

# مرز کامبرین - اردوویسین در کپه‌داغ باختری و البرز خاوری ایران

هادی جهانگیر<sup>۱</sup>، منصوره قبادی‌پور<sup>۲</sup> و علیرضا عاشوری<sup>۳\*</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

<sup>۲</sup>دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

<sup>۳</sup>استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۲۸

## چکیده

لایه‌های رسوبی مرز کامبرین- اردوویسین در برش کلات، در کپه داغ باختری، بیشتر متشکل از یک توالی یکنواخت از رسوبات آواری ریزدانه آرژیلیتی با میان‌لایه‌های آهکی صدف‌دار است که در یک محیط فلات قاره یا شلف بیرونی ته‌نشین شده‌اند. در محدوده این مرز، یک توالی کامل از زیست‌زون‌های کنودنتی، *Cordylodus intermedius* و *Cordylodus lindstromi* و *Cordylodus angulatus* دیده می‌شود. اولین ظهور گراپتولیت پلانکتونی (*Rhabdinopora cf. flabelliformis flabelliformis* (Eichwald, 1840) در بخش بالایی زیست‌زون کنودنتی *Cordylodus lindstromi*، در رسوبات آرژیلیتی سیاه رنگ موقعیت به نسبت دقیق مرز کامبرین- اردوویسین را در برش کلات آشکار می‌سازد. در البرز خاوری، به دلیل نبود کنودنت و گراپتولیت شاخص در محدوده مرز کامبرین- اردوویسین، تعیین دقیق این مرز ممکن نیست. ردیف رسوبات گداز کامبرین- اردوویسین در برش‌های ده‌ملا و سیمه کوه از البرز خاوری، از دید سنگ‌شناسی به سه بخش قابل تقسیم است: (۱) سنگ‌های آهکی به سن فورونگین که به سمت بالا به رسوبات آواری تبدیل می‌شود؛ (۲) ماسه‌سنگ‌های دارای *Cruziana* مربوط به پایان کامبرین، نشان‌دهنده کمپلکس‌های ساحلی یا پایایی؛ (۳) آرژیلیت‌های خاکستری متعلق به ترمادوسین که گویای نواحی ژرف‌تر دور از ساحل هستند. در این ناحیه مرز تقریبی کامبرین- اردوویسین در قاعده زیست‌زون تریلوبیتی *Asaphellus inflatus-Dactylocephalus* قرار دارد.

**کلیدواژه‌ها:** فورونگین، ترمادوسین، کنودنت، تریلوبیت، گراپتولیت، زیست‌زون.

**\*نویسنده مسئول:** علیرضا عاشوری

E-mail: ashouri@ferdowsi.um.ac.ir

## ۱- پیش‌نوشتار

اتحادیه بین‌المللی علوم زمین (IUGS) در ژانویه ۲۰۰۰ برش گرین پوینت در نیوفاندلند را به‌عنوان GSSP (Global Boundary Stratotype Section and Point) یا برش الگوی مرز جهانی کامبرین- اردوویسین انتخاب کرد. مرز کامبرین- اردوویسین، منطبق بر قاعده اشکوب ترمادوسین، در برش الگو با اولین ظهور گونه کنودنتی *Iapetognatus flactivagus* مشخص می‌شود که نزدیک به اولین ظهور گراپتولیت‌های پلانکتونیک دیکتیونمید و درست در زیر آن قرار دارد (Cooper et al., 2001). به علت اینکه تاکسونومی جنس کنودنتی *Iapetognatus flactivagus* GSSP گرین پوینت به خوبی توصیف شده بود مورد توجه کمیته چینه‌شناسی قرار گرفت. به هر حال، مطالعات دوباره (Terfelt et al., 2012) روی برش گرین پوینت نشان می‌دهد که این گونه در مرز دیده نمی‌شود و ظهور واقعی آن درست در بالای اولین ظهور گراپتولیت‌های پلانکتونیک است.

مدت زمان زیادی است که موقعیت مرز کامبرین- اردوویسین در شمال ایران مورد بحث و اختلاف نظر بوده است. Kushan (1973) آغاز سامانه اردوویسین در البرز را در قاعده زیست‌زون تریلوبیتی ۷ خود (زون *Saukia*) و عضو ۵ سازند میلا قرار داد. Peng et al. (1999) با بازنگری تریلوبیت‌های سازند میلا در برش شه‌میرزاد، زیست‌زون‌های ۶ (زون *Alborsella*) و ۷ (زون *Saukia*) کوشان را در یک زون به نام *Alborsella* ادغام کردند و بخش انتهایی سازند میلا را در برش شه‌میرزاد به کامبرین پسین نسبت دادند. آنها همچنین به حضور احتمالی تریلوبیت‌های جوان تر منتسب به اردوویسین اشاره کردند. Ghavidel-Syooki (2006) مرز کامبرین- اردوویسین در برش ده‌ملا در البرز خاوری را در میان زیست‌زون‌های تجمعی آکریتارک شماره ۱ و ۲ خود و در مرز سنگ‌شناسی ماسه‌سنگ و شیل قرار داده است.

نهشته‌های کامبرین پسین در البرز با عضوهای ۳ و ۴ سازند میلا شناخته می‌شوند که شامل سنگ آهک‌های زیست‌آواری با لایه‌های صدف‌دار (shell beds) مربوط به توالی‌های کم‌رُفای کربناته است. عضو ۵ سازند میلا از سنگ‌های آواری (ماسه‌سنگ، سیلت‌سنگ و آرژیلیت) تشکیل شده و بدون کنودنت شاخص

*Iapetognatus flactivagus* برای تعیین مرز کامبرین- اردوویسین است. در برابر آن موقعیت دقیق تر مرز کامبرین- اردوویسین در توالی رسوبی مربوط به کپه‌داغ باختری (جنوب بجنورد) با اولین ظهور گراپتولیت‌های پلانکتون در یک واحد آرژیلیتی مشخص شده است (Ghobadi Pour et al., 2009). مطالعات گسترده روی بازوپایان، تریلوبیت‌ها و کنودنت‌ها در سال‌های اخیر نشان می‌دهد که تقسیمات سنگ‌چینه‌ای و زیست‌چینه‌ای توالی‌های کامبرین- اردوویسین در ایران نیاز به بازنگری کلی دارد. در این راستا، برای شناسایی دقیق تر مرز کامبرین- اردوویسین، دو برش سیمه کوه و ده‌ملا از البرز خاوری (استان سمنان) و برش کلات از کپه‌داغ باختری (استان خراسان شمالی) انتخاب و مطالعه شد.

برش اول از البرز خاوری به نام برش سیمه کوه، در حدود ۱۳ کیلومتری شمال باختری دامغان، در جاده دامغان- چشمه‌علی و در دامنه جنوبی البرز خاوری جای دارد (شکل ۱). مختصات جغرافیایی قاعده برش مورد مطالعه شامل "۴۲/۹' ۱۲' ۳۶° شمالی و "۳۶/۱' ۱۳' ۵۴° خاوری و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۸۲ متر است. برش دوم از البرز خاوری به نام برش ده‌ملا، در حدود ۱۵ کیلومتری باختر شاهرود و در دامنه جنوبی البرز خاوری جای دارد (شکل ۱). مختصات جغرافیایی قاعده آن شامل "۱۷/۸۸' ۲۱' ۳۶° شمالی و "۴۷/۹۴' ۴۴' ۵۴° خاوری و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۷۸۲ متر است. برش سوم از کپه‌داغ باختری به نام برش کلات در شمال دره‌ای به نام قزلب در حدود ۳۹ کیلومتری جنوب بجنورد قرار دارد (شکل ۲). مختصات جغرافیایی قاعده این برش شامل "۳۷' ۱۳' ۳۷° شمالی و "۲۳' ۲۳' ۵۷° خاوری و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۶۲۰ متر است.

## ۲- مرز کامبرین- اردوویسین در البرز خاوری

تطابق برش‌های مختلف در البرز به دلیل نبودن فسیل شاخص کار ساده‌ای نیست. از دید سنگ‌شناسی می‌توان توالی رسوبی گذر مرز کامبرین- اردوویسین را در البرز خاوری از پایین به بالا به سه بخش تقسیم کرد: (۱) سنگ‌آهک‌های زیست‌آواری

انتهای کامبرین، بیشتر گونه‌های کنودونتی اولیه مانند *Proconodontus muelleri* و *Eoconodontus notchpeakensis* در قاعده زون *Cordylodus proavus* منقرض شدند و در پی آن، اولین گونه‌های شاخه‌ای شکل از جنس *Cordylodus* ظاهر شدند که این تغییر و تحولات در زیای کنودونتی رسوبات کامبرین پنین البرز و کپه‌داغ باختری نیز دیده می‌شود (شکل ۳). در البرز خاوری به دلیل تغییر سنگ‌شناسی از سنگ آهک به رسوبات آواری ماسه‌سنگی دارای *Cruziana* و آرژیلیت، دیگر زیست‌زون‌های کنودونتی شاخص جنس *Cordylodus* مربوط به اواخر فورونگین پنین و ابتدای ترمادوسین پیشین حفظ نشده‌اند (شکل‌های ۳ و ۴). از دید جغرافیای دیرینه، سرزمین البرز در زمان کامبرین پنین - اردووسین پیشین از عرض‌های نیمه‌حاره‌ای به سوی عرض‌های معتدل در حرکت بوده است و با افزایش سرمای هوا و چیرگی اقلیم سرد در انتهای کامبرین و همزمان با ظهور *Cordylodus* رسوب‌گذاری کربنات‌های کم‌ژرفا این حرکت پایان پذیرفت و رژیم رسوب‌گذاری به آواری کم‌ژرفا به صورت ماسه‌سنگ‌های دارای *Cruziana* نواحی ساحلی یا پایابی تغییر یافت. ابتدای ترمادوسین با پیشروی جهانی آب دریا همراه است؛ به طوری که با بالا آمدگی سطح آب دریا تا ۵۰ متر رسوبات آواری نواحی ژرف دور از ساحل به صورت آرژیلیت‌های خاکستری با لایه‌های توفان‌زاد برجای گذاشته شد (Jahangir et al., 2014). در بخش بالایی واحد آرژیلیتی چند لایه نازک از سنگ آهک‌های زیست‌آواری با بقایای خرد شده فسیل‌های کم‌تنوع از بازوپایان و تریلوبیت‌ها و همچنین اجتماع کنودونتی غنی با تنوع بالا شاخص زیست‌زون *Paltodus deltifer* به سن ترمادوسین پنین وجود دارد (Ghobadi Pour et al., 2011) (شکل‌های ۳، ۴ و ۵).

### ۳- مرز کامبرین - اردووسین در کپه‌داغ باختری

نهشته‌های مرز کامبرین - اردووسین در برش کلات در کپه‌داغ باختری، بیشتر شامل توالی یکنواختی از رسوبات آواری با چندین لایه از سنگ آهک‌های زیست‌آواری صدف‌دار است که در یک محیط رسوبی مربوط به شلف بیرونی تشکیل شده است. برش کلات دارای زیست‌زون‌های کنودونتی کامل در گذر کامبرین - اردووسین است و کامل‌ترین توالی زیست‌زون‌های کنودونتی فورونگین - اردووسین پیشین در ایران را نشان می‌دهد (شکل ۳). افزون بر زیست‌زون‌های کنودونتی که در فورونگین پنین البرز خاوری وجود دارد، در این برش زیست‌زون‌های کنودونتی *Cordylodus lindstromi*، *Cordylodus intermedius* و *Cordylodus angulatus* در محدوده مرز کامبرین - اردووسین دیده می‌شوند (شکل‌های ۳ و ۴). ظهور زیست‌زون *Cordylodus intermedius* در بالای زیست‌زون کنودونتی *Cordylodus proavus* نشان‌دهنده بخش‌های بالایی فورونگین پنین و پس از آن ظهور زیست‌زون *Cordylodus lindstromi* نشان‌دهنده انتهایی‌ترین بخش فورونگین پنین و پایین‌ترین بخش ترمادوسین پیشین است. وجود زیست‌زون *Cordylodus angulatus* نیز که آخرین زیست‌زون کنودونتی از جنس *Cordylodus* است، شاخص ترمادوسین پیشین است (شکل‌های ۳ و ۴). گونه شاخص تعیین‌کننده مرز یعنی *Iapetognathus fluctivagus* در این برش دیده نشد. با این وجود آرژیلیت‌های تیره که درست در زیر اولین ظهور زیست‌زون کنودونتی *Cordylodus angulatus* و در محدوده زیست‌زون کنودونتی *Cordylodus lindstromi* (نمونه F-35) قرار دارد، دارای گراپتولیت پلانکتون *Rhabdinopora flabelliformis* subsp. Indet است (شکل ۳). این گراپتولیت همانند زیرگونه *Rhabdinopora flabelliformis* (Eichwald, 1840) و سن آن مشابه اجتماع شماره ۲ (Cooper et al., 1998) یعنی ابتدای اردووسین و کمی بالاتر از مرز کامبرین - اردووسین است. گراپتولیت یاد شده در برش کلات به همراه بازوپایان اوبولید و تریلوبیت‌های اولیید *Peltocare* sp. دیده می‌شوند. بنابراین قاعده اردووسین در برش کلات، در زیر اولین واحد آرژیلیتی سیاه گراپتولیت‌دار و در زیست‌زون کنودونتی *Cordylodus lindstromi* قرار می‌گیرد (شکل ۳). در حوضه‌هایی همچون بالتیک، آوالونیا (بریتانیا)، خاور آمریکای شمالی،

مربوط به محیط‌های کم‌ژرفا که به سوی بالا به رسوبات آواری تبدیل می‌شود؛ (۲) ماسه‌سنگ‌های دارای اثر فسیل *Cruziana* مربوط به کمپلکس‌های کم‌ژرفای پایابی یا ساحلی؛ (۳) آرژیلیت با چند لایه صدف‌دار (توفان‌زاد) مربوط به محیط‌های دور از ساحل.

(Popov et al., 2011) در توالی رسوبی گذر مرز کامبرین - اردووسین برش ده‌ملا چهار تجمع متوالی از بازوپایان معرفی کردند که از پایین به بالا عبارتند از: (۱) تجمع *Billingsella* در توالی رسوبی عضو ۳ (میلاد ۲) تجمع *Syntrophopsis* در بخش زیرین عضو ۴ (میلاد ۳) تجمع *Palaeostrophia/Plectotrophia* در بخش بالایی عضو ۴ (میلاد ۴) تجمع *Nanorthis* در آرژیلیت‌های قاعده ترمادوسین که در ادامه به تجمع‌های بازوپایان میکرومورفیک تبدیل می‌شود.

عضو ۴ سازند میلا در البرز، دارای زیای تریلوبیتی تک‌جنسی *Alborsella* است که به غیر از البرز تاکنون تنها از کامبرین پنین تاورید ترکیه گزارش شده است (Kushan, 1973). در واحد آرژیلیتی معادل با عضو ۵ سازند میلا، زیای تریلوبیتی بسیار مشابه با جنوب چین به نام زیست‌زون *Asaphellus inflatus-Dactylocephalus* به سن ترمادوسین پیشین وجود دارد (شکل‌های ۳ و ۴) که این اجتماع در جنوب چین شاخص قاعده اردووسین است (Ghobadi Pour, 2006; Kebria-ee Zadeh et al., 2015). به علت نبود کنودونت در محدوده مرز کامبرین - اردووسین در البرز خاوری، زیست‌زون تریلوبیتی یاد شده موقعیت تقریبی مرز زیرین اردووسین را نشان می‌دهد. از تریلوبیت‌های همراه در این زیست‌زون می‌توان به گونه‌های *Asaphellus inflatus*، *Chungkingaspis sinensis*، *Conophrys simehensis*، *Dactylocephalus mehriae* و *Geragnostus* sp. اشاره کرد. وجود تریلوبیت‌های شاخص زیست‌رخساره *Olenide*، *Nileid* و *Raphiophorid* (اجتماع کفزی ۴-۵) در این مجموعه، نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در محیط شلف خارجی و زیر قاعده امواج توفانی است (Ghobadi Pour, 2006; Kebria-ee Zadeh et al., 2015).

زیای کنودونتی کامبرین پنین (فورونگین) البرز خاوری، شامل ۴ افق زیست‌چینه‌ای است (شکل‌های ۳ و ۴) که این زیست‌زون‌ها از پایین به بالا عبارتند از: (۱) *Proconodontus muelleri*؛ (۲) *Eoconodontus notchpeakensis*؛ (۳) *Cordylodus? andresi*؛ (۴) *Cordylodus proavus*. زیست‌زون آخر نزدیک به پایان رسوب‌گذاری کربنات‌ها ظاهر می‌شود. محدوده معادل با زیست‌زون‌های کامبرین پنین البرز خاوری، دارای اجتماع کنودونتی با گوناگونی به نسبت پایینی است. اصلی‌ترین کنودونت‌های موجود در بخش فورونگین پنین این ناحیه عبارتند از (شکل‌های ۳ و ۵):

*Phakelodus tenuis* (Muller, 1959)، *Furnishina furnishi* (Muller, 1959)، *Prooneotodus rotundatus* (Muller, 1959)، *Westergaardodina bicuspidata* (Muller, 1959)، *Proconodontus muelleri* (Miller, 1969)، *Proconodontus serratus* (Miller, 1969)، *Eoconodontus notchpeakensis* (Miller, 1969)، *Cordylodus? andresi* (Viira and Sergeeva, 1986; Kaljo et al., 1986)، *Cordylodus proavus* (Muller, 1959)، *Stenodontus compressus* (Chen & Gong, 1986).

یکی از مهم‌ترین رویدادهای تکاملی زیای کنودونتی، انقراض آنها در نزدیکی مرز کامبرین - اردووسین و در قاعده زون *Cordylodus proavus* است. این انقراض، همراه با نوسان‌های اقیانوسی و در اثر پیشروی گسترده آب دریا بوده است. با این وجود تغییرات مثبت دیده شده در مقادیر ایزوتوپ کربن در پس از این انقراض، نشان‌دهنده افزایش حاصل‌خیزی (پروداکتیویتی) در محیط پس از انقراض بوده است. با پیشروی سطح آب دریا، امکان بالا آمدگی آب‌های ژرف سرد سرشار از مواد غذایی به بالا فراهم و سبب افزایش حاصل‌خیزی سطح آب و این عامل خود سبب آغاز تغییر و تحول سریع در فونای موجود در نزدیکی مرز کامبرین - اردووسین شده است (Jeong and Lee, 2000). با شرایط ایجاد شده و نوسانات جهانی سطح آب دریا در

زیست‌زون‌های *Cordylodus angulatus* و *Cordylodus lindstromi* دیده می‌شود (Popov and Holmer, 1994; Holmer et al., 2001 and 2005; Popov et al., 2002). در برش کلات زیست‌زون تریلوبیتی *Asaphellus inflatus-Dactylocephalus* که تعیین کننده قاعده اردووسین در البرز خاوری است، در زیست‌زون کنودونتی *Cordylodus angulatus* و بالاتر از قاعده اردووسین ظاهر می‌شود (شکل ۳).

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

سن عضو چهار سازند میلا در برش‌های سیمه‌کوه و ده‌ملا از البرز خاوری بر پایه وجود زیست‌زون‌های کنودونتی *Proconodontus*, *Cordylodus? andresi*, *Alborsella* و *Eoconodontus notchpeakensis* و تریلوبیت *Cordylodus proavus* و *Cordylodus lindstromi* فورونگین است. در برش کلات از کپه‌داغ باختری افزون بر زیست‌زون‌های یاد شده، زیست‌زون‌های *Cordylodus intermedius*, *Cordylodus lindstromi* و *Cordylodus angulatus* مربوط به بخش انتهایی فورونگین تا ابتدای ترمادوسین نیز وجود دارد. معادل این زیست‌زون‌ها در البرز خاوری، ماسه‌سنگ‌های دارای *Cruziana* بدون فسیل بدنی مربوط به نواحی بسیار کم‌ژرفای ساحلی یا پایایی است.

مرز کامبرین-اردووسین در برش کلات از کپه‌داغ باختری، بر پایه ظهور اولین گراپتولیت پلانکتونیک *Rhabdinopora cf. flabelliformis flabelliformis* (Eichwald, 1840) در شیل‌های سیاه موجود در زیست‌زون کنودونتی *Cordylodus lindstromi*، درست در زیر زیست‌زون کنودونتی *Cordylodus angulatus* مربوط به ترمادوسین پیشین قرار می‌گیرد که دقیق‌ترین مرز شناخته شده کامبرین-اردووسین در ایران تاکنون است. شروع اردووسین در البرز خاوری و کپه‌داغ باختری، همزمان با تغییرات شاخص در نوع رسوب‌گذاری است. در بیشتر نقاط ایران، رسوبات ترمادوسین شامل رسوبات دانه‌ریز آواری، آرژیلیت و سیلت‌سنگ مربوط به نواحی ژرف‌تر دور از ساحل و گاه لایه‌های نازکی از ماسه‌سنگ ریزدانه و سنگ‌آهک‌های زیست‌آواری با منشأ توفان‌زاد است. در البرز خاوری، شروع رسوبات اردووسین بدون کنودونت است ولی در ادامه دارای لایه‌های آهک بیوکلاستیک با کنودونت‌های شاخص زیست‌زون *Paltodus deltifera* به سن ترمادوسین پسین است. موقعیت تقریبی مرز کامبرین-اردووسین در البرز خاوری، در زیر زیست‌زون تریلوبیتی *Asaphellus inflatus-Dactylocephalus* قرار دارد. این زیست‌زون تریلوبیتی در کپه‌داغ باختری، در زیست‌زون کنودونتی *Cordylodus angulatus* و کمی بالاتر از قاعده اردووسین دیده می‌شود.

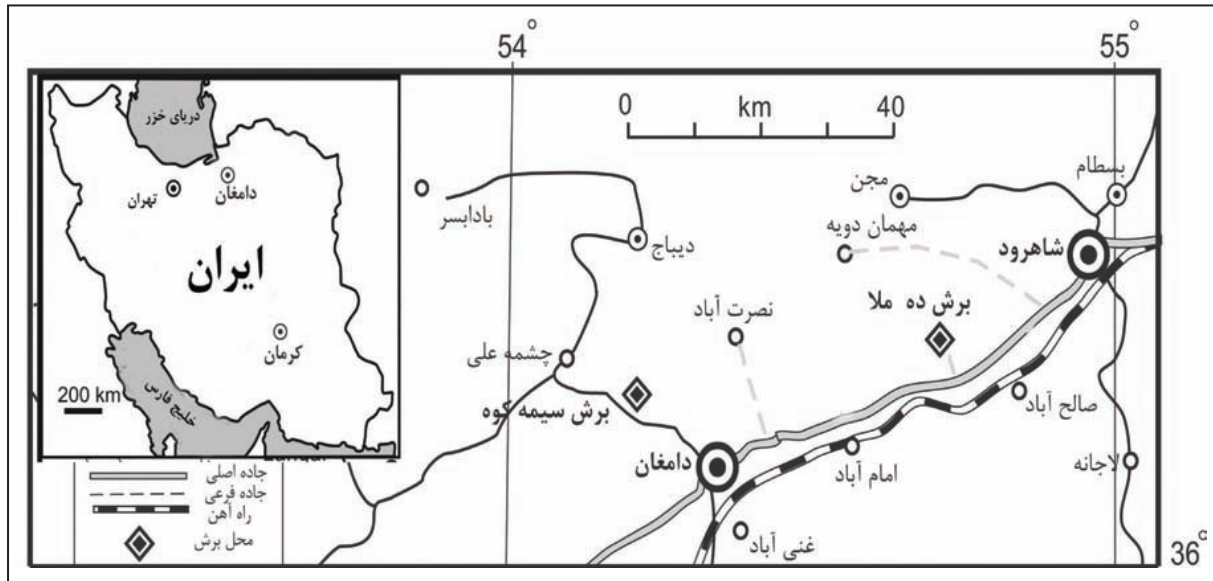
#### سپاسگزاری

از آقای پروفیسور لئونید پوپوف از موزه ملی ولز (بریتانیا) و خانم دکتر گابریلا بگنولی از دانشگاه پیزا (ایتالیا) به پاس کمک‌های ارزنده و سازنده آنها در همه مراحل نگارش این مقاله صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

شمال چین و بخش‌های از گندوانا، آغاز آشکوب ترمادوسین معادل بالاترین بخش زیست‌زون کنودونتی *Cordylodus lindstromi* تا *Cordylodus angulatus* همزمان با گسترش رسوبات شیلی سیاه رنگ و خیز سطح آب است (Erdtmann, 1986; Buatois et al., 2006). از سوی دیگر ظهور گراپتولیت *Rhabdinopora cf. flabelliformis flabelliformis* (Eichwald, 1840) در برش کلات انطباق مستقیم آن را با برش الگوی گرین پوینت در نیوفاندلند و تعیین مرز کامبرین-اردووسین ممکن می‌سازد. در برش گرین پوینت این گراپتولیت درست کمی بالاتر از مرز کامبرین-اردووسین و پس از اولین ظهور گونه کنودونتی *Iapetognathus fluctivagus* ظاهر می‌شود (Cooper et al., 1998).

کنودونت *Iapetognathus fluctivagus* که در برش الگوی جهانی برای تعیین مرز کامبرین-اردووسین انتخاب شده است یک گونه کنودونتی کمیاب و کمتر شناخته شده، با گسترش جغرافیایی محدود و زیست‌چینه‌نگاری ضعیف است که تعیین مرز کامبرین-اردووسین را بیرون از برش الگو با مشکل روبه‌رو می‌سازد (Terfelt et al., 2012). این گونه در یک اجتماع کنودونتی همراه با گونه‌های *Hirsodontus simplex* و *Clavohamulus hintzei* منحصر به قلمرو آب‌های گرمسیری مانند لورنتیا یافت می‌شود و در قلمروهای آب سرد و معتدل دیده نمی‌شوند. تعیین مرز کامبرین-اردووسین، در قلمروهای آب معتدل تا سرد بر پایه زیست‌زون‌های کنودونتی جنس *Cordylodus* می‌تواند به عنوان یک جایگزین در کنار داده‌های اولین حضور گراپتولیت پلانکتونیک به کار رود. با توجه به نزدیکی بسیار زیادی برش کلات با قلمرو آب‌های سرد تا معتدل، از زیست‌زون‌های کنودونتی جنس *Cordylodus* در برش کلات از کپه‌داغ باختری می‌توان برای تعیین مرز کامبرین-اردووسین استفاده کرد (Jahangir et al., 2014).

گوناهگونی بازوپایان میکرومورفیک آکروتید در این دوره زمانی کم است؛ با این وجود به دلیل کم بودن گروه‌های فیسیلی دیگر، این بازوپایان برای تقسیمات زیست‌چینه‌ای و انطباق لایه‌های مرز کامبرین-اردووسین ارزش زیادی دارند. فرم‌هایی از دودمان بازوپای *Quadrisonia-Eurytreta* در برش کلات تشخیص داده شدند. در این برش *Quadrisonia* در زیست‌زون کنودونتی *Proconodontus muelleri* حضور دارد. بازوپای *Eurytreta sublata* Popov, in Koneva and Popov (1988) از دید جغرافیایی گستردگی زیادی دارد که در منطقه مالیکاراتاو (از حوضه کاراتاو-نارین قزاقستان) محدود به زیست‌زون *Cordylodus proavus* (Holmer et al., 2001) و در لورنتیا (یوتا) گستره آن از زیست‌زون *Cordylodus proavus* تا زیست‌زون *Cordylodus intermedius* است (Popov et al., 2002). در برش کلات *Eurytreta sublata* همزمان با گونه کنودونتی *Cordylodus lindstromi* در قاعده زون کنودونتی *Cordylodus lindstromi* (sensu lato) ظاهر می‌شود. *Eurytreta cf. belli* (Davidson, 1868) در برش کلات، همراه با *Cordylodus angulatus* درست کمی بالاتر از آرژیلیت سیاه گراپتولیت‌دار دیده می‌شود. این بازوپا گسترش جغرافیایی وسیعی دارد و در محدوده



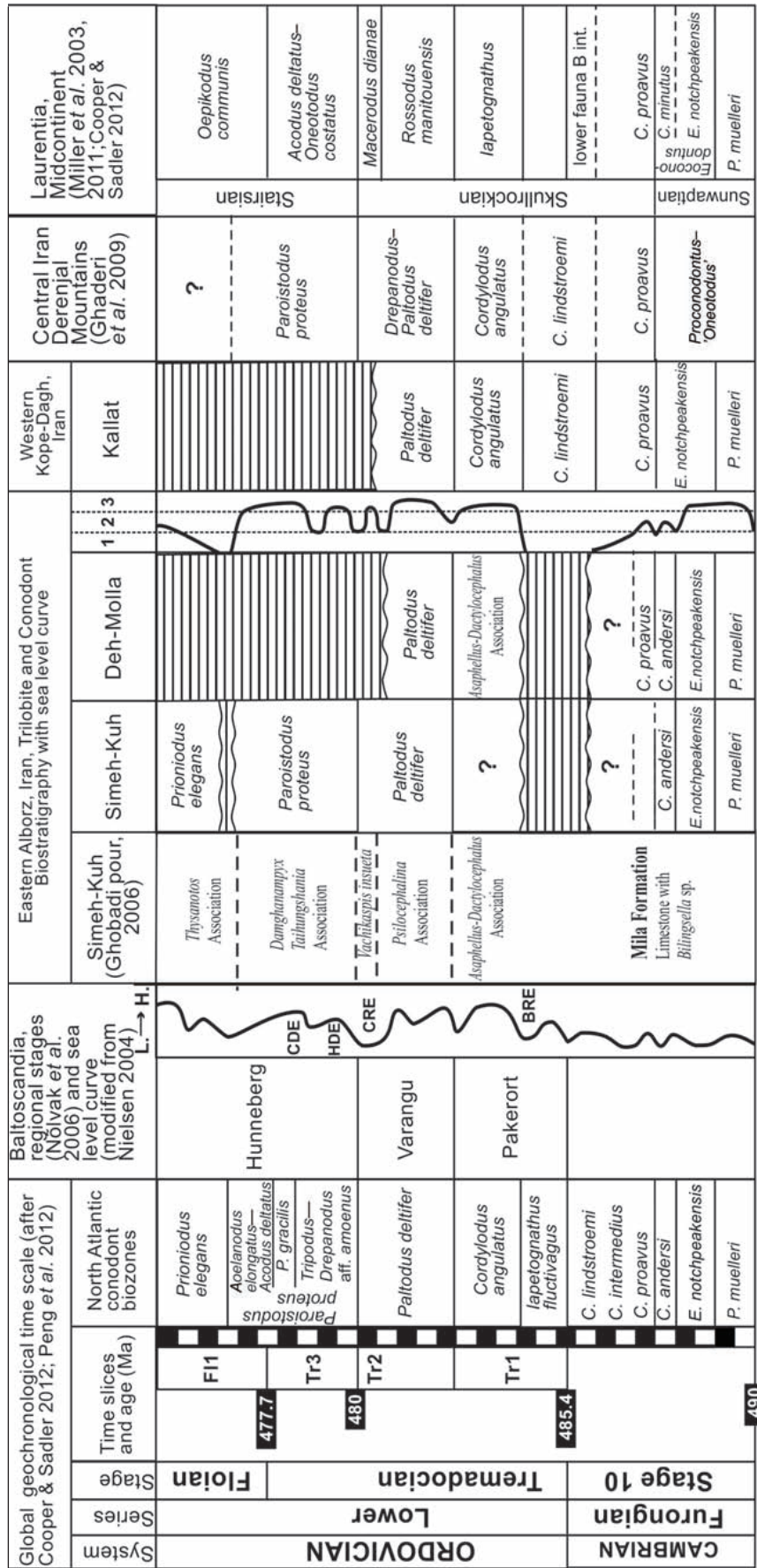
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی برش ده ملا در جنوب باختر شاهرود و برش سیمه کوه در شمال باختر دامغان، البرز خاوری.



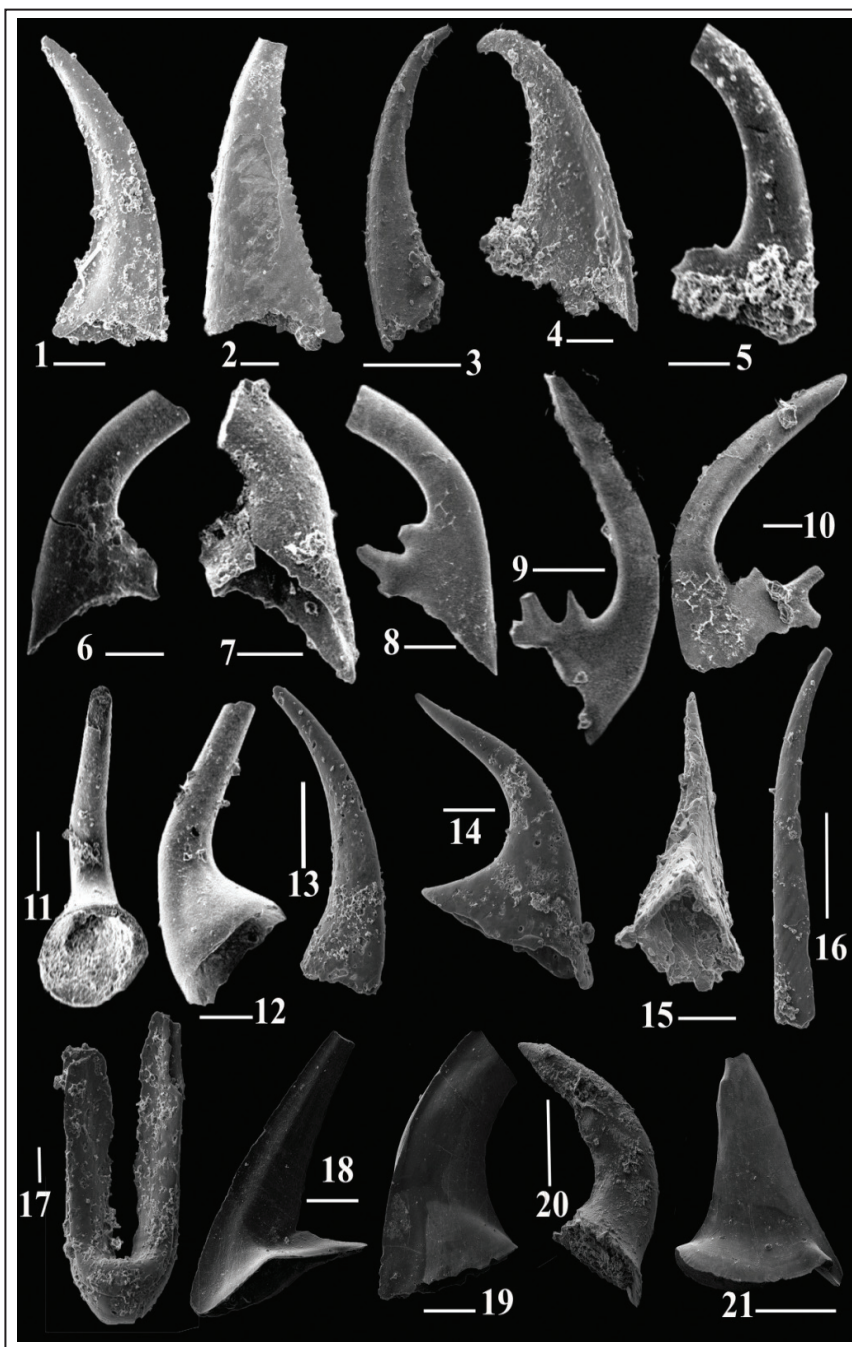
شکل ۲- موقعیت جغرافیایی برش کلات در جنوب بجنورد، کپهداغ باختری.







شکل ۴- تطابق زیست‌چینه‌نگاری نوالی مرز فورونگیان - اردو بیسن پیشین ایران (البرز خاوری، کپه‌داغ باختری و ایران مرکزی)، لورنیا و بالتواسکاندیا.



شکل ۵- کنودونت‌های مرز فورونگیان-ترمادوسین برش‌های ده‌ملا، سیمه‌کوه و کلات. مقیاس ۱۰۰ میکرومتر است.

1: *Proconodontus muelleri* Miller, 1969, lateral view, Simeh-Kuh Section. 2: *Proconodontus serratus*, Miller, 1969, lateral view, Simeh-Kuh Section. 3: *Eoconodontus notchpeakensis* (Miller, 1969), lateral view, Simeh-Kuh Section. 4: *Stenodontus compressus* Chen and Gong, 1986, lateral view, Kalat Section. 5: *Cordylodus?* *andresi* Viira et Sergejeva, 1986, lateral view, Deh-Molla Section. 6: *Cordylodus proavus* Müller, 1959, lateral view, Deh-Molla Section. 7: *Cordylodus intermedius* Furnish, lateral view, Kalat Section. 8: *Cordylodus lindstromi* Druce and Jones, 1971, lateral view, Kalat Section. 9-10: *Cordylodus angulatus* Pander, 1856, lateral view, Kalat Section. 11-12: *Teridontus nakamurai* (Nogami, 1967), 11. posterior view, 12. lateral view, Kalat Section. 13: *Prooneotodus rotundatus* (Muller, 1959), lateral view, Simeh-Kuh Section. 14: *Prooneotodus gallatini* (Muller, 1959), lateral view, Simeh-Kuh Section. 15: *Furnishina furnishi* Muller, 1959, lateral view, Deh-Molla Section. 16: *Phakelodus tenuis* (Muller, 1959), lateral view, Simeh-Kuh Section. 17: *Westergaardodina bicuspidata* Muller, 1959, upper view, Simeh-Kuh Section. 18-21: *Paltodus deltifer* (Lindstrom, 1955), lateral view. 18. M element, 19. Subsymmetrical drepanodiform element, 20. Sc element, 21. erectiform element, lateral view, Deh-Molla Section.

### References

- Buatois, L. A., Zebalfo, F. J., Albanesi, G. L., Ortega, G., Vaccari, E. and Mangano, M. G., 2006- Depositional Environments and Stratigraphy of the Upper Cambrian-Lower Ordovician Santa Rosita Formation at the Alfarcito area, Cordillera Oriental, Argentina: Integration of biostratigraphic data within a sequence stratigraphic framework. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 13: 65-95.
- Chen, J. and Gong, W., 1986- Conodonts. In *Aspects of Cambrian-Ordovician Boundary in Dayangcha, China*. (Chen, J., ed.), China Prospect Publishing House, Beijing, 93-223.
- Cooper, R. A. and Sadler, P. M., 2012- The Ordovician Period. In *The Geological Time Scale 2012* (Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Schmitz, M. D. and Ogg, G. M., eds). Elsevier, Chapter 20, Amsterdam [ebook].
- Cooper, R. A., Maletz, J., Wang, H. and Erdtmann, B. D., 1998- Taxonomy and evolution of earliest Ordovician graptolites: *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 78:3-32.
- Cooper, R. A., Nowlan, G. S. and Williams, S. H., 2001- Global stratotype section and point for base of the Ordovician system, *Episodes* 24: 19- 28.
- Davidson, T., 1868- On the earliest forms of Brachiopoda hitherto discovered in the British Palaeozoic rocks. *Geological Magazine*, 5: 303-316.



- Eichwald, E. 1840- Ueber das silurische Schichtensystem in Esthland. Akademie der St. Petersburg, pp: 240.
- Erdtmann, B. D., 1986- Early Ordovician eustatic cycles and their bearing on punctuations in early nematophorid (planktic) graptolite evolution. In Walliser, O.H., Ed., Lecture Notes in Earth Sciences, Global Bioevents, 8: 139-152.
- Ghaderi, A., Aghanabati, A., Hamdi, B. and Miller, J. F., 2009- Biostratigraphy of the first and second member of type section of the Shirgesht Formation in north of Tabas with special emphasis on conodonts. *Journal of Earth Sciences Iran*, 67: 150-163.
- Ghavidel-Syooki, M., 2006- Palynostratigraphy and palaeogeography of the Cambro-Ordovician strata in southwest of Shahrud city (Kuh-e-Kharbash, near DehMolla), Central Alborz, Northern Iran. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 139: 81-95.
- Ghobadi Pour, M., 2006- Early Ordovician (Tremadocian) trilobites from Simeh-Kuh, Eastern Alborz, Iran. In Bassett, M.G. and Deisler, V.K. (eds): *Studies in Palaeozoic palaeontology. National Museum of Wales Geological Series*, 25: 93-118.
- Ghobadi Pour, M., Mohibullah, M., Williams, M., Popov, L. E. and Tolmacheva, T. Yu., 2011- New, early ostracods from the Ordovician (Tremadocian) of Iran: systematic, biogeographical and palaeoecological significance. *Alcheringa*, 35: 517-529.
- Ghobadi Pour, M., Popov, L. E., Amini, A., Ahmadi, M. A. and Tolmacheva, T. U., 2009- The Cambrian – Ordovician faunal transition in southern Kopet-Dagh, north-eastern Iran. 53th Palaeontological Association Annual Meeting, Birmingham University, England, p. 70.
- Holmer, L. E., Popov, L. E., Koneva, S. P. and Bassett, M. G., 2001- Cambrian – early Ordovician brachiopods from MalyiKaratau, the western Balkhash Region, and northern Tien Shan, Central Asia. *Special Papers in Palaeontology*, 65:1-180.
- Holmer, L. E., Popov, L. E., Streng, M. and Miller, J. F., 2005- Lower Ordovician (Tremadocian) lingulate brachiopods from the House and Fillmore Formations, Ibex Area, Western Utah, USA. *Journal of Palaeontology*, 79: 884-906.
- Jahangir, H., Ghobadi Pour, M. and Ashouri, A. R., 2014- Palaeobiogeography of conodonts from the Alborz Mountains through Cambrian–Ordovician transition. *Paleontology (Iran)*, 1 (2): 137-148. [In Persian.]
- Jeong, H. and Lee, Y. I., 2000- Late Cambrian biogeography: conodont bioprovinces from Korea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 162: 119-136.
- Kaljo, D., Borovko, N., Heinsalu, H., Khazanovich, K., Mens, K., Popov, L., Sergeeva, S., Sobolevskaya, R. and Viira, V., 1986- The Cambrian-Ordovician boundary in the Baltic–Ladoga clint area. *Eesti NSV Teaduste Akadeemia Toimetised. Geoloogia*, 35: 97–108.
- Kebria-eeZadeh, M. R., Ghobadi Pour, M., Popov, L. E., Baars, C. and Jahangir, H., 2015- First record of the Ordovician fauna in Mila-Kuh, eastern Alborz, northern Iran. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 64. [In press.]
- Koneva, S. P. and Popov, L. E., 1988- Acrotretides (inarticulate brachiopods) from the Cambrian–Ordovician boundary beds of the Malyi Karatau Range (south Kazakhstan). *Ezhegodnik Vsesoiuznogo Paleontologicheskogo Obshchestva*, 31: 52-72. [In Russian. ]
- Kushan, B., 1973- Stratigraphy and trilobite fauna of the Mila Formation (Middle Cambrian-Tremadocian) of the Alborz Range, North Iran. *Report Geological Survey of Iran*, 46: 1-70.
- Miller, J. F., 1969- Conodont fauna of the Notch Peak Limestone (Cambro-Ordovician) House Range, Utah. *Journal of Paleontology*, 43: 413-439.
- Miller, J. F., Evans, K. R., Freeman, R. L., Ripperdan, R. L. and Taylor, J. F., 2011- Proposed stratotype for the base of the Lawsonian Stage (Cambrian Stage 10) at the First Appearance Datum of *Eoconodontus notchpeakensis* (Miller) in the House Range, Utah, USA. *Bulletin of Geosciences*, 86: 595-620.
- Miller, J. F., Evans, K. R., Loch, J. D., Ethington, R. L., Stitt, J. H., Holmer, L. E. and Popov, L. E., 2003- Stratigraphy of the Sauk III interval (Cambrian-Ordovician) in the Ibex area, western Millard County, Utah and central Texas. *Brigham Young University Geology Studies*, 47: 23-118.
- Muller, K., 1959- Kambrische Conodonten. *Zeitschrift Deutschen Geologische Gesellschaft*, 111: 434-485.
- Nielsen, A. T., 2004- Ordovician sea level changes: A Baltoscandian Perspective, 84-93. In *The Great Ordovician Biodiversification Event* (Webby, B. D., Paris, F., Droser, M. L. and Percival, I. G., eds). Columbia University Press, New York. 484 pp.
- Nõlvak, J., Hints, O. and Männik, P., 2006- Ordovician timescale in Estonia: recent developments. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Geology*, 55: 95-108.
- Peng, S. C., Geyer, G. and Hamdi, B., 1999- Trilobites from the Shahmirzad section, Alborz Mountains, Iran: Their taxonomy, biostratigraphy and bearing for international correlation. *Beringeria*, 25: 3-66.
- Popov, L. E. and Holmer, L. E., 1994- Cambrian-Ordovician lingulate brachiopods from Scandinavia, Kazakhstan, and South Ural Mountains. *Fossils and Strata*, 35: 1-156.
- Popov, L. E., Ghobadi Pour, M., Kebria-eeZadeh, M. R. and Shahbeik, S., 2011- First record of silicified Cambrian (Furongian) rhynchonelliform brachiopods from the Mila Formation, Alborz Range, Iran. *Memoirs of the Association of Australasian Palaeontologists*, 42: 193-207.
- Popov, L. E., Holmer, L. E. and Miller, J. F. 2002- Lingulate brachiopods from the Cambrian-Ordovician boundary beds of Utah. *Journal of Paleontology*, 76: 211-228.
- Terfelt, F., Bagnoli, G. and Stouge, S., 2012- Re-evaluation of the conodont *Iapetognathus* and implications for the base of the Ordovician System GSSP. *Lethaia*, 45: 227-237.
- Viira, V. and Sergeeva, S., 1986- Razrez ordovika nar. Kuluyme: in Materialy po geologii i poleznym iskopaemym Vostochnoi Sibiri. Nedra, Leningrad, 68–82.



# Cambrian-Ordovician boundary in Western Koppeh-Dagh and Eastern Alborz

H. Jahangir<sup>1</sup>, M. Ghobadi Pour<sup>2</sup> and A. R. Ashouri<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Studentin, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

<sup>2</sup>Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran

<sup>3</sup>Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 2015 January 13

Accepted: 2016 May 17

## Abstract

The Cambrian- Ordovician boundary strata in the Kalat section, western Koppeh-Dagh, comprise continuous succession of fine clastic sediments, mostly argillites with some shell beds, accumulated offshore. This interval contains an almost complete succession of conodont biozones, including the *Cordylodus intermedius*, *Cordylodus lindstromi* and *Cordylodus angulatus* biozones. The first appearance of the planktonic graptolite *Rhabdinopora cf. flabelliformis flabelliformis* (Eichwald, 1840) in black argillite of the upper part of the *Cordylodus lindstromi* Biozone indicates relatively precise position of the Cambrian- Ordovician boundary in the section. Cambrian- Ordovician boundary beds in the eastern Alborz Region can be subdivided into three lithological units: Furongian bioclastic limestone mainly replaced by fine clastic sediments in the upper part, the terminal Cambrian *Cruziana* sandstone representing a shoal complex and the Tremadocian grey argillite accumulated offshore. In this area the position of Cambrian- Ordovician boundary is situated somewhat below the base of the *Asaphellus inflatus*- *Dactylocephalus trilobite* Biozone.

**Keywords:** Furongian, Tremadocian, Conodont, Trilobite, Graptolite, Biozone.

For Persian Version see pages 3 to 10

\*Corresponding author: A. Ashouri; E-mail: ashouri@ferdowsi.um.ac.ir