نشریه علمی- پژوهشی زمین شناسی نفت ایران
Iranian Journal of petroleum Geology

سال چهاردهم، شماره ۲۷، بهار و تابستان ۱۴۰۳ص۷۶-۸۹
No. 27, Spring & Summer 2024, pp. 76-89

سیستماتیک دیرینه، اهمیت زیست‌چینه‌نگاری و دیرینه‌بوم‌شناسی پتروپودها در برش الگوی سازند خانگیران، حوضه کپه داغ، شمال شرق ایران

میر امیر صلاحی[1*] ، عباس قادری[2]

۱-استادیار چینه شناسی و فسیل شناسی، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
۲-دانشیار چینه شناسی و فسیل شناسی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
*Amir.salahi@maragheh.ac.ir

دریافت آبان ۱۴۰۳، پذیرش دی ۱۴۰۳

چکیده

در این پژوهش که به مطالعه پتروپودهای ائوسن در حوضه رسوبی کپه‌داغ پرداخته است، دو جنس و پنج گونه شامل *Heliconoides bartonensis* (Curry 1965)، *Heliconoides mercinensis* (Watelet and Lefèvre, 1885)، *Heliconoides daguini* (Cahuzac and Janssen 2010)، *Limacina* cf. *aegis* (Hodgkinson, 1992) و *Limacina dzheroiensis* (Janssen, 2011) از برش الگوی سازند خانگیران در حوالی روستای یاقل درگز در خراسان رضوی گزارش شده است. زیای پتروپودی مورد سخن منطبق بر مرز ائوسن پیشین _ میانی می‌باشد. حضور این اجتماعات گویای نهشته شدن ردیف رسوبات سازند خانگیران در آب‌های گرم، بالاتر از ژرفای موازنه آراگونیت و محدوده ژرفایی دیرینه نریتیک خارجی _ شیب قاره است.

واژه‌های کلیدی: ائوسن؛ پتروپود؛ سازند خانگیران؛ کپه‌داغ

۱-مقدمه

بسیاری از محققین، شروع رسوب‌گذاری حوضه کپه‌داغ را پس از بسته شدن اقیانوس پالئوتتیس در طی کوهزایی سیمیرین پیشین از تریاس دانسته‌اند که تا نئوژن ادامه یافته است [۱]. این حوضه رسوبی با وسعتی در حدود ۵۵۰۰۰ کیلومترمربع، در شمال و شمال خاوری ایران قرار گرفته و علاوه بر ایران، بخشی از ترکمنستان و شمال افغانستان را نیز دربرمی‌گیرد. حوضه رسوبی کپه داغ با رسوبات دریایی ضخیم و بدون فعالیت آتشفشانی مهم، یکی از مناطق امیدبخش جهت اکتشافات هیدروکربنی است و شامل میادین گازی عظیم همچون خانگیران و گنبدلی می باشد [۱]. اکتشاف میادین گازی فوق به ترتیب در طی سالیان ۱۳۴۷ و ۱۳۶۱ صورت گرفته و بدین ترتیب مطالعات زمین‌شناسی و چینه‌شناختی در این حوضه‌رسوبی اهمیت بسزایی یافته است.

بیشترین مطالعات انجام شده در ستبرای تقریبی هشت هزار متری توالی رسوبی حوضه کپه‌داغ، متمرکز بر نهشته‌های ژورا سیک و کرتا سه بوده و ردیف رسوبات پالئوژن با وجود اهمیت بالا در زمین شناسی ایران و کشورهای همجوار، کمتر مورد توجه بوده‌اند. این نهشته‌ها به دلیل برخورداری از زیست‌پهنه‌های منطقه‌ای روزن‌دارای شناور و کف‌زی و نیز حضور زیست‌پهنه‌های منطقه‌ای از بی‌مهرگان اویستری در سازند خانگیران، شباهت‌های مشترکی با دیگر حوضه‌های رسوبی موجود در آسیای مرکزی و پلاتفرم روسیه دارند [۸، ۵۱، ۵۲]. حوضه کپه‌داغ که در شمال خاوری ایران قرار گرفته است، در بخش‌های جنوبی ترکمنستان و شمال باختر افغانستان نیز توسعه یافته و توالی‌های رسوبی پالئوژن آن در قالب سازندهای پسته‌لیق، چهل‌کمان و خانگیران نمود یافته‌اند. عمده بررسی‌های چینه شناسی انجام شده بر روی سازند خانگیران بر اساس مطالعه میکروفسیل‌های روزن‌داران [۶، ۲، ۷، ۵۷، ۵۲]، نانوفسیل‌های آهکی [۵، ۳، ۹]، پالینومورف‌ها [۴۷] و بی‌مهرگان [۸، ۵۱] بوده است.

تنها گزارش منتشر شده از پتروپودهای این زمان در حوضه کپه‌داغ به مطالعه آنها توسط وحدتی‌راد و همکاران [۱۰] محدود می شود. هرچند مطالعه زیای پتروپودی به طور کلی در مقایسه با سایر زیای پلاژیک دریایی اندک می باشد، با این حال در دهه‌های اخیر، پتروپودهای پالئوژن در نقاط مختلف دنیا نظیر آمریکای شمالی، انگلیس، فرانسه، هلند، آلمان، اتریش، مجارستان، ازبکستان، مصر، هند، چین و ژاپن مورد توجه بوده‌اند و حتی زیست‌پهنه‌هایی بر اساس آنها گزارش شده است [۲۵، ۳۲، ۵۸، ۳۰، ۱۲، ۲۴، ۴۴]. با این توضیحات، پژوهش حاضر به مطالعه سیستماتیک، اهمیت زیست‌چینه‌ای و جایگاه دیرینه‌بوم‌شناختی پتروپودهای به دست آمده از برش الگوی سازند خانگیران در حوالی روستای یاقل در شمال خراسان رضوی پرداخته است تا ضمن بررسی حضور این زیای خاص ، شواهد زمین‌شناسی و فسیل‌شناسی جدیدی به دیگر اطلاعات قبلی حوضه رسوبی کپه داغ افزوده گردد.

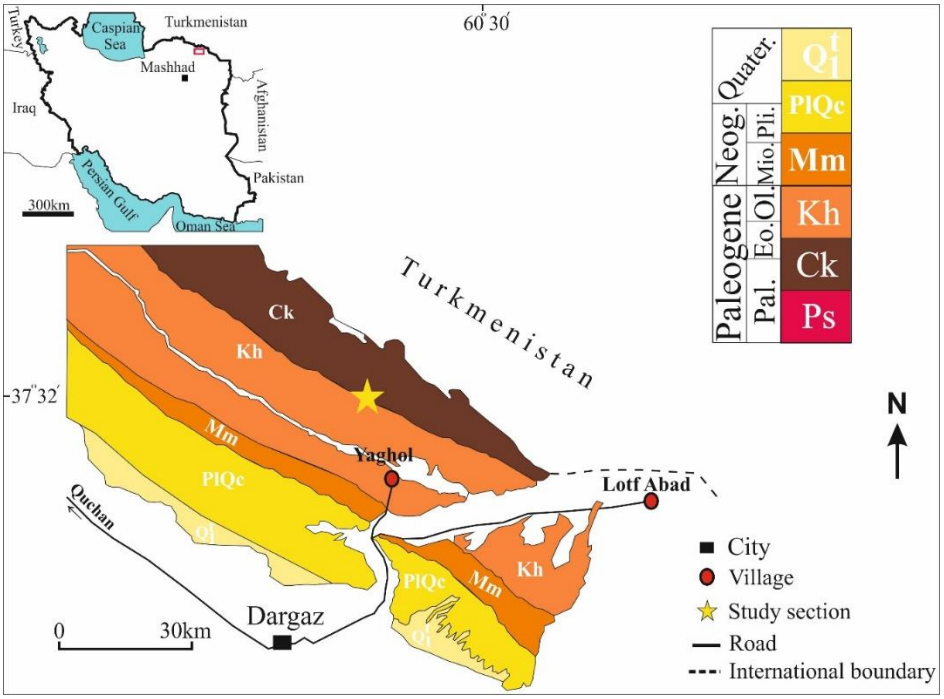
۲-زمین‌شناسی عمومی

بنابر مطالعات پیشین انجام شده بر روی ویژگی‌های سنگ‌چینه‌ای و زیست‌چینه‌ای ردیف رسوبات پالئوژن در حوضه رسوبی کپه‌داغ، انطباق چینه شناسی شفاف و دقیقی بین این ناحیه و حوضه‌های رسوبی مختلف در منطقه آسیای میانه، از آمودریا تا شمال باختری چین، برقرار شده است [۸]. مطالعات سنگ‌چینه‌نگاری دقیق نشان می‌دهد در انتهای کرتاسه و پالئوسن پیشین در بخش‌های مختلف محدوده آسیای میانه، بالاآمدگی‌هایی صورت گرفته که به شکل‌گیری رخساره‌های قاره‌ای مشابه سازند

پسته‌لیق منجر شده است. در پالئوسن میانی تا پسین، رخساره کم‌ژرفای آواری- کربناته با سیمای صخره‌ساز نظیر سازند چهل‌کمان حاکم شده که با ورود به زمان ائوسن، جای خود را به مارن‌های نرم‌فرسای سبز زیتونی همچون طبقات سازند خانگیران داده است. با عقب‌نشینی دریای ائوسن پسین- الیگوسن پیشین، در روندی از خاور به باختر، دوباره رخساره‌های قرمز رنگ قاره‌ای منتسب به نئوژن کل منطقه را فرا گرفته‌اند.

علاوه بر قرابت‌های سنگ‌چینه‌ای، این سخنان مستند به ویژگی‌های زیست‌چینه‌ای مشابه روزن‌داران شناور و کف‌زی [۵۲] و زیای اویستری [۸، ۵۱] پالئوژن در حوضه کپه‌داغ است که هم‌ارزی سنی و زیستی مشخصی با منطقه آسیای میانه دارد و نشان می‌دهد این نواحی در طول پالئوژن تاریخچه چینه‌نگاری یکسان و سرگذشت زمین‌شناسی مشابهی داشته‌اند [۸]. با این توضیح، منطقه کپه‌داغ _ آسیای میانه را می‌توان به عنوان یک ایالت زیست‌جغرافیایی مجزا در جنوب صفحه توران طی زمان پالئوژن در نظر گرفت که با رویدادهای زیستی و زیست‌پهنه‌های اختصاصی و ارتباطات محلی خاص خود مشخص می‌شود.

برش الگوی سازند خانگیران [۱] در مجاورت روستای یاقل (بخش لطف‌آباد شهرستان درگز، استان خراسان رضوی) با مختصات جغرافیایی "۱۵ '۳۲ °۳۷ عرض شمالی و "۳۰ '۰۸ °۵۹ طول خاوری پایه برش، در محدوده مرزی کشور ایران و ترکمنستان قرار گرفته است. در این منطقه، ردیف رسوبات صخره‌ساز سازند چهل‌کمان با ارتفاع زیاد، یال شمالی ناودیسی را می‌سازند که نهشته‌های جوان‌تری همچون سازند خانگیران، رخساره‌های قرمز رنگ قاره‌ای منتسب به نئوژن و رسوبات پلیوکواترنری را در هسته خود جای داده است. به دلیل قرار گرفتن در داخل خاک ترکمنستان، دست‌یابی به بخش‌های ابتدایی و میانی سازند چهل‌کمان ممکن نیست. سازند خانگیران در این ناحیه سیمای تپه ماهوری و بخش‌های پست‌تری را ایجاد کرده به طوری که گذر طبقات صخره‌ساز سازند چهل‌کمان به نهشته‌های شیل و مارنی نرم‌فرسای سازند خانگیران، به خوبی در کل منطقه قابل مشاهده است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت و راه‌های دسترسی به برش چینه‌شناسی یاقل (برش الگوی سازند خانگیران) در بخشی از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ درگز [۱].

۳-روش مطالعه

پتروپودهای مورد سخن در این پژوهش (شکل ۲)، در نمونه‌برداری سیستماتیکی که به منظور زیست‌چینه‌نگاری و تعیین سن سازند خانگیران بر مبنای روزن‌داران در برش الگوی این سازند و در فواصل حدودی یک تا سه متری برداشت شده بود، به دست آمده‌اند. برداشت سازند خانگیران در برش مورد مطالعه محدود به بخش زیرین سازند، تا متراژ ۷۰۰ متری بوده است (شکل ۳). لازم به ذکر است که بخش بالایی سازند خانگیران به دلیل تشکیل در محیط کم ژرفا، تنها حاوی روزن داران بنتیک کوچک می‌باشد که در نهایت نیز به محیط قاره‌ای معادل سازند قرمز فوقانی ختم گردیده است. به همین دلیل، بخش بالایی سازند خانگیران، در این پژوهش برداشت نگردیده است. نمونه‌های برداشت شده در صحرا پس از خردایش کامل در آزمایشگاه آماده‌سازی فسیل و قرارگیری در آب به مدت دو هفته، به کمک الک‌های ۵۰، ۱۲۰ و ۲۳۰ مش شست‌وشو شده و رسوب باقی‌مانده از آنها در آون خشک شده و در زیر میکروسکپ بیناکولار مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند. پتروپودهای موجود در نمونه‌های سازند خانگیران، همراه با مجموعه‌ای از روزن‌داران شناور و کف‌زی و استراکدها، پس از جداسازی از رسوبات در سل های مخصوص قرار گرفتند. این پتروپودها بر اساس ماهیت پوسته خود به صورت قالب‌های لیمونیتی شده حفظ شده‌اند. پس از شناسایی دقیق این میکروفسیل‌ها، برخی از آنها که حفظ‌شدگی مناسب‌تری داشتند، جهت تصویربرداری انتخاب و به کمک میکروسکپ الکترونی روبشی (SEM) مدل LEO 1450vp در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد تصاویر آنها تهیه و ثبت شد.

٤-دیرینه‌شناسی و توصیف سیستماتیک

پتروپودها معروف به پروانه‌های دریایی، گروه گسترده‌ای از زیستمندان دریازی هستند که روش زندگی پلاژیک دارند [۲۹] و در دریاهای امروزی نیز حضور دارند، ولی ثبت فسیلی آنها معمولاً به دلیل پوسته نازک، ظریف، سبک و آراگونیتی که دارند (دیواره صدفی نازک با ستبرای بین ۵ تا ٤۰ میکرون) ضعیف بوده و در مقایسه با اسکلت‌های کلسیتی دیگر زیستمندان دریازی نظیر روزن‌داران، مستعد تخریب شیمیایی و مکانیکی بیشتری هستند [۲۹، ٤۸]. لذا، آسیب‌پذیری زیای مزبور در برابر اسیدی شدن آب اقیانوس‌ها شدید بوده و با توجه به ماهیت آراگونیتی پوسته آنها، قابلیت انحلال‌شان تا ۵۰ درصد بیشتر از پوسته‌های کلسیتی است [٤۵]. علاوه بر این، صدف‌های پتروپودی گاه توسط برخی مواد خارجی نظیر پیریت، گلاکونیت، کلسیت، رس و لیمونیت، پر و یا جایگزین می‌شوند که البته این موارد می‌توانند به حفظ شدگی بهتر این صدف‌ها کمک کنند [۳۸].

از مشخصات عمومی پتروپودها می‌توان به پوسته آراگونیتی، صدف‌های چپگرد و آپکس بسته در بخش انتهایی آن‌ها اشاره کرد. صدف این زیا به جز خطوط رشدی، تزئینات خاصی ندارد، اگرچه همین ویژگی‌های ریختاری اندک برای تمایز پتروپودها از ریزشکم‌پایان کافی است. علاوه بر این، موارد دیگری همچون تعداد پیچش‌ها و میزان تحدّب و تقعّر آنها، و ضعیت دهانه و شکل ناف از جمله شواهد مهم در شناسایی و تشخیص جنس و گونه‌های مختلف پتروپودی می‌باشند. تحقیقات متعددی در زمینه معرفی ویژگی‌های سیستماتیک این گروه فسیلی ارائه شده است که در پژوهش حاضر نیز از برخی از آنها برای شناسایی این میکروفسیل‌ها استفاده شده است [۲٤، ۳۰، ۳۵]. بر این اساس، دو جنس و پنج گونه پتروپود شامل

Heliconoides bartonensis (Curry, 1965)، *Heliconoides mercinensis* (Watelet and Lefèvre, 1885)، *Heliconoides daguini* (Cahuzac and Janssen, 2010)، *Limacina* cf. *aegis* (Hodgkinson, 1992) و *Limacina dzheroiensis* (Janssen, 2011) در این مطالعه شناسایی شده است (شکل ۲). شرح سیستماتیک این گونه‌ها نیز در ادامه آمده است:

Phylum Mollusca Linnaeus 1758

Class Gastropoda Cuvier 1797

Subclass Opisthobranchia Milne-Edwards 1848

Superfamily Limacinoidea Gray 1847

Family Limacinidae Gray 1847

Genus *Heliconoides* d'Orbigny 1835

***Heliconoides bartonensis* (Curry, 1965)**

Fig. 2: A1-A2, B1-B2

1885 *Heliconoides bartonensis* Watelet & Lefe`vre: fig. 15
1965 *Skaptotion bartonense* Curry: p. 364, fig. 11a-c
1992 *Limacina convolutus* Hodgkinson *in* Hodgkinson *et al.*, 1992: p. 45, pl. 2, figs. 8-10.

توصیف: صدف چپ‌گرد و پلانی‌اسپایرال، فرم کلی دیسکی شکل با دو ناف در هر سمت، دارای پنج پیچش محدّب با افزایش تدریجی قطر، پیچ‌های گرد شده تا متورّم با پیچش‌های منظم، لبه خارجی توسعه یافته، دهانه کلیه‌ای شکل، درزها اغلب همراه با پر شدگی، اما در برخی موارد مشخص و جدا کننده پیچش‌ها، سطح آپیکال صدف کاملاً مقعّر و پیچش‌ها به صورت فرورفتگی قابل مشاهده است (شکل ۲، A1 و B1).

بحث: تمام پیچش‌ها منظم بوده و به وضوح دیده می‌شوند و درزهای منظمی را نیز می‌توان از پیچش‌های اولیه دنبال نمود. در *Heliconoides nitens* که نزدیکترین گونه مشابه به این گونه است، دو پیچش اولی توربینیفرم و بدون نظم بوده و تورفتگی پیچش‌ها در آنها مشاهده می‌شود، در حالی که پیچش‌های بعدی دیسکوئیدال بوده و اینولوت می‌باشند [۲۷]. انتشار چینه‌شناسی دو گونه مورد سخن همزمان است.

انتشار چینه‌شناسی: ائوسن میانی (لوتسین میانی تا بارتونین پیشین)

***Heliconoides mercinensis* (Watelet and Lefèvre, 1885)**

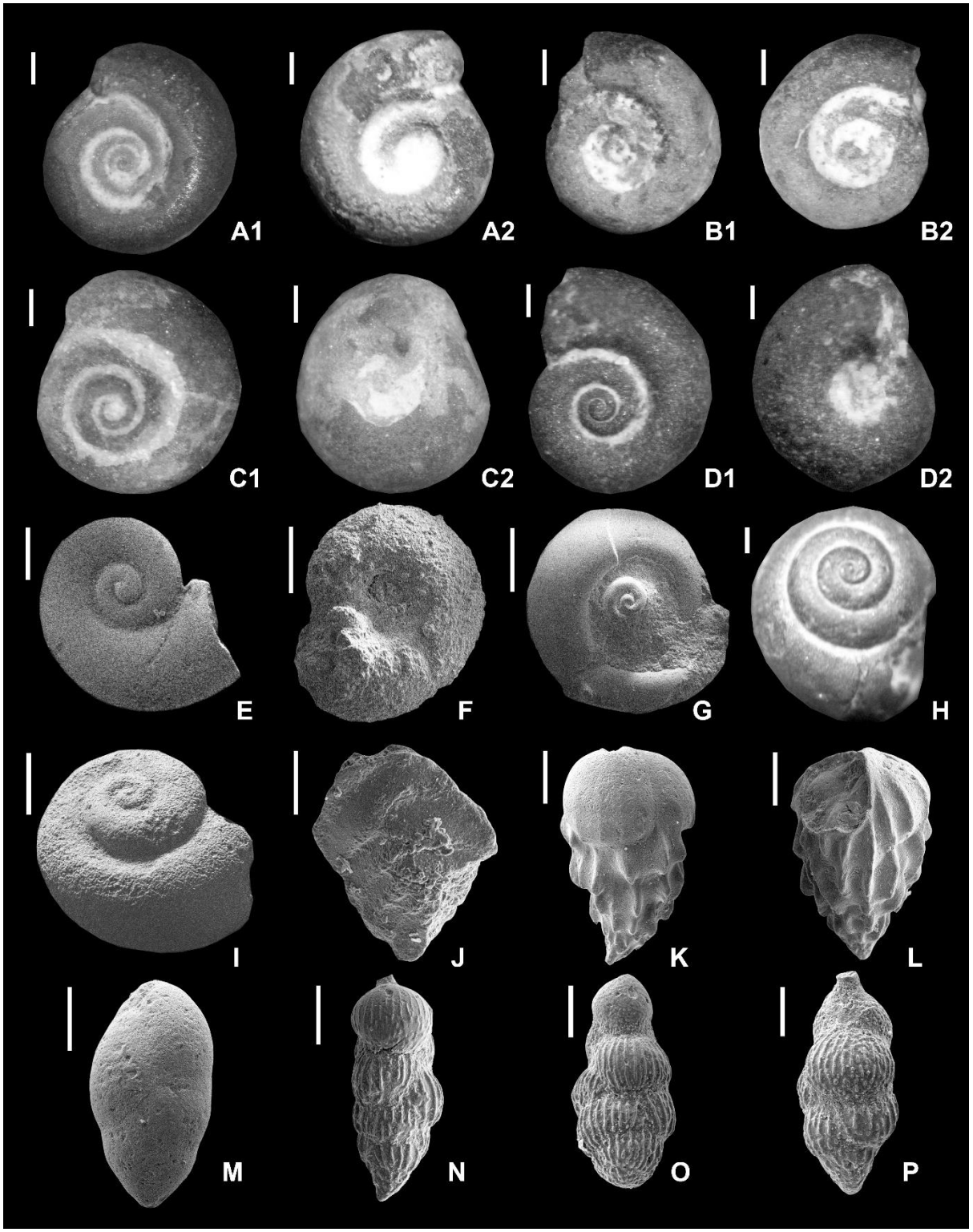
Fig. 2: D1-D2, E, F

1885 *Spirialis mercinensis* Watelet and Lefèvre: p. 102, pl. 5, figs. 2a-c.
1965 *Spiratella mercinensis*; Curry: p. 366, figs. 15-16.
2007 *Heliconoides mercinensis*; Janssen Schnetler and Heilmann-Clausen: p. 163, figs. 7-8.
2010 *Heliconoides mercinensis*; Janssen: p. 165, fig. 2.
2013 *Heliconoides mercinensis*; Janssen et al. p. 29, fig. 9.

توصیف: صدف چپ‌گرد و پلانی‌اسپایرال، با عرضی تقریباً دو برابر ارتفاع صدف، دارای سه پیچش محدّب و پیچ‌های گرد شده تا متورّم، پیچش‌ها منظم، افزایش قطر در پیچش‌های اولیه به صورت تدریجی و در پیچش آخر بسیار بیشتر و مشخص‌تر، درزها به وضوح قابل مشاهده، سطح آپیکال صدف به صورت کاملاً تخت، پیچش‌ها فاقد برآمدگی، دهانه بزرگ و گرد و ناف در سطح نافی کاملاً بزرگ، عریض و کم ژرف است.

بحث: ناف در این گونه نسبتاً وسیع و کم‌ژرفا می باشد. در سطح آپیکال این گونه فرورفتگی و یا برآمدگی مشاهده نشده و بیشتر به صورت تخت دیده می‌شود. تفاوت این گونه با *Heliconoides pyrenaica*، در ساختار دهانه است به طوری که دهانه در *Heliconoides pyrenaica* بلند و با گردشـــدگی بیشـــتری بوده، اما لبه دهانه در *Heliconoides mercinensis* تا حدودی برگشتگی دارد [۲٤].

انتشار چینه‌شناسی: پالئوسن پسین تا ائوسن میانی (تانشین تا لوتسین پیشین)



شکل ۲: پتروپودها و برخی از روزن‌داران به دست آمده از سازند خانگیران در برش چینه‌شناسی یاقل

Fig. 2: A1-A2, B1-B2. *Heliconoides bartonensis* (Curry, 1965), C1-C2. *Heliconoides daguini* (Cahuzac and Janssen, 2010), D1-D2, E, F. *Heliconoides mercinensis* (Watelet and Lefèvre, 1885), G. *Limacina* cf. *aegis* (Hodgkinson, Garvie and Bé, 1992), H, I. *Limacina dzheroiensis* (Janssen *et al*., 2011), J. *Aragonia aragonensis* (Nuttall, 1930), K, L. *Bulimina* sp., M. *Globobulimina* sp., N, O, P. *Uvigerina* sp. Scale bar: 100µm.

***Heliconoides daguini* (Cahuzac and Janssen, 2010)**

Fig. 2: C1-C2

2010 *Heliconoides daguini* Cahuzac and Janssen: p. 151, pl. 6, figs. 6-7.

تو صیف: صدف نسبتاً بزرگ، عریض و پلانی‌اسپایرال، دارای سه و نیم پیچش محدّب، قطر پیچش آنها با افزایش نسبتاً سریع، پیچش‌های اولیه همراه با بالاآمدگی بسیار کم در اسپایر و پیچ زندگی با ارتفاع نسبتاً بیشتری از اسپایر که بخش آپیکال صـــدف را مخفی می‌کند. دهانه نیمه گرد و در زیر قاعده پیچش ماقبل آخر بیرون زده و کمی بالاتر از آن، لبه‌های بخش پیرامونی دهانه به صورت موازی با پیچش‌ها، قاعده صدف تا حدودی گرد شده و ناف خیلی مشخصی در آن دیده می‌شود.

بحث: در این گونه حاشیه دهانه تا حدودی خم شده می‌باشد که با ستونک نیز اتصال پیدا می‌کند. اگرچه خم شدگی را تاحدودی می‌توان در این گونه نیز ملاحظه نمود، اما اتصال با ستونک به دلیل حفظ شدگی نامناسب، دیده نمی‌شود. با وجود آن که این گونه از نظر شکل کم و بیش به افراد متعلق به جنس *Limacina* شباهت دارد، اما از نظر ریخت‌شناسی و ساختار دهانه‌ای با آن کاملاً متفاوت است [۲٤].

انتشار چینه‌شناسی: ائوسن پیشین (ایپرزین میانی _ پسین)

Genus *Limacina* Bosc, 1817

Limacina* cf. *aegis (Hodgkinson, 1992)

Fig. 2: G

1992 *Limacina aegis* Hodgkinson: p. 62, pl. 1, figs. 10- 15.

2013 *Limacina aegis* Janssen et al., p. 31.

2016 *Limacina aegis* Janssen et al., p. 13, figs. 7-8.

تو صیف: صـدف چپ‌گرد، عریض و لنتیکولار، یک و نیم پیچش اولیه به صـورت تخت و پیچش‌های بعدی در نمونه‌های سالم خمیده‌اند، اگرچه پیچش‌های بعدی در نمونه‌های موجود، به دلیل حفظ‌شدگی نامناسب به خوبی قابل مشاهده نیستند.

بحث: ویژگی شاخص این گونه در صدف عدسی و فشرده شده آن است که باعث شده پیرامون آن به صورت کارن‌دار قابل مشاهده باشد. همچنین از سایر گونه‌های *Limacina* به دلیل عرض بیشتر قابل تشخیص است. علاوه بر این، پیچش انتهایی در سایر گونه‌ها به صورت متورّم دیده می‌شود، اما در این گونه به صورت مشخص و نسبتاً تیز (دارای کارن) است.

انتشار چینه‌شناسی: ائوسن پیشین (ایپرزین)

***Limacina dzheroiensis* (Janssen,2011)**

Fig. 2: H, I

1965 *Spiratella pygmaea* (Lamarck, 1804); Curry: p. 365, figs. 18a-b.
2011 *Limacina dzheroiensis* Janssen: p. 79, figs. 24-29.

تو صیف: دارای ریخت شناسی واضح و پیچش‌های منظم، ناتیکوئیدی‌فرم اما چپ‌گرد، صدف نسبتاً عریض، اسپایر کوتاه، جدایش پیچش‌ها با درزهای مشخص و شکاف‌دار، پیچش‌ها محدّب، افزایش قطر پیچش‌ها تدریجی، قاعده صدف گرد و دارای ناف، پیچ زندگی کروی و دهانه نسبتاً بزرگ و هلالی که تقریباً بیش از سه چهارم ارتفاع صدف را اشغال کرده است.

بحث: بنابر نوشته جانسن و همکاران [۳۵]، حضور همزمان *Limacina pygmaea* و *Limacina dzheroiensis* در مناطقی همچون ازبکستان قابل مشاهده است. تفاوت این دو گونه در اندکی عریض‌تر بودن، کمتر مشهود بودن پیچ زندگی، توسعه بیشتر بخش آپیکال صدف و تحدّب بیشتر حجرات در *Limacina dzheroiensis* است. اسپایر در گونه *Limacina dzheroiensis* برآمده‌تر و بلندتر از *Limacina pygmaea* دیده می‌شود.

انتشار چینه‌شناسی: مرز ائوسن پیشین _ میانی (مرز ایپرزین _ لوتسین)

۵-زیست‌چینه‌نگاری

پتروپودها با وجود پراکنش جغرافیایی گسترده، توزیع چینه‌شناختی محدودی دارند و همین امر اهمیت آنها را در زیست‌چینه‌نگاری تقویت می‌کند [۳۱، ۲۸، ۳۶]. بر همین اساس و با توجه به این که برخی از پتروپودها برای مطالعات زیست‌چینه‌نگاری و انطباق سنی در مقیاس جهانی مفید هستند [۳۳، ۳٤، ۲۵]، به کارگیری زیای مزبور به ویژه در زیست‌چینه‌نگاری پالئوژن به شکل قابل‌توجهی در سالیان اخیر مورد توجه بوده است. با این حال مطالعه پتروپودها در ایران بسیار محدود بوده و فقط می‌توان به سه مورد مطالعه وحدتی راد و همکاران [۱۰] در حوضه کپه‌داغ و خداوردی حسن وند و همکاران [٤] به همراه جانسن و همکاران [۳۷] در منطقه سه و زفره اصفهان اشاره کرد. این امر شاید به پوسته بسیار ظریف و شکننده زیای پتروپودی و نیز اندازه بسیار کوچک آنها مربوط باشد تا جایی که بزرگترین اندازه گزارش شده از آنها کمتر از ۲ میلی‌متر است. این موارد حفظ شدگی پتروپودها را در نهشته‌های پیش از پلئیستوسن تحت تأثیر قرار داده و بدین ترتیب ثبت فسیلی آنها در نقاط مختلف دنیا و ایران در مقایسه با دیگر زیای پلاژیک ضعیف‌تر بوده است. به همین دلیل، برای تقسیم‌بندی زیست‌چینه‌ای و انطباق جهانی کمتر استفاده شده‌اند [۲۹].

از سوی دیگر، با توجه حضور فراوان و چشمگیر نانوفسیل‌های آهکی و روزن‌داران شناور شاخص در محدوده گسترش زیای پلاژیک پتروپودی در نقاط مختلف دنیا، فرصت مطلوبی برای ثبت جایگاه اولین و آخرین حضور زیای پتروپودی طی زمان زمین‌شناسی فراهم است و لذا می‌توان هم‌ارزی سنّی ارزشمندی را بین ثبت وقایع ظهور و انقراض پتروپودها با روزن‌داران و نانوفسیل‌ها برقرار نمود. در پژوهش حاضر نیز بر مبنای حضور پتروپودها و انطباق گستره حضور آنها با زیست‌پهنه‌های معرفی شده از روزن‌داران موجود در سازند خانگیران، تعیین سن این زیا انجام و در نهایت زیست‌پهنه‌های پتروپودی معرفی شده‌اند.

بر این اساس، گستره چینه‌شناختی گونه *Heliconoides mercinensis* مورد سخن در این پژوهش، پالئوسن پسین تا لوتسین پسین است که منطبق بر زیست‌پهنه‌های نانوفسیلی NP9 تا NP15 می‌باشد. با این حال، گزارش این گونه از زمان پالئوسن در مقیاس جهانی بسیار اندک است و در بیشتر نقاط دنیا به عنوان شاخص ائوسن پیشین _ میانی معرفی شده است [۳۷]. این

گونه تاکنون از آمریکا، کانادا، فرانسه، دانمارک، انگلستان، بلژیک، هلند، ازبکستان و طبقات مرز ائو سن پیشین _ میانی در منطقه سُــه اصــفهان و ســازند خانگیران در منطقه ســرخس گزارش شــده اســت [۲۵، ٥٤، ۳۰، ۳۵، ۳۷، ۵۰، ۱۰]. گونه *Heliconoides mercinensis* در مطالعه حاضر از طبقاتی از سازند خانگیران در برش یاقل به دست آمده است که منطبق بر زیســـتپهنه روزنداران شـــناور *Acarinina pentacamerata* و زیســـتپهنه روزنداران کفزی *Pseudogaudryina pseudonavarroana* به سن ایپرزین پسین هستند [۵۲].

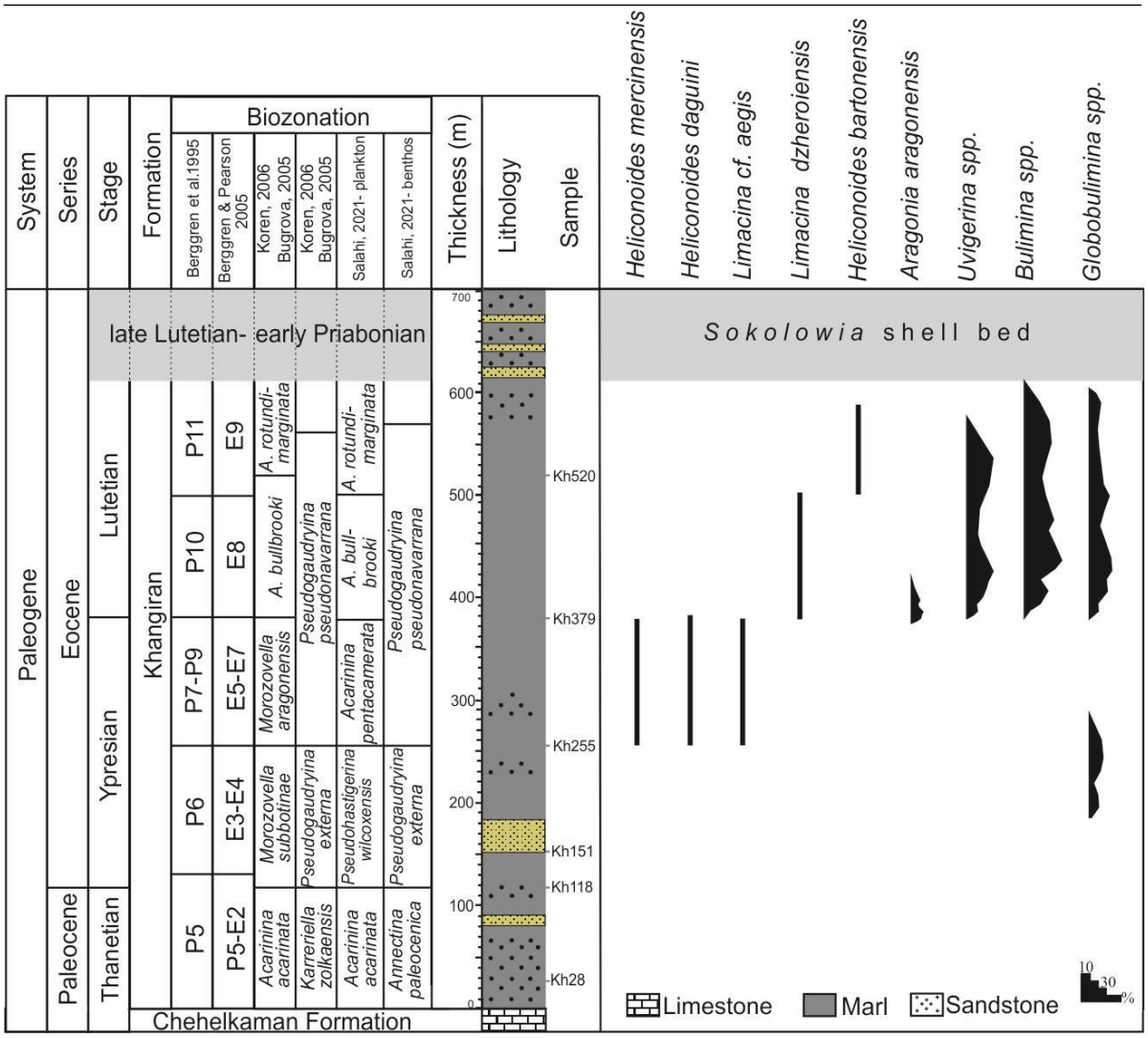
گستره چینه شناختی گونه *Heliconoides daguini* نیز ایپرزین میانی – پسین و منطبق بر زیستپهنههای نانوفسیلی NP12 تا NP13 اســت [٢٤]. این گونه پیش از این، از فرانســه هم گزارش شــده بود [٢٤]. در مطالعه حاضــر، گونه *Heliconoides daguini* در طبقاتی از سازند خانگیران که منطبق بر زیستپهنه روزنداران شناور *Acarinina pentacamerata* و زیستپهنه روزنداران کفزی *Pseudogaudryina pseudonavarroana* به سن ایپرزین پسین میباشند به دست آمده است [۵۲].

گستره چینهشناختی گونه *Limacina* cf. *aegis* ائوسن پیشین و منطبق بر زیستپهنه نانوفسیلی NP10 تا NP13 میباشد [۳۰]. این گونه از آمریکای شمالی هم گزارش شده است [۳۰، ۳۹]. گونه مورد نظر در مطالعه حاضر از نهشتههای ایپرزین سازند خانگیران حاصل شده است که منطبق بر زیستپهنه روزنداران شناور *Acarinina pentacamerata* و زیستپهنه روزنداران کفزی *Pseudogaudryina pseudonavarroana* به سن ایپرزین پسین میباشند [۵۲].

گستره چینه شناختی گونه *Limacina dzheroiensis* مرز ائو سن پیشین _ میانی و منطبق بر زیستپهنه نانوفسیلی NP14 تا NP15 است [۳۵]. این گونه تاکنون از ازبکستان گزارش شده است [۳۵]. گونه *Limacina dzheroiensis* در این مطالعه از طبقات متعلق به قاعده ائوســن میانی ســازند خانگیران به دســت آمده و منطبق بر زیســتپهنه روزنداران شــناور *Acarinina bullbrooki* و زیستپهنه روزنداران کفزی *Pseudogaudryina pseudonavarroana* به سن لوتسین پیشین میباشد [۵۲].

گستره چینه شناختی گونه *Heliconoides bartonensis* نیز لوتشین میانی تا بارتونین پیشین است و منطبق بر زیستپهنههای نانوفســیلی NP14 تا NP21 میباشــد [۲۷]. این گونه تاکنون از انگلیس، آمریکا و نیجریه گزارش شــده اســت [۲۵]. گونه *Heliconoides bartonensis* در مطالعه حاضر از ردیفهای لوتشین سازند خانگیران حاصل شده و منطبق بر زیستپهنه روزنداران شناور *Acarinina rotundimarginata* و زیستپهنه روزنداران کفزی *Pseudogaudryina pseudonavarroana* به سن لوتشین میانی است [۵۲].

بر این اساس، حضور و توزیع چینهشناختی زیای پتروپودی مورد سخن در این پژوهش منطبق بر زیستپهنههای روزنداران شــناور *Acarinina pentacamerata*، *Acarinina bullbrooki* و *Acarinina rotundimarginata* در برش الگوی ســازند خانگیران هستند و قابلیت انطباق با زیستپهنههای جهانی E5 تا E9 روزنداران شناور و NP13 تا NP15 نانوفسیلهای آهکی را دارند. این زیســتپهنهها ســن ائوســن پیشــین – میانی (آشــکوبهای ایپرزین _ لوتســین) را برای گســتره حضــور زیای پتروپودی در محدوده حوضه رسوبی کپهداغ (سازند خانگیران) تعیین میکنند (شکل ۳).



شکل ۳: ستون چینه‌نگاری بخش تحتانی برش الگوی سازند خانگیران و جایگاه پتروپودهای شناسایی شده در این پژوهش

٦-دیرینه‌بوم‌شناسی

از آن جا که حفظ‌شدگی پتروپودها در لایه‌های رسوبی با توجه به ترکیب کانی شناسی ویژه پوسته آنها نیازمند شرایط خاصی است، این میکروفسیل‌ها می‌توانند شاخص‌های مفیدی برای تفسیر محیط‌های دیرینه و حتی فرآیندهای دیاژنزی باشند. پتروپودها به عنوان جانوران پلاژیک، در ستون آب زندگی می‌کنند، ضمن این که صدف آنها ترکیب آراگونیتی دارد و در مناطق ژرف‌تر دریا به سرعت حل می شود [۳۰]. به همین دلیل، حضور زیای پتروپودی در اجتماعات میکروفسیلی، گویای نهشت رسوبات در دریای باز و بالای ژرفای موازنه آراگونیت است [١٦، ١٧، ٢١، ١٤]، که در ستون آب بالاتر از ژرفای موازنه کلسیت قرار می‌گیرد. بنابراین، با توجه به ماهیت پوسته آراگونیتی، پتروپودهای با فراوانی بالا و حفظ‌شدگی خوب بیشتر در نهشته‌های مناطق اقیانوسی پلئیستوسن یافت می‌شوند و فراوانی و کیفیت حفظ‌شدگی آنها با افزایش سن زمین‌شناسی کاهش می‌یابد [۱۱، ۲۹]. اگرچه در موارد معدودی پتروپودهای پالئوژن دارای پوسته نیز می‌باشند، ولی عموماً به صورت مولد داخلی حفظ شده‌اند. صدف پتروپودهای سازند خانگیران در مطالعه حاضر نیز بیشتر به صورت لیمونیتی و به شکل قالب‌های داخلی هستند.

حفظ شدگی پتروپودها در حوضه‌های با سرعت بالای رسوب‌گذاری، چرخش‌های آرام و دمای بالا بهتر صورت می‌گیرد. به باور هرمن [۲۹]، توزیع پتروپودها متأثر از میزان شوری، مواد مغذی، اکسیژن و ژرفای آب است. پتروپودهای امروزی بیشتر در محدوده ژرفایی نریتیک خارجی _ شیب قاره و باتیال بالایی در ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر بالایی ستون آب‌های مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری حضور دارند و تنوع و فراوانی آنها به سمت آب‌های معتدل سرد و مناطق قطبی به سرعت کاهش می‌یابد. به استناد مطالعات مختلف انجام شده، به نظر می‌رسد در طول ائوسن نیز شرایط به همین ترتیب بوده است [۱۳، ٤٠، ۳۸، ٤۹، ۳۹]. دفن سریع صدف پتروپودها توسط رسوبات رسی بی‌شک می‌تواند تسهیل کننده حفظ شدگی آنها باشد. حضور فراوان رس‌ها در ترکیب شیلی سازند خانگیران، عامل مهمی در حفظ و نگهداری این گروه از میکروفسیل‌ها بوده است، ضمن این که برخورداری محیط دیرینه از آب های گرم در مرز ائوسن پیشین _ میانی، می‌تواند ویژگی مهم دیگری در افزایش حفظ‌شدگی زیای پتروپودی در این سازند باشد.

به نوشته صلاحی [۵۲]، بخش ابتدایی سازند خانگیران در محل برش الگو به سن پالئوسن پسین، ۱۱۸ متر ستبرا دارد و محدوده ژرفای دیرینه نریتیک داخلی را نشان می‌دهد. توالی رسوبی متعلق به ایپرزین از ائوسن پیشین با ۲٦۱ متر ستبرا، با توجه حضور روزن‌داران کف‌زی ژرفاسنج همچون *Anomalinoides* spp.، *Gaudriyna* sp.، *Marginulinopsis* spp.، *Nonionella* sp.، *Nuttallides trumpyi*، *Pseudogaudriyna* spp.، *Pyramidulina* spp.، Buliminids و Lenticulinids ژرفای دیرینه نریتیک میانی _ خارجی را تداعی می‌کند [۵۲]. در محدوده مرزی ائوسن پیشین _ میانی، با توجه به حضور روزن‌داران کف‌زی ژرفاسنجی همچون *Nuttallides trumpyi* و *Aragonia aragonensis* به همراه فراوانی قابل‌توجه گونه های فرصت‌طلب نظیر فرم‌های Uvigerinid، Buliminid، Globobuliminid، Lenticulinid و حضور قابل توجهی از پیریت‌های کوبیک و فرامبوئید که اشاره به شرایط کم اکسیژنه و پروداکتیویته بالا دارد [۱۸، ٥٦، ٤۳، ۵۳، ۲٦، ۵۵]، ژرفای دیرینه سازند خانگیران به بیشترین مقدار خود در حدود مرز نریتیک خارجی _ ابتدای شیب قاره می‌رسد. از منظر زیای روزن‌داران شناور نیز شکوفایی *Pseudohastigerina*، افزایش فراوانی *Subbotina* به همراه ظهور و حضور *Hantkenina* که می‌تواند گویای حادثه بیشینه گرم‌شدگی مرز ائوسن پیشین _ میانی باشد [۱۵، ٤۱، ۲۳]، علاوه بر کمک به تعیین جایگاه مرز زمانی یاد شده، گویای حضور آب‌های گرم و افزایش ژرفای دیرینه در طول این مرز است. در کنار این شواهد، حضور زیای پتروپودی نیز مؤید دیگری برای مقدار بیشینه ژرفای دیرینه و آب‌های گرم در طول مرز ائوسن پیشین _ میانی است. همراهی آب‌های گرم می‌تواند مهیاکننده ته‌نشست و حفظ‌شدگی آراگونیت در رسوبات باشد [۲۹]. که احتمالاً همین حضور آب‌های گرم در محدوده مرزی ائوسن پیشین _ میانی از عوامل مهم حضور زیای پتروپودی در حوضه رسوبی کپه‌داغ و آب‌های شمالی‌تر به سمت پلاتفرم روسیه (محدوده ازبکستان) به شمار رود.

۷-نتیجه‌گیری

افزایش دمای آب دریا طی گذر پالئوسن به ائوسن (موسوم به مرز بیشینه دمایی پالئوسن- ائوسن) منطبق بر ظهور و شکوفایی ناگهانی جنس و گونه‌های قابل توجهی از زیای پتروپودی بوده است. در همین راستا با توجه به ژرفای کمتر سازند خانگیران در محدوده سنی مرز پالئوسن- ائوسن (ژرفای دیرینه نریتیک داخلی)، ثبت زیای پتروپودی در بازه سنی مزبور صورت نگرفته

است. با بیشتر شدن ژرفای دیرینه سازند خانگیران به سمت ائوسن میانی و به ویژه در مرز ائوسن پیشین _ میانی، ثبت قابل توجهی از زیای پتروپودی صورت گرفته است. همراهی پتروپودها در کنار حضور قابل‌توجهی از روزن‌داران شناور و کف‌زی ژرفاسنج می‌تواند پیشنهاد کننده ژرفای دیرینه تقریباً بالای ۲۰۰ متری برای محیط رسوب‌گذاری نهشته‌های مزبور در محدوده مرز ائوسن پیشین- میانی در سازند خانگیران باشد.

سپاس و قدردانی

از داوران مقاله آقایان دکتر سید ناصر رئیس السادات (استاد دانشگاه بیرجند) و دکتر علی بهرامی (دانشیار دانشگاه اصفهان) تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین از آزمایشگاه مرکزی دانشگاه مراغه به دلیل فراهم نمودن شرایط مطالعه نمونه ها، نهایت تشکر و قدردانی را داریم.

منابع

[۱] افشارحرب، ع.، ۱۳۷۳، زمین شناسی ایران، زمین شناسی کپه داغ، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۲۷٦صفحه.

[۲] حسین زاده فیروزیان، م.، ۱۳۹۰، زیست چینه نگاری سازند خانگیران در برش الگو، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد. ۱٦۰ صفحه.

[۳] خادم، م. ج.، ۱۳۷۷، بایواستراتیگرافی سازند خانگیران بر مبنای نانوپلانکتن های آهکی، غرب دشت سرخس (شرق روستای کاریزک). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۹٦صفحه.

[٤] خداوردی حسن‌وند، م.، بهرامی، ع.، یزدی، م.، صفری، ا.، ۱۳۹۷، فونای شکم‌پایان کف‌زی و پلاژیک نهشته‌های ائوسن در مناطق سُه و زفره (شمال اصفهان)، ایران مرکزی: رخساره‌های رسوبی، دوره ۱۱، شماره ۲، صفحه ۲۲۸-۲۰۱.

[۵] سنماری، س.، ۱۳۷۷، بایواستراتیگرافی سازند خانگیران بر مبنای نانوپلانکتن های آهکی (شرق ناودیس چهل‌کمان). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۲۷صفحه.

[٦] صلاحی، م. ا.، ۱۳۹۰، زیست چینه نگاری سازند خانگیران در دشت سرخس، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۵۰صفحه.

[۷] صلاحی، م.ا.، و وحیدی نیا، م.، ۱۳۹۲، زیست چینه نگاری بخش پایینی سازند خانگیران بر مبنای فرامینیفرهای پلانکتونیک در برش ناودیس چهل‌کمان، خاور حوضه رسوبی کپه‌داغ: پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، دوره ۲۹، شماره ۲، صفحه ۱۰٦-۸۷.

[۸] صلاحی، م.ا.، قادری، ع.، عاشوری، ع.ر.، و ثیاب قدسی. ع.ا. ۱۳۹۹، انطباق چینه شناسی نهشته های پالئوژن حوضه رسوبی کپه داغ آسیای میانه بر مبنای شواهد سنگ شناسی و فونای اویستری: علوم زمین، دوره ۲۹، شماره ۱۱٦، صفحه ۳۰٦- ۲۹۵.

[۹] مافی، آ .، ۱۳۸۰، تعیین سن قاعدهٔ سازند خانگیران براساس نانوپلانکتونهای آهکی در ناودیس چهل کمان (شرق کپه داغ). بیستمین گردهمایی علوم زمین.

[۱۰] وحدتی راد، م.، وحیدی نیا، م.، و صادقی، ع.، ۱۳۹۲، نخستین گزارش پتروپودهای خانواده Limacinidae از سازند خانگیران و اهمیت عمق سنجی دیرینه آنها در مقایسه با روزنداران: رخساره های رسوبی، دوره ٦، شماره ۱، صفحه ۱۲۲-۱۱۵.

[11] ALMOGI-LABIN, A., 1982, Stratigraphic and paleoceanographic significance of Late Quaternary pteropods from deep-sea cores in the Gulf of Aqaba (Elat) and northernmost Red Sea: *Marine Micropaleontology*, **7**, 53-72.

[12] ANDO, Y., UJIHARA, A. and ICHIHARA, T., 2009, First occurrence of Paleogene pteropods (Gastropoda; Thecosomata) from Japan: *Journal of the Geological Society of Japan*, **115**, 187-190.

[13] BÉ, A.W.H., and GILMER, R.W., 1977, A zoogeographic and taxonomic review of Euthecosomatous Pteropoda. In: Ramsey, A.T.S. (ed.): *Oceanic Micropaleontology*, *Academic Press*, *London*, **1**, 733-808.

[14] BEDNARŠEK, N. and OHMAN, M.D., 2015, Changes in pteropod distributions and shell dissolution across a frontal system in the California Current System. *Marine Ecology Progress Series*, **523**, 93-103.

[15] BENIAMOVSKY, V.N., ALEKSEEV, A.S., OVECHKINA, M.N., and OBERHÄNSLI, H., 2003, Middle to upper Eocene dysoxic-anoxic Kuma Formation (northeastern Peri-Tethys): biostratigraphy and paleoenvironments, in Causes and Consequences of Globally Warm Climates in the Early Paleogene, Wing, S.L., Gingerich, P.D., Schmitz, B., and Thomas, E., Eds., Geol. Soc. Am. Spec. Pap. **369**, 95–112.

[16] BERGER, W.H., 1977, Deep-sea carbonate and deglaciation preservation spike in pteropods and foraminifera: *Nature*, **269**, 301-304.

[17] BERGER, W.H., 1978, Deep-sea carbonate: Pteropod distribution and the aragonite compensation depth: *Deep Sea Research, Part A*, **25**, 447-452.
[18] BERGGREN, W.A. and AUBERT, J., 1975, Paleocene benthonic foraminiferal biostratigraphy, paleobiogeography and paleoecology of Atlantic-Tethyan regions: Midway-type fauna, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **18**, 73–192.
[19] BERGGREN, W.A., KENT, D.V., SWISHER, C.C., and AUBRY, M.A., 1995, A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. *In* Berggren, W.A., Kent, D.V., Aubry, M.P., and Hardenbol, J. (Eds.), *Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlation*, **54**, 129–212.
[20] BERGGREN, W.A. and PEARSON, P. N., 2005, A revised tropical to subtropical Paleogene planktonic foraminiferal zonation, *Journal of Foraminiferal Research*, **35**, 279–298.
[21] BIEKART, J.W., 1989, Euthecosomatous pteropods as paleohydrological and paleoecological indicators in a Tyrrhenian deep-sea core. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **71**, 205-224.
[22] BUGROVA, E.M., 2005, Practical guidebook of Microfauna, Vol. 8: Cenozoic Foraminifera, Ed., St. Petersburg: Vseross. Nauchno-Issled. Geological Institute Press, (in Russian). 323.
[23] BUGROVA, E.M., BENIAMOVSKY, V.N., TABACHNIKOVA, I.P., RYABOKON', T.S., and RADIONOVA, E.P., 2016, The Kantemirovka Paleogene reference section of the Voronezh Region: Stratigraphy and Geological Correlation, **24**, 602–624.
[24] CAHUZAC, B. and JANSSEN, A., 2010, Eocene to Miocene holoplanktonic Mollusca (Gastropoda) of the Aquitaine Basin, southwest France: *Scripta geologica*, **141**, 1-193.
[25] CURRY, D., 1965, The English Palaeogene pteropods. Proc. Malacol. Soc. London, **36**, 357-371.
[26] ERNST, S.R., GUASTI, E., DUPUIS, C., and SPEIJER, R.P., 2006, Environmental perturbation in the southern Tethys across the Paleocene/Eocene boundary (Dababiya, Egypt): Foraminiferal and clay mineral records, *Marine Micropaleontology*, **60**, 89–111.
[27] GOEDERT, J.L., PECKMANN, J., BENHAM, S.R. and JANSSEN, A.W., 2013, First record of the Eocene pteropod Heliconoides nitens (Gastropoda: Thecosomata: Limacinidae) from the Pacific Basin: *Proceedings of the Biological Society of Washington*, **126**, 72-82.
[28] GÜRS, K. and JANSSEN, A.W., 2004, Sea-level related molluscan plankton events (Gastropoda, Euthecosomata) during the Rupelian (Early Oligocene) of the North Sea Basin: *Netherlands Journal of Geosciences*, **83**, 199-208.
[29] HERMAN, Y., 1978, Pteropods. An Introduction to Marine Micropaleontology. In: Haq, B.U., & Boersma, A., (eds), Elsevier–North Holland, NY. 151-159.
[30] HODGKINSON, K.A., GARVIE, C.L. & BÉ, A.W.H., 1992, Eocene euthecosomatous Pteropoda (Gastropoda) of the Gulf and eastern coasts of North America: *Bulletin American Paleontology*, **103**, 5-62.
[31] JANSSEN, A.W. & KING, C., 1988, Planktonic molluscs (pteropods): *Geologisches Jahrbuch (A)*, **100**, 356-368.
[32] JANSSEN, A. W., 1989. Some new pteropod species from the North Sea Basin Cainozoic (Mollusca: Gastropoda, Euthecosomata). Mededelingen van de Werkgroep voor Tertiaire en Kwartaire Geologie **26**, 91-133.
[33] JANSSEN, A. W. 1990, Long distance correlation of Cainozoic deposits by means of planktonic gastropods (''pteropods''); some examples of future possibilities: *Tertiary Research*, **11**, 65-72.
[34] JANSSEN, A. W., 2000, Cavolinia grandis (Bellardi, 1873) from the early Pliocene of New Zealand, a further example of long-distance correlation by means of pteropods. Pp. 45-47 in Notes on the systematics, morphology and biostratigraphy of fossil holoplanktonic Mollusca, 7-9: *Basteria*, **64**, 35-50.
[35] JANSSEN, A.W., KING, C. and STEURBAUT, E., 2011, Notes on the systematics, morphology and biostratigraphy of fossil holoplanktonic Mollusca, 21. Early and Middle Eocene (Ypresian–Lutetian) holoplanktonic Mollusca (Gastropoda) from Uzbekistan: *Basteria*, **75**, 71-93.
[36] JANSSEN, A. W., 2012, Early Pliocene heteropods and pteropods (Mollusca, Gastropoda) from Le Puget-sur-Argens (Var), France: *Cainozoic Research*, **9**,145–187.
[37] JANSSEN, A.W., JAGT, J.W., YAZDI, M., BAHRAMI, A. and SADRI, S., 2013, Early-middle Eocene faunal assemblages from the Soh area, north-central Iran, 1. Introduction and pteropods (Mollusca, Gastropoda, Thecosomata). *Cainozoic Research*, **10** (1-2), pp.23-34.
[38] JANSSEN, A.W., and PEIJNENBURG, K.T., 2014, Holoplanktonic Mollusca: development in the Mediterranean basin during the last 30 million years and their future. *The Mediterranean sea: its history and present challenges*, pp.341-362.
[39] JANSSEN, A.W., CENTER, N.B., SESSA, J.A., and THOMAS, E., 2016, Pteropoda (Mollusca, Gastropoda, Thecosomata) from the Paleocene-Eocene Thermal Maximum (United States Atlantic Coastal Plain).
[40] JAMES, N.P. and BONE, Y., 2011, Neritic Depositional Environments. *Neritic Carbonate Sediments in a Temperate Realm: Southern Australia*, pp.109-127.
[41] KING, C., IAKOVLEVA, A.I., STEURBAUT, E., HEILMANN-CLAUSEN, C., and WARD, D.J., 2013, The Aktulagay section, west Kazakhstan: a key site for Early Eocene northern mid-latitude stratigraphy: *Stratigraphy*, **10**, 171-209.

[42] Koren, T.N., 2006. Biozonal stratigraphy of Phanerozoic in Russia: *Russian Geological Research Institute Press*, (in Russian), 255.
[43] KOUWENHOVEN, T.J., SPEIJER, R.P., VAN OOSTERHOUT, C.W.M., and VAN DER ZWAAN, G.J., 1997, Benthic foraminiferal assemblages between two major extinction events: the Paleocene El Kef section, Tunisia: *Marine Micropaleontology*, **29**, 105–127.
[44] LI, X.F., LI, G.B., GARVIE, C.L., WANG, T.Y. and ZHAO, J., 2020, First report of the early Eocene pteropods from the Zhepure Formation in Yadong, southern Tibet, China: *Journal of Paleontology*, **94**, 819-828.
[45] MANNO, C., BEDNARŠEK, N., TARLING, G.A., PECK, V.L., COMEAU, S., ADHIKARI, D., BAKKER, D.C., BAUERFEIND, E., BERGAN, A.J., BERNING, M.I. and BUITENHUIS, E., 2017, Shelled pteropods in peril: assessing vulnerability in a high CO_2 ocean: *Earth-Science Reviews*, **169**, 132-145.
[46] MORKHOVEN, V., 1986, Cenozoic cosmopolitan deep-water benthic foraminifera: *Bullettin Centres Recherches Exploration-Prodroduction Elf-Aquitaine Mémoire*, **11**.
[47] MOSHIRFAR, Y., MAHDAVI, M., GHASEMI-NEJAD, E., and ASHOURI, A., 2013, Eocene climatic events recorded in dinoflagellate cyst assemblages from the Kopeh-Dagh Basin, NE Iran; a statistical approach. *Arabian Journal of Geoscience*, 2, 8670876.
[48] PECK, V.L., TARLING, G.A., MANNO, C. and HARPER, E.M., 2016, Response to comment "Vulnerability of pteropod (Limacina helicina) to ocean acidification: Shell dissolution occurs despite an intact organic layer" by Bednarsek et al. Deep Sea Research Part II: *Topical Studies in Oceanography*, **127**, 57-59.
[49] PIERROT-BULTS A.C. and PEIJNENBURG K.T.C.A. 2015, Pteropods. Encyclopedia of marine geosciences. Springer Science+Business Media, 1-10.
[50] PIRKENSEER, C.M., STEURBAUT, E., ABELS, H.A., KING, C. and SPEIJER, R.P., 2013, An expanded lower Eocene shelf sequence from the eastern Aquitaine Basin, SW France: biostratigraphy, biofacies, and stable carbon and oxygen isotopes: *Newsletters on Stratigraphy*, **46**, 339-361.
[51] SALAHI, A. and GHADERI, A., 2021, Paleogene Molluscan Communities in the Kopet-Dagh Basin, NE Iran: *Paleontological Journal*, **55**,1141-1157.
[52] SALAHI, A., 2021, Late Paleocene-middle Eocene planktonic and small benthic foraminiferal fauna from the type section of Khangiran Formation, Kopet-Dagh Basin (NE Iran), Southernmost Peri Tethys: *Stratigraphy and Geological Correlation*, **29**, 303-321.
[53] SPEIJER, R.P., SCHMITZ, B., AND VAN DER ZWAAN, G.J., 1997, Benthic foraminiferal extinction and repopulation in response to latest Paleocene Tethyan anoxia: *Geology*, **25**, 683-686.
[54] SIESSER, W.G., 1983, Paleogene calcareous nannoplankton biostratigraphy: Mississippi, Alabama, and Tennessee: *AAPG Bulletin*, **67**,1471-1472.
[55] STASSEN, P., DUPUIS, C., MORSI, A.M., STEURBAUT, E., and SPEIJER, R.P., 2009, Reconstruction of a latest Paleocene shallow marine eutrophic paleoenvironment at Sidi Nasseur (Central Tunisia) based on foraminifera, ostracoda, calcareous nannofossils and stable isotopes ($\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$): *Geologica Acta: an international earth science journal*, **7**, 93-112.
[56] TJALSMA, R.C. and LOHMANN, G.P., 1983, Paleocene-Eocene bathyal and abyssal benthic foraminifera from the Atlantic Ocean: *Micropaleontology*, **4**, 1-90.
[57] VAHDATIRAD, M., VAHIDINIA, M. and SADEGHI, A., 2016, Early Eocene planktonic and benthic foraminifera from the Khangiran formation (northeast of Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, **9**, 1-13.
[58] ZORN, I., 1991b. A systematic account of Tertiary Pteropoda (Gastropoda, Euthecosomata) from Austria: *Mededelingen van de Werkgroep voor Tertiaire en Kwartaire Geologie*, **28**, 95-139.

نشریه علمی– پژوهشی زمین شناسی نفت ایران
Iranian Journal of Petroleum Geology

سال چهاردهم، شماره ۲۷، بهار و تابستان ۱۴۰۳ ص۷۶-۸۹
No. 27, Spring & Summer 2024, pp. 76-89

Systematic paleontology, biostratigraphic significance, and paleoecology of pteropods in the Khangiran Formation type section, Kopet Dagh, NE Iran

Mir Amir Salahi[1*] and Abbas Ghaderi[2]

1- Assistant Professor, Faculty of Science, University of Maragheh, Maragheh, Iran

2- Associate Professor, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

*Amir.salahi@maragheh.ac.ir

Received: October 2024, Accepted: January 2025

Abstract

This study focuses on Eocene pteropods from the Kopet-Dagh sedimentary basin. Two genera and five species, including *Heliconoides bartonensis* (Curry 1965), *Heliconoides mercinensis* (Watelet and Lefèvre 1885), *Heliconoides daguini* (Cahuzac and Janssen 2010), *Limacina cf. aegis* (Hodgkinson, 1992) and *Limacina dzheroiensis* (Janssen, 2011), have been reported from the type section of the Khangiran Formation near Yaghol village in Dargaz, Khorasan Razavi province. The pteropod assemblage corresponds to the Early-Middle Eocene boundary. The presence of these assemblages indicates that the Khangiran Formation sedimentary succession was deposited in warm waters, above the aragonite saturation horizon, and within the outer neritic to continental slope paleobathymetric range.

Keywords: Eocene; Pteropod; Khangiran Formation; Kopet-Dagh.