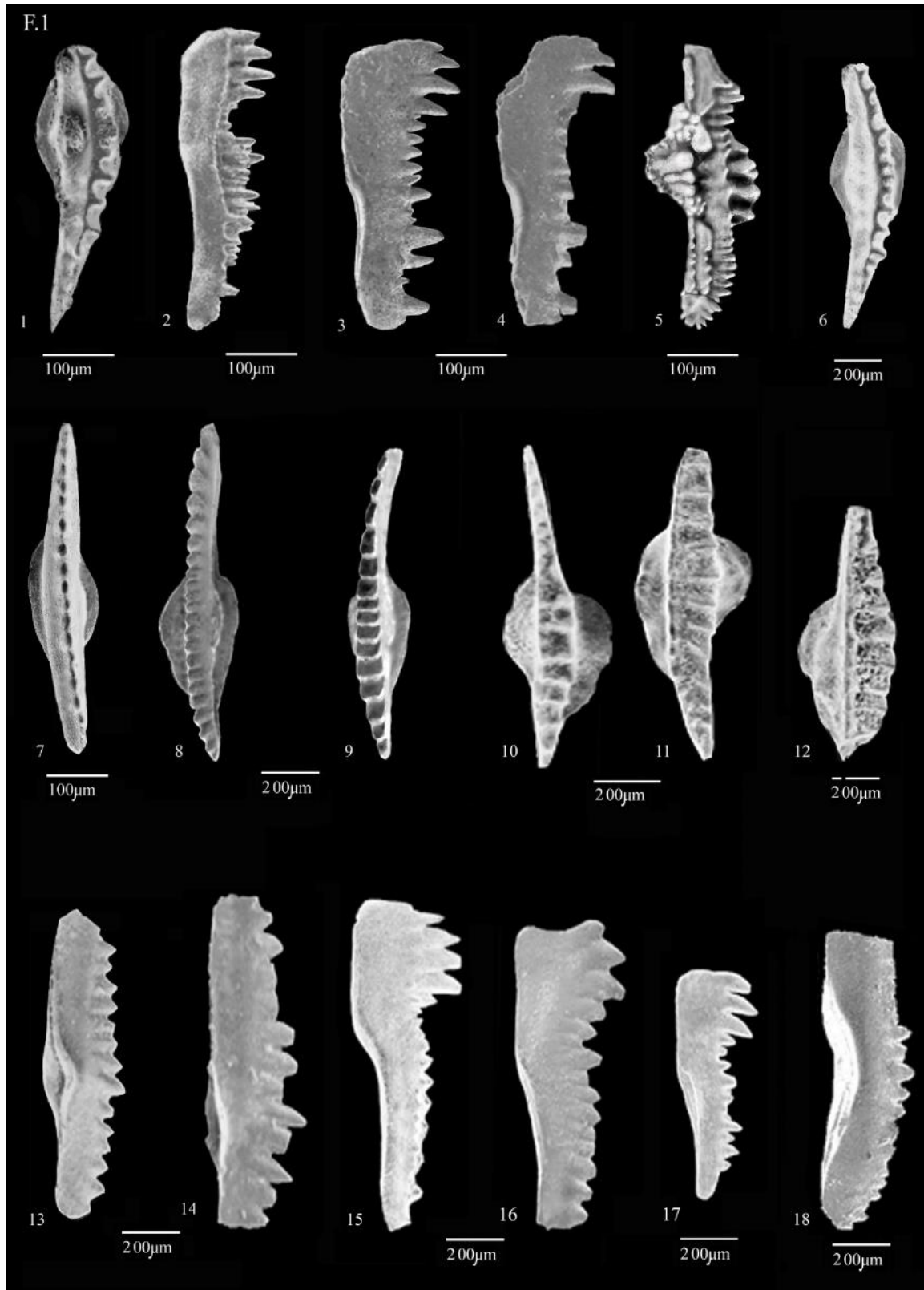
شاخص تغییر رنگ کنودونت‌ها در زیست‌زون  
*Bispathodus ultimus* Zone عمدتاً به رنگ‌های قهوه‌ای  
 تیره (CAI = ۳/۵-۴) می‌باشد.

**Tournaisian interval (J25 تا J46): From *Siphonodella duplicata* Zone to within *Siphonodella isostacha* and *Siphonodella crenulata* interval**

این گستره با سن کربنیفر پیشین (اشکوب تورنایزین) است و نهشته‌های فاصله ۲۷/۵ تا ۶۰ متری سازند مبارک در برش مورد مطالعه را دربرمی‌گیرد. مرز زیرین این محدوده به عنوان زیست‌زون آغازین کربنیفر، با نخستین ظهور گونه *Prothognathodus kockeli* و گونه *Prothognathodus meischneri* (که کمی پایین‌تر از مرز حضور می‌یابد)، مشخص می‌گردد (Alberti et al., 1974؛ Spalletta et al., 2017) و مرز بالایی آن منطبق بر مرز زیرین محدوده زیستی بعدی و نخستین حضور گونه *Siphonodella bransonii* (بنابر نوشته Spalletta et al., 2017) و ظهور گونه *Siphonodella duplicata* و یازیرگونه *Polygnathus inornatus rostratus* (بنابر نوشته Ziegler & Sandberg, 1984) است. در شرایط نبود نمونه‌های شاخص در این افق، حضور گونه *Prothognathodus meischneri* در نمونه J25، رفاصله ۲۷/۵ متری از قاعده برش جاجریم و در همراهی با گونه‌هایی همانند *Gnathodus sp.*، *Neopolygnathus communis communis*، *Neopolygnathus purus*، *Polygnathus inornatus*، *Polygnathus longiposticus*، *Pseudopolygnathus pinnatus* (equal to *symmetricus*، *Polygnathus symmetricus* and to upper *duplicata* Zone) و *Siphonodella praesulcata* (equal to *Prothognathodus kockelli*+*Siphonodella duplicata* to *Siphonodella isostacha* Zones) مشاهده شده است و بدین سبب بر مبنای الگوی زیست‌پهنه‌بندی Poty et al. (2006) و (2008) Sommerville در امریکای شمالی و

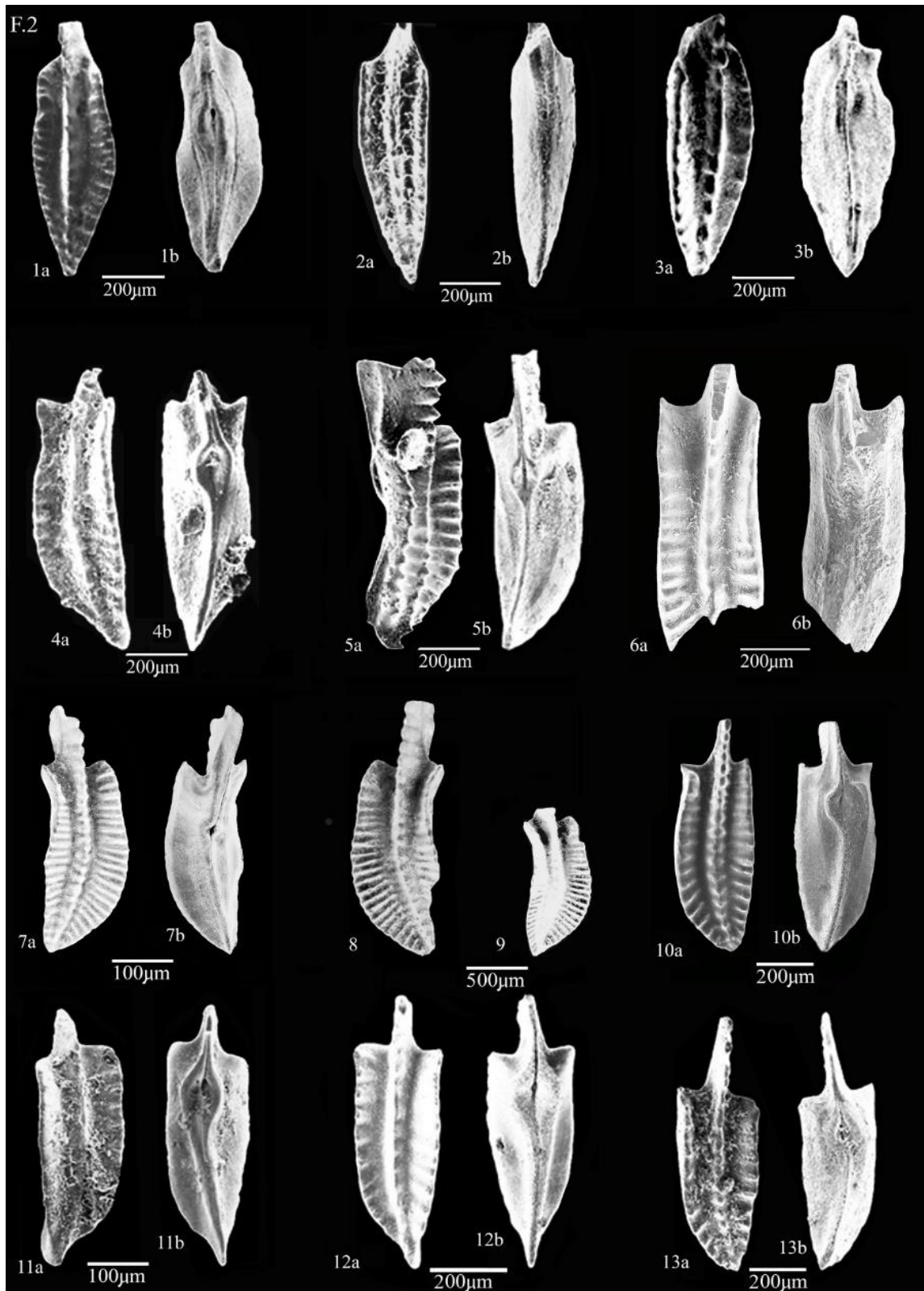
*Neopolygnathus communis*، *communis collinsoni*، *Neopolygnathus communis dentatus*، *communis Polygnathus*، *Pelekysgnathus inclinatus*، *Polygnathus inornatus*، *brevilaminus*، *Polygnathus lenticularis*، *danceolus*، *planarius* و *Polygnathus semicostatus* هستند. بر اساس فونای کنودونتی به دست آمده، محدوده سنی این نهشته‌ها جوانتر از زیست‌زون *expansa* می‌باشد (به‌جز نمونه J19 که با حضور گونه‌های *Neopolygnathus brevilaminus* و *Polygnathus semicostatus* محدوده *upper expansa* را نشان می‌دهد).

این زیست‌زون، از دیدگاه سنگ چینه نگاری، عمدتاً متشکل از سنگ آهک‌های نازک تا متوسط لایه با رنگ‌های خاکستری تا نخودی، دارای فسیل شکم پایان، بازوپایان، روزن‌داران، بقایای ماهیان و کنودونت‌ها می‌باشد. کربنات‌های این بخش در تناوب با سیلت‌سنگ و شیل‌های خاکستری تیره و مارن‌های آهکی هستند. در بخش بالایی زیست‌زون مذکور، لایه‌ای از دیاباز زیردریایی با رنگ سبز تیره و ستبرای متغییر ۱۰ تا ۱۵ متر به شکل همشیب در بین لایه‌های سیلتی آبی کمرنگ تا کبود وجود دارد. سیلت‌سنگ‌هایی که در بخش زیرین و بالایی لایه دیاباز هستند، بر اساس بررسی مقاطع نازک میکروسکوپی، شرایط یکسان محیط رسوبی در اواخر فامنین را نشان می‌دهند (نجارزاده، ۱۳۷۶؛ Dobrestov et al., 2003). از این رو با توجه به بررسی‌های سنگ شناسی و تطابق نهشته‌ها و دیابازهای همراه در برش مورد مطالعه با سایر مقاطع البرز شرقی (تویه - دروار، خوش بیلاق، میغان، کیاسر و شیرویه) و نیز دیابازهای مشابه در ارمنستان، قزاقستان و سایر نقاط در روسیه (Dobrestov et al., 2003)، می‌توان گذر دونین - کربنیفر را منطبق بر رأس سیلت‌سنگ‌های مذکور دانست (شرح کامل در محدوده زیستی تورنژین).



شکل ۴: برخی از کندونتهای برش زو

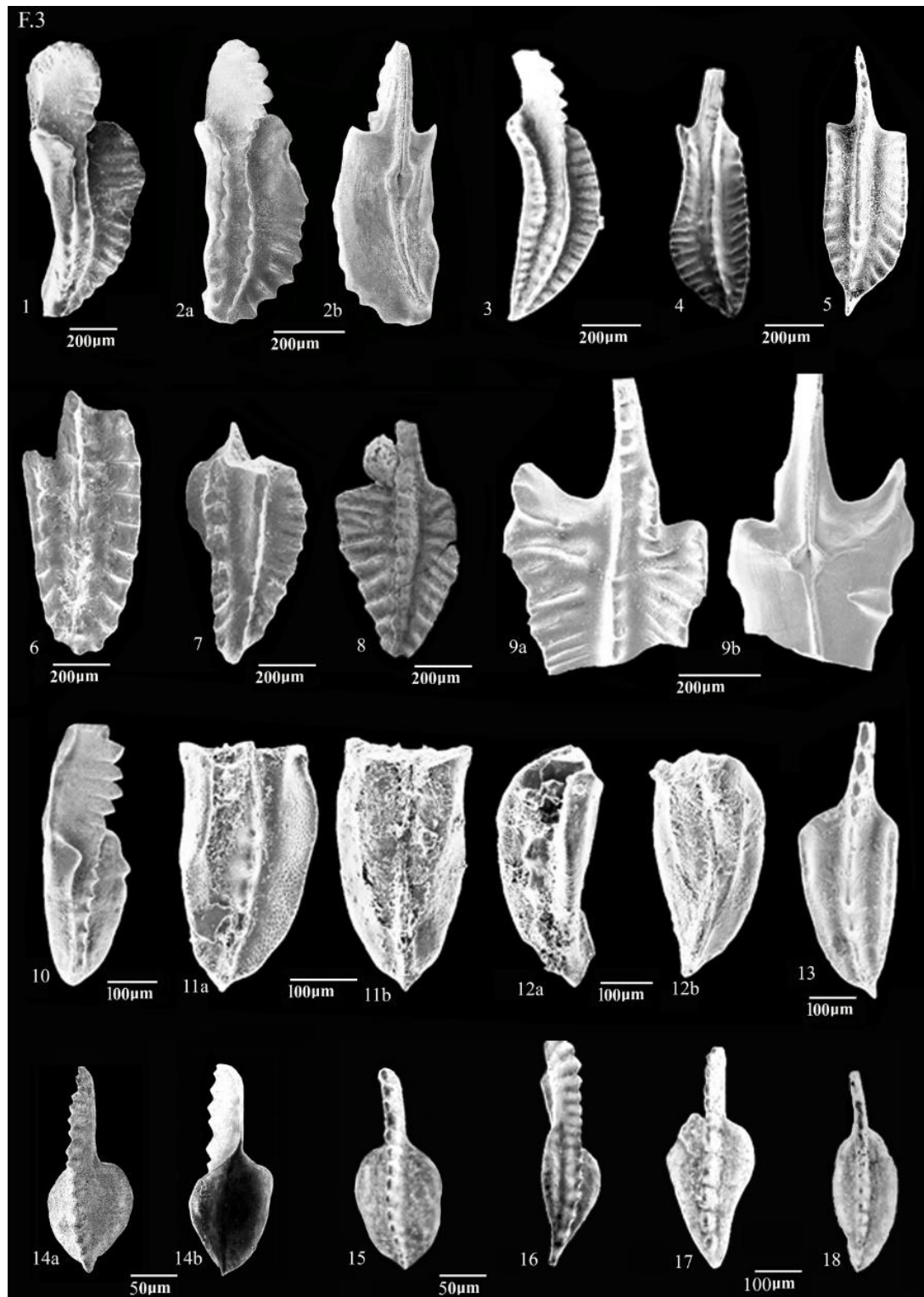
1, 6. *Bispathodus spinulicostatus* Branson & Mehl 1934, upper view, AUC155226, sample J20; 2. *Mehlina* sp., lateral view, AUC155241, sample J19; 3, 4. *Bispathodus bispathodus* Ziegler, Sandberg & Austin 1974, AUC155076, sample J49; 5. *Bispathodus aculeatus* Branson & Mehl 1934, lateral view, AUC155235, sample NG90; 7, 8. *Bispathodus stabilis* Branson & Mehl 1934, oblique upper view, AUC155307, sample NG90; 9, 10. *Bispathodus jugosus stabilis* Branson & Mehl 1934, upper view, AUC155308, sample NG90; 11, 12. *Bispathodus ultimus* Branson & Mehl 1934, upper view, AUC155310, sample J20; 13, 14. *Branmehla bohlenana* Branson & Mehl 1934, upper view, AUC155312, Sample J20; 15-17. *Mehlina strigosa* Branson & Mehl 1934, upper view, AUC155311, Sample J20; 18. *Spathognathodus crossidentatus* Zhuravlev 1991, lateral view, AUC155231, Sample J46.



شکل ۵: برخی از کنودونت‌های برش زو

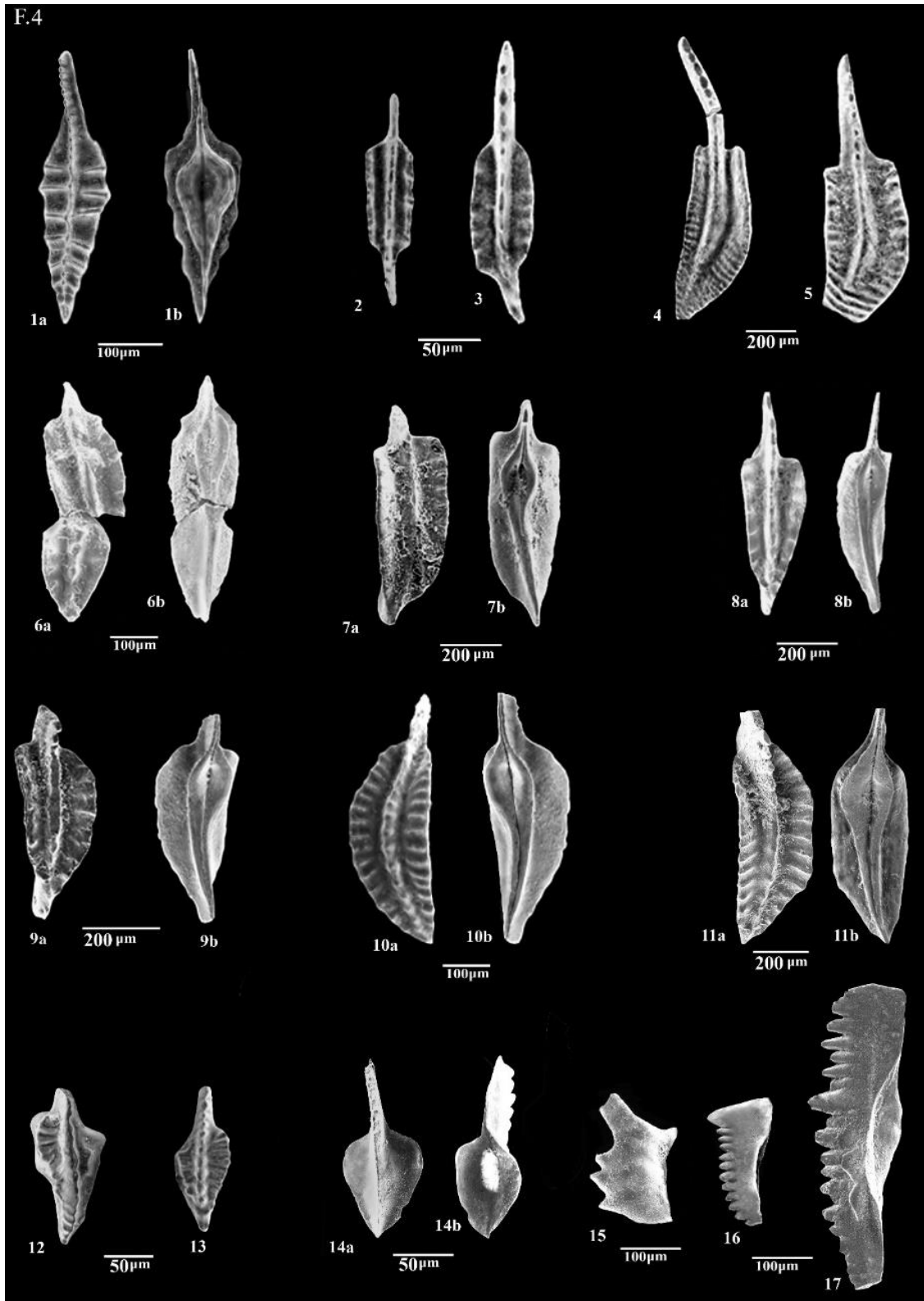
1. *Polygnathus* sp., upper (a) and lower (b) views, EUIC155257, sample J20; 2. *Polygnathus lenticularis* Branson & Mehl 1934, upper (a) and lower (b) views, EUIC155257, sample J20; 3. *Polygnathus planarius* Branson & Mehl 1934, upper (a) and lower (b) views, AUIC155058, sample NG90; 4-6. *Polygnathus longiposticus* Branson & Mehl 1934, 4a. upper and 4b. lower views of AUIC155115, sample J46., 5a. upper oblique and 5b. lower oblique views of AUIC155053, sample J45, 6a. upper and 6b. lower views of AUIC155058, sample J46; 7-10. *Polygnathus inornatus* Branson 1934, 7a. upper and 7b. lower views of AUIC155302, sample J46, 8. upper view of AUIC155248, sample J46., 9. upper view of AUIC155248, sample J47, 10a. upper and 10b. lower views of AUIC155249, sample J4658; 11-13. *Polygnathus symmetricus* Branson 1934, 11a. upper and 11b. lower views of AUIC155053, sample J25, 12a. upper and lower 12b view of AUIC155053, sample J49, 13a. upper and 13b. lower views of AUIC155054, sample J51.





شکل ۶: برخی از کندونته‌های برش زو

1, 2. *Polygnathus parapetus* Hass 1962, 1. upper oblique view, AUIC155159, sample J46, 2a. upper and 2b. lower views of AUIC155159, sample J46; 3. *Polygnathus bischoffi* Bischoff 1973, 3a. upper and 3b. lower views of AUIC155301, sample NG85; 4. *Polygnathus inornatus* Branson 1934, upper oblique views, AUIC155302, sample J46; 5. *Polygnathus symmetricus* Branson 1934, upper view, AUIC155053, sample J25; 6. *Pseudopolygnathus multistriatus* Branson & Mehl 1934, upper views, AUIC155253, sample J75; 7. *Pseudopolygnathus primus* Branson & Mehl 1934, upper oblique views, AUIC155237, sample J25; 8. *Pseudopolygnathus triangulus* Voges 1959, upper view, AUIC155309, sample J49; 9. *Pseudopolygnathus pinnatus* M2 Branson & Mehl 1934, 9a. upper and 9b. lower views of AUIC155217, sample J60; 10. *Neopolygnathus communis dentatus* Branson & Mehl 1934, upper oblique view, AUIC155159, sample J49; 11, 12. *Neopolygnathus communis communis* Branson & Mehl 1934, 11a. oblique upper and 11b. lower views of AUIC155225, sample J46, 12a. oblique upper and 12b. lower views of AUIC155225, sample J46; 13. *Neopolygnathus communis collinsoni* Branson & Mehl 1934, upper view, AUIC155166, sample J20; 14, 15. *Protognathus* aff. *meischneri* Ziegler 1969, 14a. oblique upper and 14b. lower views of EUIC155304, sample J25, 15. upper view, EUIC155308, sample J25; 16. *Neopolygnathus purus purus* Voges 1959, upper view, AUIC155305, sample J46; 17, 18. *Neopolygnathus purus subplaneus* Rhodes *et al.* 1969, 17. oblique upper view of AUIC155306, sample J51; 18. upper views of AUIC155309, sample J51.



شکل ۷: برخی از کنودونت‌های برش زو

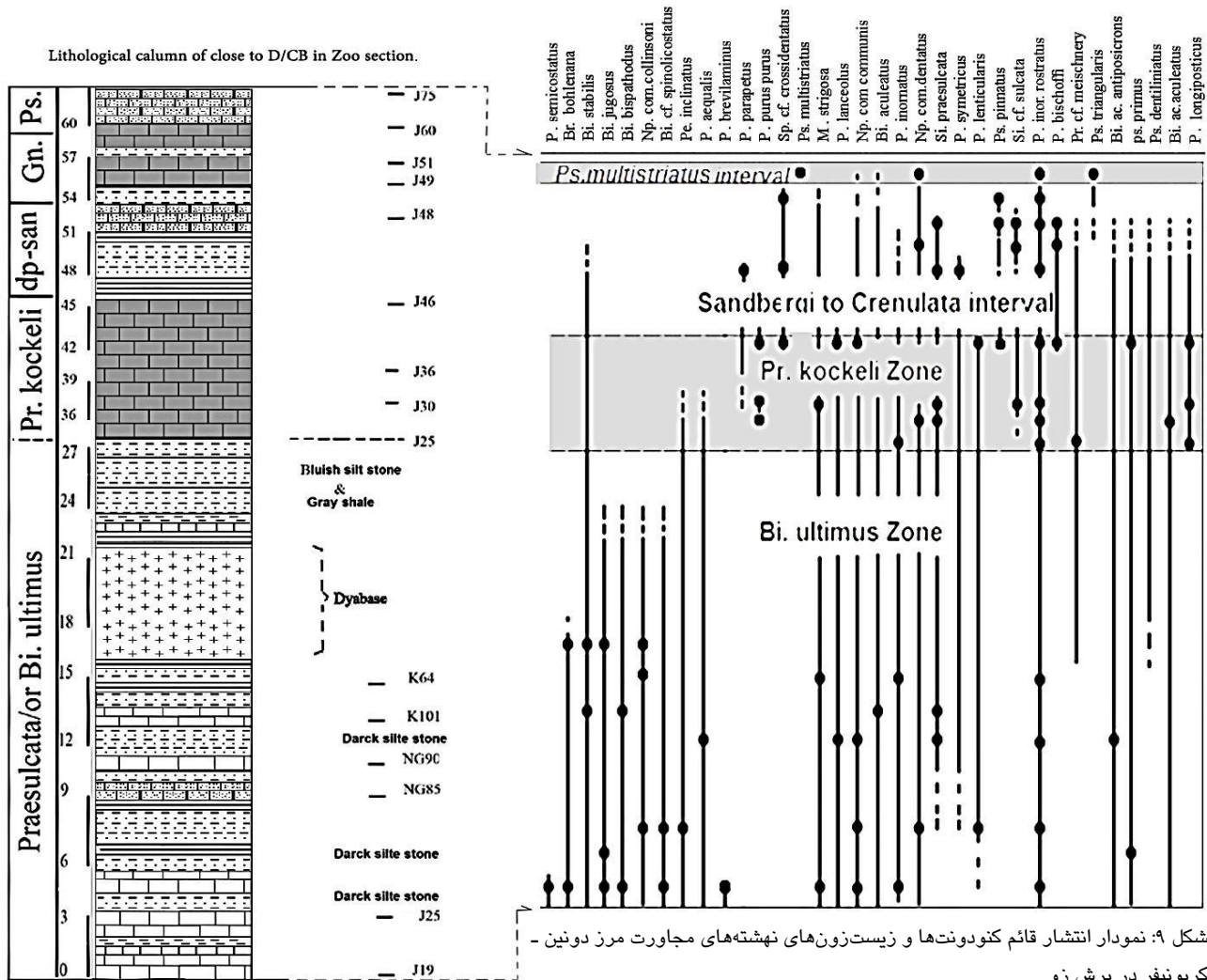
1. *Pseudopolygnathus multistriatus* Branson & Mehl, 1934, 1a. upper and 1b. lower views, specimen AUIC155309, Sample J49; 2, 3. *Neopolygnathus brevilaminus* Branson & Mehl 1934, 2. upper view, AUIC155300, Sample J19, 3. upper view, AUIC155301, Sample J19; 4. *Polygnathus costatus* Branson 1934, upper oblique view, AUIC155302, Sample J46; 5. *Polygnathus semicostatus* Branson & Mehl 1934, 5a. upper and 5b. lower views of AUIC155303, Sample J19; 6-8. *Siphonodella praesulcata* Sandberg *et al.* 1972, 6a. upper and 6b. lower views of AUIC155097, Sample J51, 7a. upper and 7b. lower views of AUIC155067, Sample J25, 8a. upper and 8b. lower views of AUIC155045, Sample J60; 9-11. *Siphonodella* aff. *sulcata* Huddle 1934, 9a. upper and 9b. lower views of AUIC155300, Sample J30, 10a. upper and 10b. lower views of AUIC155300, Sample J30, 11a. upper and 11b. lower views of AUIC155300, Sample J30; 12, 13. *Gnathodus* sp., 12. upper view, AUIC155331, 13. upper view, AUIC155332, Sample J56; 14. *Protognathodus* aff. *meischneri* Ziegler 1969, 14a. upper and 14b. lower views of EUIC155304, Sample J25; 15. *Pelekysgnathus inclinatus* Thomas 1949, lateral view, AUIC155234, Sample J21; 16. *Spathognathodus minivascus* Zhuravlev 1991, lateral, AUIC155231, Sample J46; 17. *Spathognathodus crossidentatus* Zhuravlev 1991, lateral view, AUIC155231, Sample J46.

Conodont samples		Conodont Zone <small>According to Spalletta et al., 2017</small>
. semicostatus Pr. bohlenana Bi. bispathodus Bi. jugosus Bi. costatus M1 Bi. costatus M2 Neo. com. collinsoni Bi. ultimus Pe. inclinatus Neo. purus purus P. meischneri P. praesulcata Si. longiposticus P. kockelli Si. sulcata Neo. purus subplanus Ps. pinnatus P. bischoffi P. fornicatus Ps. triangulus Pr. inornata Neo. com. communis P. inornatus P. inornatus Bi. acu. aculeatus Bi. acu. antiposicrinus Cl. pulchellus M. strigosa Ps. primus Ps. multistriatus Sp. crossidentatus Hindeodus Sp. P. brevilaminus P. inor. rostratus		
multistriatus		
S. isostacha & S. crenulata		
Si. duplicata	UP. duplicata	St. hassi
	L. duplicata	St. bransonii
Si. sulcata	.U	Pr. kockelli
	.L	Bl. ultimus
Si. praesulcata	U	
	M	
	L	
	UP. expansa	
Bi. costatus		

شکل ۸: زیست‌زون‌های شناسایی شده در برش مورد مطالعه بر اساس نوشته Spalletta et al. (2017)

زیردریایی در این بخش باشد. در این ناحیه، وجود اختلاف در ژرفای حوضه رسوبی در نواحی مختلف البرز شرقی، به احتمال زیاد ناشی از بروز عملکرد مجموعه گسل‌های جنوب البرز به‌ویژه گسل شاهرود می‌باشد که باعث ایجاد بلوک‌هایی به شکل فراپوم و فروپوم و در نتیجه تغییرات ژرفای حوضه رسوبی گردیده است (نجارزاده، ۱۳۷۶). مشابهت سنگ‌شناسی زیادی بین لایه‌های سیلت‌سنگ ورقه‌ای کبود رنگ، در سطح زیرین و سطح بالایی لایه دیاباز وجود دارد. دیاباز مزبور با سنگ‌های آتشفشانی معرفی شده در مجاورت مرز دونین - کربنیفر در سایر نواحی البرز شرقی (Stampfli, 1978)، البرز مرکزی (لاسمی، ۱۳۷۹)، میغان (حسینی‌نژاد، ۱۳۸۵)، تویه - دروار (شوشتری‌زاده، ۱۳۸۴؛ ستاری، ۱۳۹۹) و کیاسر (کبریایی‌زاده، ۱۳۸۸) قابل تطابق می‌باشد. چنین سنگ‌های آتشفشانی در محدوده مرز دونین - کربنیفر در نواحی

اروپا (شکل ۴)، این افق منطبق بر قاعده تورنرین در نظر گرفته شد. نبود *Polygnathus longiposticus* و *Neopolygnathus purus* در این بخش که براساس مطالعات Branson & Mehl (1934)، آخرین حضورشان در Lower *Siphonodella crenulata* Zone می‌باشد نیز دلیلی دیگر بر نهشته شدن J25 در Upper *Siphonodella duplicata* است. بر اساس پیدایش گونه *Prothognathodus meischneri* در لایه J25 و در فاصله ۶ متر بالاتر از لایه دیاباز به همراه نمونه *Siphonodella aff. Sulcata*، به احتمال زیاد گذر فامنین پسین - تورنرین در زیر این لایه منطبق بر رأس لایه‌های آواری شیلی - سیلت‌سنگی بر روی لایه دیاباز و منطبق بر مرز دو سازند خوش‌بیلاق و مبارک بوده است. لایه دیاباز زیردریایی در این ناحیه می‌تواند حاکی از بروز وقفه رسوبی کوچک، فعالیت‌های تکتونیکی و آتشفشانی



شکل ۹: نمودار انتشار قائم کنودونتها و زیست‌زون‌های نهشته‌های مجاورت مرز دونین - کربونیفر در برش زو

از سوی دیگر، بررسی‌های انجام گرفته توسط Stampfli (1978) در حاشیه شمالی گندوانا، حاکی از آن است که در نواحی جنوب اقیانوس پالتوتیس و نیز حواشی شمالی گندوانا، شیل‌های سبز تا کبود رنگ فامنین پسین تا قاعده تورنژین پیشین تداوم داشته‌اند. از این رو، با احتمال زیاد شیل و سیلت‌سنگ‌های کبود رنگ موجود در دو سطح زیرین و بالایی لایه دیاباز، در بالای ستون دونین در کوه زو، دارای سن فامنین پسین و مشابه سیلت‌سنگ‌های سبز رنگ در شمال گندوانا می‌باشند.

نمونه J60، با حضور زیر گونه *Pseudopolygnathus pinnatus* M1 در همراهی با *Neopolygnathus purus* و *subplanus* زیست‌زون

مختلف کشور روسیه و قزاقستان (Dobretsov, 2003)؛ (Satnova, 2012) نیز قابل تطابق با دیاباز موجود در برش مورد مطالعه می‌باشد. وجود این دیاباز نشانگر وقوع یک وقفه کوتاه مدت (در حدود ۱ تا ۲ میلیون سال) مقارن با محدوده Middle *Siphonodella praesulcata* to Upper *Siphonodella praesulcata* Interval or Upper *Bispathodus ultimus* Zone در مجاورت مرز دونین - کربنیفر در این ناحیه و سایر نواحی یاد شده در شمال گندوانا است. به عقیده Stampfli (1978) و لاسمی (۱۳۷۹)، نفوذ این گدازه‌های بازالتی و دیابازهای زیر دریایی در بین نهشته‌های فامنین پسین، ناشی از تسلط شرایط ریفتی و کششی حاشیه سکوه‌های کربناته در دونین - تریاس می‌باشد.

می‌باشد که قبلاً توسط سایر محققین در البرز شرقی و ایران مرکزی و در مناطق و کشورهای مجاور نظیر ترکیه، قزاقستان، سبیری و اروپا نیز گزارش شده است (Poty et al., 2006؛ Sommerville, 2008). از این رو به دلیل نبود نمونه‌های شاخص، برای گستره بین نمونه‌های J25 تا J59 به عنوان یک محدوده زیستی معادل تورنیزین پیشنهاد می‌گردد. این گستره از دیدگاه سنگ‌شناسی عمدتاً شامل سنگ آهک‌های ماسه‌ای و آلیتی، گل‌سنگ‌های نازک لایه با محتوای فسیلی اندک همانند بریوزوئر، قطعات کرینوئید، پوسته‌های استراکد، روزن‌داران، بقایای ماهی و گونه‌های کنودونتی آب‌های ژرف‌تر است. حضور گونه‌هایی از جنس‌های *Gnathodus*، *Neopolygnathus*، *Pseudopolygnathus*، *Polygnathus symmetricus* و *pinnatus* در این لایه‌ها، مؤید افزایش ژرفای حوضه رسوبی در ابتدای تورنیزین می‌باشد. شاخص تغییر رنگ کنودونت‌ها در این گستره تیره رنگ (CAI=۵) است.

**Visean interval (J60 تا J75): *Pseudopolygnathus multistriatus* interval**  
این گستره مربوط به کرینیفر پیشین (اشکوب ویزئن) است و نهشته‌های افق ۶۰ متری تا انتهای برش مورد مطالعه را دربرمی‌گیرد. در شرایط نبود گونه‌های شاخصی نظیر *Siphonodella isostacha* که مشخص‌کننده قاعده ویزئن می‌باشد، حضور گونه *Polygnathus inornatus* در همراهی با جنس *Gnathodus* از یک سو و نیز حضور گونه *Pseudopolygnathus multistriatus* در J60 تا J75 با همراهی فونای کنودونتی *Bispathodus stabilis*، *Neopolygnathus communis*، *Neopolygnathus purus purus*، *Polygnathus bischoffi*، *purus* و *subplanus*

را *Siphonodella isostacha-Siphonodella crenulata* نشان می‌دهد. زیست‌زون *Siphonodella duplicata* در این برش از نمونه J46 که شامل سنگ آهک آلیتی خاکستری تیره و نازک لایه می‌باشد، آغاز شده است. این لایه بر روی لایه‌های نازک شیل خاکستری تیره و سیلت‌سنگ‌های ورقه‌ای خاکستری تا کبود به سبزی ۶ متر قرار گرفته است. لایه‌های سیلیسی - آواری موجود احتمالاً نمایانگر وقوع یک مرحله پس‌روی دریا در پایان زیست‌زون *Siphonodella sulcata* می‌باشند. پس از لایه J47 در فاصله ۴۷ تا ۵۲ متری برش، تناوبی از گل‌سنگ‌های آهکی نخودی آلیتی نازک تا متوسط لایه، حاوی فسیل‌های بازوپایان، بریوزوئر، کرینوئید، استراکد، بقایای میکروسکپی ماهی‌ها و نیز اثر فسیل‌هایی مانند *Zoophycus* وجود دارند. حضور گونه *Pseudopolygnathus pinnatus* M1 بر اساس مطالعات Voges (1959)، مرز زیرین زیست‌زون *Siphonodella crenulata* را نشان می‌دهد. نبود گونه‌های کنودونتی شاخص همانند *Siphonodella quadruplicata* که معرف مرز زیرین *Lower Siphonodella duplicata Zone* می‌باشد و نیز کمبود سایر فونای کنودونتی شاخص، سبب شده تفکیک زیست‌زون‌ها مقدور نباشد و لذا همانند سایر نقاط ایران در البرز شرقی و ایران مرکزی (کوه‌های شتری و طبس)، محدوده زیستی *From Siphonodella duplicata to within Siphonodella isostacha-Siphonodella crenulata* biointerval برای این بخش پیشنهاد شود. از سوی دیگر حضور فونایی همچون *Gnathodus* sp.، *Neopolygnathus purus*، *Polygnathus longiposticus*، *Pseudopolygnathus symmetricus* و *pinnatus* در *Pseudopolygnathus multistriatus* نمونه‌های J49 تا J59 حاکی از حضور تفکیک نشده زیست‌زون‌های کنودونتی محدوده *From within Siphonodella duplicata to within Siphonodella isostacha and Siphonodella crenulata interval*

کنودونتی منجر شده است. این تاکسای کنودونتی معرف زیست‌زون *Bispathodus ultimus Zone* در فامنین پسین و دو محدوده زیستی در کرینیفر (تورنژین - ویزین) شامل *Siphonodella duplicata Zone* to within *Siphonodella isostacha* and *Siphonodella crenulata* interval *Pseudopolygnathus multistriatus* interval می‌باشند. مرز دونین - کرینیفر در این برش منطبق بر رأس لایه‌های آواری شیلی - سیلت‌سنگی بر روی لایه دیاباز در افق J25 است که با نخستین ظهور گونه *Prothognathus kockeli* و گونه *Prothognathodus meischeri* مشخص می‌شود. شاخص تغییر رنگ کنودونت‌ها در نهشته‌های کرینیفر (CAI=5) نسبت به نهشته‌های دونین پسین (CAI=4-5) افزایش یافته است که علت آن را می‌توان به وجود دیاباز و فعالیت‌های گسل‌ها در منطقه نسبت داد. رخساره غالب کنودونتی در برش مورد مطالعه رخساره *Polygnathid* است که ته‌نشست در قسمت شلف داخلی را نشان می‌دهد. رخساره‌های زیستی در کرینیفر با دارا بودن کنودونت‌های شاخص آب‌های ژرف، بیانگر ژرفای بیشتر محیط رسوبی دیرینه هستند.

### سپاس‌گزاری

این مقاله برگرفته از رساله دکتری نگارنده نخست مقاله (محمد تقی نجارزاده) می‌باشد که با حمایت گروه زمین‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، به انجام رسیده است. نگارندگان لازم می‌دانند از حمایت‌های معنوی مسئولان محترم آن دانشگاه محترم سپاس‌گزاری نمایند. همچنین، قدردان حمایت‌های علمی و معنوی جناب آقای دکتر محمد داستانیپور از دانشگاه کرمان، جناب آقای دکتر علی بهرامی از دانشگاه اصفهان، جناب آقای دکتر محمود حسینی‌نژاد از دانشگاه دامغان و جناب آقای دکتر عباس قادری از دانشگاه فردوسی مشهد هستند. از داوران ارجمندی که با نظرات ارزشمند خویش بر غنای این مطلب افزودند نیز صمیمانه سپاس‌گزاری می‌شود.

*Polygnathus longiposticus*, *Polygnathus inornatus*, *Polygnathus symmetricus*, *Polygnathus parapetus*, *Siphonodella* aff., *Pseudopolygnathus triangulus* و *Sulcata* و *Siphonodella praesulcata* نشانگر محدوده *Upper Siphonodella duplicata* تا *Pseudognathus multistriatus* یا همان قاعده ویزین می‌باشد (Poty et al., 2006؛ 2008, Sommerville). شاخص تغییر رنگ کنودونت‌ها در این محدوده نیز تیره رنگ (CAI=5) است.

### رخساره کنودونتی برش مورد مطالعه

درصد فراوانی عناصر کنودونتی به دست آمده از برش زو شامل (6%) *Bispathodus*، (2%) *Branmehla*، (2%) *Gnathodus*، (2%) *Mehlina*، (2%) *Pelekysgnathus*، (1.5%)، (62%) *Polygnathus+Neopolygnathus*، (7%) *Pseudopolygnathus*، (18%) *Siphonodella* و (1.5%) *Spatognathodus* است (جدول ۱) که در این میان بیشترین فراوانی مربوط به دو جنس *Polygnathus+* *Neopolygnathus* با میزان ۶۰٪ می‌باشد. بنابراین، زیست‌رخساره غالب در برش زو رخساره *Polygnathid* متعلق به قسمت شلف داخلی می‌باشد (Sandberg & Dreeseen, 1984). با شروع کرینیفر، سطح آب دریا افزایش یافته و تا بخش‌های بالایی شیب قاره و کمی ژرف‌تر را دربرمی‌گیرد. ژرف‌ترین رخساره‌های کنودونتی با افزایش درصد فراوانی تاکسایمانند *Bispathodus*، *Branmehla* و *Neopolygnathus communis* در بخش شلف خارجی مشخص می‌شود (Sandberg & Gutschick, 1984).

### نتیجه‌گیری

مطالعات دیرینه شناختی نهشته‌های پیرامون گذر دونین - کرینیفر (سازندهای خوش‌بیلاق و مبارک) در ناحیه زو براساس کنودونت‌ها به شناسایی ۱۰ جنس، ۲۳ گونه و ۸ زیرگونه

جدول ۱: فراوانی و توزیع جنس و گونه‌های کنودونتی به‌دست آمده از نهشته‌های مجاور گذر دونین - کربنیفر در برش چینه شناسی زو که در آن نمونه‌های فاقد کنودونت و برخی عناصر کم اهمیت حذف شده‌اند.

Conodont taxa (Zone)	Bispathodus ultimus (Upper Famennian)					Tournaisian					Veasian		Total		
	J19	J20	NG85	NG90	K101	J25	J30	J36	J46	J48	J49	J51		J60	J75
Sample number	J19	J20	NG85	NG90	K101	J25	J30	J36	J46	J48	J49	J51	J60	J75	14
Meters above base of section	0.1	5.8	13	16	18.5	37.5	38.5	42.5	47.5	52.5	55	57.1	58.5	61.5	63 (m)
<i>Branmehla bohlenana</i>		1			1										2
<i>Bispathodus stabilis</i> M1				1					2	1			1		5
<i>Bispathodus aculeatus</i>				1		1									2
<i>Bispathodus costatus</i>		1													1
<i>Bispathodus ultimus</i>		1	1												2
<i>Mehlina strigosa</i>	1							1							2
<i>Pelekysgnathus inclinatus</i>		1													1
<i>Polygnathus semicostatus</i>	1														1
<i>Neo.brevilaminus</i>	4	1													5
<i>Neo. communis</i>	1	2	2				1	1	4		1		2		14
<i>Polygnathus lanceolus</i>			1						1						2
<i>Polygnathus lenticularis</i>		1							1						2
<i>Polygnathus planarius</i>				1											1
<i>Polygnathus inornatus</i>	1	1	3	1	2	2		1	2		3	3			19
<i>Polygnathus longiposticus</i>						1		1	1						3
<i>Prothognathodus aff. meischneri</i>						1									1
<i>Polygnathus bischoffi</i>						4	1	1	1	1		1	1	1	11
<i>Siphonodella praesulcata</i>	1		1	1	2		2	1		1		1	2	2	14
<i>Siphonodella aff. sulcata</i>		1	2												3
<i>Pseudopolygnathus primus</i>									2		1				3
<i>Pseudopolygnathus pinnatus</i>													1	1	2
<i>Pseudopolygnathus triangulus</i>															
<i>Gnathodus multistriatus</i>														2	2
<i>Gnathodus sp.</i>											1				1
<i>Spathognathus crossidentatus</i>									2	1			1		4
TOTAL	9	10	10	5	5	8	5	6	16	4	5	6	8	6	103

## منابع

- افشارحرب، ع.، سهیلی، م.، واله م.، ۱۳۴۹. نقشه زمین شناسی کورخود، مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بهرامی، ع.، ۱۳۹۰. زیست چینه نگاری نهشته‌های دونین پایانی - کربنیفر آغازین در شرق ایران براساس کنودونت‌ها. رساله دکتری، دانشگاه اصفهان. ۱۵۳ص.
- حسینی نژاد، م.، ۱۳۸۵. بررسی بیواستراتیگرافی برش کلاریز (دامغان). رساله دکتری، دانشگاه اصفهان، ۴۵۰ص.
- حسینی نژاد، م.، یزدی، م.، قبادی پور، م.، غلامعلیان، ح.، ۱۳۸۶. چینه نگاری سنگ‌های دونین بالایی در برش کلاریز. فصل نامه علوم زمین، ۶۳: ۷۸-۸۵.

ستاری، ا.، ۱۳۹۹، زیست چینه نگاری نهشته‌های دونین پایانی - کربنیفر آغازین در البرز شرقی (تویه دروار، جنوب غربی دامغان) و ایران مرکزی (کوه بند عبدالحسین، جنوب شرق انارک) بر اساس فونای کنودونتی. رساله دکتری، دانشگاه اصفهان، ۳۰۸ص.  
شوشتری زاده، پ.، ۱۳۸۴. زیست چینه نگاری نهشته‌های دونین بالایی در البرز شرقی (تویه دروار، دامغان). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان. ۱۰۸ص.

علوی نایینی، م.، ۱۳۷۲. چینه شناسی پالئوزوییک ایران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۴۹۲ص.  
کبریایی زاده، م.ر.، ۱۳۸۸. زیست‌زون بندی سازند جیروود در البرز خاوری (منطقه دامغان) بر اساس بازوپایان. فصلنامه علوم زمین، ۷۱: ۱۹-۳۰.

لاسمی، ی.، ۱۳۷۹. رخساره‌ها، محیط‌های رسوبی و چینه نگاری سکانسی نهشته سنگ‌های پرکامبرین بالایی و پالئوزوییک ایران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۸۰ص.

نجم‌زاده، م.ت.، ۱۳۷۶. بررسی بیواستراتیگرافی نهشته‌های دونین در منطقه جاجرم بر اساس فسیل‌های کنودونتی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۹۸ص.

Alavi, M., 1994. Sedimentary and structural characteristics of the Pale-Tethys remnants in northeastern Iran. *Geological Society of America Bulletin*, 103: 983-992.

Alberti, H., Groos-Uffenorde, H., Streel, M., Uffenorde, H., & Walliser, O.H., 1974. The stratigraphical significance of the *Protognathodus* fauna from Stockum (Devonian/Carboniferous boundary, Rhenish Schiefergebirge). *Newsletters on Stratigraphy*, 3: 263-276.

Bahrami A., Corradini C., Jeffrey Over, D., & Yazdi, M., 2011. Conodont Biostratigraphy of the Upper Frasnian-Lower Famennian transitional deposits in the Sotori Range, Tabas area, Central-East Iran Microplate. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 50: 35-53.

Bahrami, A., Königshof, P., Vaziri-Moghaddam, H., Shakeri, B., & Boncheva, I., 2019. Conodont stratigraphy and conodont biofacies of the shallow-water Kuh-e-Bande-Abdol-Hossein section (SE Anarak, Central Iran), *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 99: 477-494.

Bischoff, G.C.O., 1973. On the nature of conodont animal. *Geology and Paleontology*, 7: 147-174.

Branson, E.R., 1934. Conodonts from the Hannibal Formation of Missouri. *Missouri University Studies*, 8: 301-343.

Branson. E.B., & Mehl M.G., 1934. Conodonts from the Bushberg sandstone and equivalent formations of Missouri. *University of Missouri Studies*, 8(1-4): 1-350.

Caplan M.L., & Bustin, R.M., 1999. Devonian-Carboniferous Hangenberg mass extinction event, widespread organic-rich mud rock, and anoxia: causes and consequences. *Palaeogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 148: 187-207.

Corradini, C., 2003. Famennian (Late Devonian) conodonts from the Corona Mizziu sections (SE Sardinia, Italy). *Palaeontographia Italica*, 89: 63-114.

Corradini, C., 2008. Revision of Famennian-Tournaisian (Late Devonian-Early Carboniferous) Conodont biostratigraphy of Sardinia. Italy. *Revue de Micropaleontologie*, 51: 123-132.

Corradini, C., Kaiser, S.I., Perri, M.C., & Spalletta, C., 2011. *Protognathodus* (Conodonta) and its potential as a tool for defining the Devonian/Carboniferous Boundary. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 117 (1): 15-28.

Corradini, C., Spalletta, C., Mossoni, A., Matyja, H., & Over, D.J., 2016. 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 (4): 888-902.

Dobrestov, M.L., 2003. Evolution of structures of the Urals, Kazakhstan, Tianshan and Altai-Sayan region within the Ural-Mongolian fold belt (Paleoasian ocean)-*Russian Geology and Geophysics*, 44: 3-26.

Feist, R., 1990. Guide book of the field meeting, Montagne Noire 1990. Montpellier, *International Union Geological Science Subcommittee Devonian Stratigraphy*, 69 p.



- Flajs, G., & Feist, R., 1988. Index conodont, trilobite and environment of Devonian Carboniferous Boundary Beds at La Serre (Montaigne NORI, France). In: Flajs, G., Feist, R., & Zeigler, W., (eds.), Devonian-Carboniferous Boundary results of recent studies. *Courier Forschungs institut Senckenberg*, 100: 50-107.
- Hass, W.H., 1962, Conodonts. In: Moore, M., (ed.), Treatise on Invertebrate Paleontology. *Geological Society of America and University of Kansas*, 3-89.
- Huddle, J.W., 1934. Conodonts from the New Albany Shale of Indiana. *Bulletins of American Paleontology*. 21 (72): 137.
- Kaiser, S., & Corradini, C., 2011. The early Siphonodellids (Conodonta), Late Devonian-Early Carboniferous: overview and taxonomic state. *Neues Jahrbuch fur Geologie und Palaontologie Abhandlungen*, 26: 19-35.
- Kaiser, S.I., 2009. The Devonian/Carboniferous stratotype section La Serre (Montagne Noire) revisited. *Newsletters on Stratigraphy*, 43 (2): 195-205.
- 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.
- Konigshof, P., Bahrami, A., & Kaiser, S.I., 2021. Devonian-Carboniferous boundary sections in Iran. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 101: 613-632.
- Mc.Ghee, G.r.J.r., 1996. The Late Devonian Mass Extinction: The Frasnian-Famennian Crisis. *Columbia University Press*, New York, 303 p.
- Mossoni, A., Carta, N., Corradini, C., & Spalletta, C., 2015. Conodonts across the Devonian/Carboniferous boundary in SE Sardinia (Italy). *Bulletin of Geosciences*, 90: 371-88.
- Mossoni, A., Corradini, C., & Spalletta, C., 2013. Conodonts from the Monte Taccu section (Famennian-Tournaisian, Sardinia, Italy), *Asociación Paleontológica Argentina, Publicación especial*, 13: 85-90.
- Paproth, E., Feist, R., & Flajs, G., 1991. Decision on the Devonian-Carboniferous boundary stratotype. *Episodes*, 14 (4): 331-336.
- Poty, E., Devuyt, F.X., Hance, L., 2006. Upper Devonian and Mississippian foraminiferal and rugose coral zonation of Belgium and northern France: a tool for Eurasian correlations. *Geological Magazine*, 143 (6): 829-857.
- Rhodes, F.H.T., Austin, R.L., & Druce, E.C., 1969. British Avonian (Carboniferous) conodont faunas, and their value in local and intercontinental correlation. London: *Bulletin of the British Museum (Natural History). Geology Supplement*, 5: 1-313.
- Sandberg, C.A., & Dreesen, R., 1984. Late Devonian icriodontid biofacies models and alternate shallow water conodont zonation. In: Clark, D.L., (ed.), Conodont biofacies and provincialism. *Geological Society of America Special Paper*, 196: 143-178.
- Sandberg, C.A., & 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., & Clayton, J.L., (eds.), Hydrocarbon source rocks of the Greater Rocky Mountain region, Denver Colorado, Rocky Mountain. *Association of Geologists*, 135-178.
- Sandberg, C.A., & Ziegler, W., 1979. Taxonomy and biofacies of important conodonts of Late Devonian styriacus Zone, United State and Germany. *Geologica et palaeontologica*, 13: 173-212.
- Sandberg, C.A., Morrow, J.R., & Ziegler, W., 2002. Late Devonian sea-level changes, catastrophic events, and mass extinctions. *Geological Society of America Special Paper*, 356: 473-487.
- Sandberg, C.A., Poole, F.G., & Johnson, J.G., 1988. Upper Devonian of Western United States. In: McMillan, N.J., Embery, A.F., & Glas, D.J., (eds.), Devonian of the World. *Proceedings of the Canadian Society of Petroleum Geologists International Symposium, Devonian System*. 183-220.
- Sandberg, C.A., Streel, M., & Scott, R.A., 1972. Comparison between conodont zonation and spore assemblages in the Devonian-Carboniferous boundary in the western and central United State and in Europe. *7e Congres International de Stratigraphie et de Geologie du Carbonifere, Krefeld*, 23-28 August 1971, *Compte Rendu* 1: 179-203.

- Sandberg, C.A., Ziegler, W., Leuteritz, K., & Brill, S.M., 1978. Phylogeny, speciation, and zonation of *Siphnodella* (Conodonta, Upper Devonian and Lower Carboniferous). *Newsletter on Stratigraphy*, 7: 102-120.
- Satnova, I.Y., 2012. Late Paleozoic oceanic basalts hosted by char suture-shear Zone, East Kazakhstan: Geological position, geochemistry, petrogenesis and tectonic setting. *Journal of Asian Earth sciences*, 40: 20-39.
- Sattari, E., Bahrami, A., Königshof, P., & Vaziri-Moghaddam, H., 2021. Late Devonian (Famennian) to Carboniferous (Mississippian-Pennsylvanian) conodonts from the Anarak section, Central Iran. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 101: 781-802.
- Sommerville, I.D., 2008. Biostratigraphic zonation and correlation of Mississippian rocks in Western Europe: some case studies in the late Viséan/Serpukhovian. *Geological Journal*, 43: 209-40.
- Spalletta, C., Perri, M.C., Over, D.J., & Corradini, C., 2017. Famennian (Upper Devonian) conodont zonation: revised global standard. *Bulletin of Geosciences*, 92: 31-57.
- Stampfli, G.M., 1978. Étude géologique générale de l'Elburz oriental au S de Gonbad-e-Qabus, Iran NE. *These présentée la Faculté des Sciences de l'Université de Geneve*, 329 p.
- Thomas, L.A., 1949. Devonian-Mississippian Formations of southeast Iowa. *Bulletin of the Geological Society of America*, 60: 403-138.
- Voges, A., 1959. Conodonten aus dem Untercarbon I und II (Gattendorfia- und Pericyclus-Stufe) de Sauerlandes. *Paläontologische Zeitschrift*, 33 (4): 266-314.
- Wendt, J., Kaufmann, B., Belka, Z., Farsan, N., & Karimi Bavandpur, A., 2005. Devonian/Lower Carboniferous stratigraphy, facies patterns and palaeogeography of Iran. Part II. Norther and Central Iran. *Acta Geologica Polonica*, 55: 31-97.
- Yazdi, M., 1999. Late Devonian-Carboniferous conodonts from Eastern Iran. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 105: 160-200.
- Zhuravlev, A.V., 1991. A new *Polygnathus* species (Conodonta) from the Lower Carboniferous of the North Urals. *Paleontologicheskii Zhurnal*, 1: 129-130 (in Russian).
- Ziegler, W., & Sandberg, C.A., 1984. *Palmatolepis*-based revision of upper part of standard Late Devonian conodonts zonation. *Geological Society of America, Special Paper*, 196: 179-194.
- Ziegler, W., & Sandberg, C.A., 1990. The Late Devonian Standard Conodont Zonation. *Courier Forschungs Institut Senckenberg*, 121: 1-115
- Ziegler, W., & Sandberg, C.A., 1996. Reflexions on Frasnian and Famennian Stage boundary decisions as a guide to future deliberations. *Newsletters on Stratigraphy*, 33: 157-180.
- Ziegler, W., 1969. Eine neue Conodonten fauna aus dem höchsten Oberdevon. *Fortschritte Geologie von Rheinland und Westfalen*, 17: 179-191.
- Ziegler, W., Sandberg, C.A., & Austin, R.L., 1974. Revision of Bispathodus group (conodonta) in the Upper Devonian and Lower Carboniferous. *Geologica et Palaeontologica*, 8: 97-112.

## Biostratigraphy of Late Devonian-Early Carboniferous deposits in the Zoo section (northeast of Iran) based on conodont fauna

Najjarzadeh, M.T.<sup>1\*</sup>, Ashouri, A.R.<sup>2</sup>, Yazdi, M.<sup>3</sup>

1- Ph.D. student in Stratigraphy & Paleontology, Department of Geology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

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

3- Professor, Department of Geology, Faculty of Science, University of Isfahan, Isfahan, Iran

\* Email: ashouri@um.ac.ir

### Introduction

Devonian-Carboniferous boundary is an exciting issue for researchers all over the world. In this boundary, significant events have occurred on marine organisms (specially conodonts elements) and terrestrial organisms, consisting of weather and sea-level changes, and relative coincidence with the Hangenberg bio-event (Mc. Ghee, 1998; Sandberg *et al.*, 2002; Caplan & Bustin, 1999; Kaiser *et al.*, 2006, 2011, Bahrami *et al.*, 2011, 2019; Konigshof *et al.*, 2021; Sattari *et al.*, 2021). According to ICS, the Devonian-Carboniferous boundary, as defined by the first Appearance Datum (FAD) of the conodont species *Siphonodella sulcata* within the *Siphonodella praesulcata*- *Siphonodella sulcata* lineage and the GSSP is located in the La Serre Trench E' section in France (Paproth *et al.* 1991). Khoshyeilagh Formation in Zoo section consists of shallow marine deposits attributed to the Late Devonian (Frasnian-Famennin) (Najjarzadeh, 1997). This study focuses on identifying and reviewing the Devonian-Carboniferous boundary in a part of the Eastern Alborz area and study the biostratigraphy of deposits near this boundary based on conodont fauna.

### Materials and Methods

58 carbonate and 11 non-carbonate samples (3-4 kg/each) were collected and processed for conodonts. The samples were processed with the conventional acetic acid technique, but formic acid 10% with 10 hours was also used for some silty samples and compacted limestones. Then picked remaining deposits with the handpicking method. The following steps include pasting the conodont specimens on stab, photographing them under an SEM microscope, and naming conodonts elements based on available references (e.g., Branson & Mehl, 1934; ...). Accordingly, the biozonation of the studied sequence using the global standard zonings of Ziegler & Sandberg (1990), Sommerville (2008), Poty *et al.* (2006), Spalletta *et al.* (2017).

### Discussion and Conclusion

Khoushyeilagh and Mobarak formations Late Devonian-Carboniferous conodonts fauna of Zoo section, (NE Jajarm), led to identifying 10 conodont genera, 23 species, and 8 subspecies. The conodont faunas which be obtained in this research indicate the presence of these biozones: *Bispathodus ultimus* Zone (Latest Famennian), From the base of *Siphonodella duplicata* to within *Siphonodella crenulata* interval (Tournaisian), and *Pseudopolygnathos multistriatus* Zone (Visean). According to this study, the Fm/T boundary is located at the end of Khoushyeilagh formation, 6m above the diabase layer. The conodonts, as mentioned above, are indicators for Polygnathid biofacies. These sequences are similar to other Famennian-Tournaisian deposits in the east Alborz, both in the litho-facies and bio-facies peculiarities. The conodont Color Alteration Index in the Carboniferous conodonts element increased compared to the Late Devonian elements.

**Keywords:** Conodont; Devonian; Carboniferous; Khoshyeilagh; Mobarak, Famennian; Tournaisian.

### References

Bahrami A., Corradini C., Jeffrey Over, D., & Yazdi, M., 2011. Conodont Biostratigraphy of the Upper Frasnian-Lower Famennian transitional deposits in the Shotori Range, Tabas area, Central-East Iran Microplate. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 50: 35-53.

- Bahrami, A., Königshof, P., Vaziri-Moghaddam, H., Shakeri, B., & Boncheva, I., 2019. Conodont stratigraphy and conodont biofacies of the shallow-water Kuh-e-Bande-Abdol-Hossein section (SE Anarak, Central Iran), *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 99: 477–494.
- Branson, E.R., 1934. Conodonts from the Hannibal Formation of Missouri. *Missouri University Studies*, 8: 301-343.
- Caplan M.L., & Bustin, R.M., 1999. Devonian–Carboniferous Hangenberg mass extinction event, widespread organic-rich mudrock, and anoxia: causes and consequences. *Palaeogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 148: 187–207.
- Kaiser, S.I., Steuber, T., Becker, R.T., & Joachimski, M.M., 2006. Geochemical evidence for major environmental change at the Devonian–Carboniferous boundary in the Carnic Alps and the Rhenish Massif. *Palaeogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 240 (1–2): 146–160.
- Königshof, P., Bahrami, A., & Kaiser, S.I., 2021. Devonian–Carboniferous boundary sections in Iran. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 101: 613-632.
- Mc.Ghee, G.r.J.r., 1996. The Late Devonian Mass Extinction: The Frasnian-Famennian Crisis. *Columbia University Press*, New York, 303 p.
- Najjarzadeh, M.T., 1998. Biostratigraphy of the Devonian strata on based of Conodonts elements in Zoo section (Eastern Alborz), Iran. *Unpublished M.Sc. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad*, (in Persian).
- Paproth, E., Feist, R., & Flajs, G., 1991. Decision on the Devonian–Carboniferous boundary stratotype. *Episodes*, 14 (4): 331-336.
- Poty, E., Devuyt, F.X., Hance, L., 2006. Upper Devonian and Mississippian foraminiferal and rugose coral zonations of Belgium and northern France: a tool for Eurasian correlations. *Geological Magazine*, 143 (6): 829-857.
- Sandberg, C.A., Morrow, J.R., & Ziegler, W., 2002. Late Devonian sea-level changes, catastrophic events, and mass extinctions. *Geological Society of America Special Paper*, 356: 473-487.
- Sattari, E., Bahrami, A., Königshof, P., & Vaziri-Moghaddam, H., 2021. Late Devonian (Famennian) to Carboniferous (Mississippian–Pennsylvanian) conodonts from the Anarak section, Central Iran. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 101: 781-802.
- Sommerville, I.D., 2008. Biostratigraphic zonation and correlation of Mississippian rocks in Western Europe: some case studies in the late Visean/Serpukhovian. *Geological Journal*, 43: 209-40.
- Spalletta, C., Perri, M.C., Over, D.J., & Corradini, C., 2017. Famennian (Upper Devonian) conodont zonation: revised global standard. *Bulletin of Geosciences*, 92: 31-57.
- Ziegler, W., & Sandberg, C.A., 1990. The Late Devonian Standard Conodont Zonation. *Courier Forschungs Institut Senckenberg*, 121: 1-115.