

Original Research Paper

Miocene Proboscidean footprints from the Upper Red Formation, Avaj area, Central Iran

Nasrollah Abbassi^{1*}, Safoora Shakeri², and Javad Rabbani¹

¹ Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

² Research Affairs Office, Faculty of Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2023 June 30

Accepted: 2023 August 28

Available online: 2024 March 20

Keywords:

Vertebrate

Footprint

Miocene

Proboscidean

Upper Red Formation

Avaj

ABSTRACT

Numerous Proboscidean footprints have been discovered in the outcrop (135 m) of lower rock unit of the Upper Red Formation (Middle-Late Miocene) in the north Avaj (Qazvin province), central Iran. These footprints are preserved as circular concave epi-relief in the upper bedding planes with smooth or levee rims or with sediment accumulation in the front of the footprints. Five digit imprints present in some of the footprints. The frequency of footprints is considerable the most of the upper surface of layers which was resulted by movement of proboscis herds. Ichnotaxonomically these footprints identified as *Proboscipeda enigmatica*. The footprints are classified as two sizes as small (15 cm) and large (25 cm) categories, and based on the geometric relationships, the height of shoulder was estimated as 140-170 cm for adult and 76-106 cm for immature individuals. According to reports of Miocene Proboscidean body fossils from Iran, and based on the distributions of the Proboscidean in this time, it seems that the *Choerolophodon* (Gomphotheriidae) is candidate as track-maker of the Avaj footprints. Among the Proboscidean footprints, there are crocodile and fish swimming imprints which were left in the shallow pools.

1. Introduction

Vertebrate ichnology studies in Iran have significantly progressed in the last two decades, so that, compared to the past, it has provided very good information about the paleontological status of Iranian plateau. Almost, all reports of vertebrate footprints from Iran are related to the Mesozoic and Cenozoic eras, and so far, despite


of one conference paper (Dashtban and Mohammadi, 2004), of course it needs to revision, there are not reports about the Paleozoic vertebrate tracks from Iran. On the other hand, reports of Iranian Mesozoic vertebrate footprints are related to reptiles, including the footprints of dinosaurs, crocodiles, and turtles (e.g., Abbassi et al.,

* Corresponding author: Nasrollah Abbassi; E-mail: abbasi@znu.ac.ir

Citation:

Abbassi, N., Shakeri, S., and Rabbani, J., 2024. Miocene Proboscidean footprints from the Upper Red Formation, Avaj area, Central Iran. Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 34(1), 131, 19-34. <https://doi.org/10.22071/gsj.2023.404716.2096>.

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

 doi: 10.22071/gsj.2023.404716.2096

 dor: 20.1001.1.10237429.1403.34.1.2.6



This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

2018; Wilmsen et al., 2022). The knowledge and findings about the tracks of Cenozoic vertebrates in Iran, however, are considerable, and among all these reports, more than half of the findings are related to the Miocene epoch (Abbasi, 2022, table 2). The reason for this is due to the presence of extensive outcrops of the Upper Red Formation in central Iran, which is of Middle-Late Miocene age, which was deposited in a continental environment.

The present report is also in the following of previous reports, which describes Proboscidean footprints from Avaj region, between the Qazvin to Hamadan, west of central Iran. In this article, the authors are trying to evaluate the paleontology of this group of mammals in Iran, based on the trace and body fossils of Proboscidean, and report new data and information on the fossils of Iranian vertebrate fossils. In addition, crocodiles and fish swimming traces are discussed here, that were found in one of the layers.

The studied section is located to the north of Avaj city of Qazvin province and is in an accessible outcrop on the side of the Hamedan-Qazvin Road (Fig. 1).

2. Research Methodology

Most of the data have been collected during the field studies, no footprint was sampled. These data include bed by bed stratigraphic information, record of geographic and stratigraphic position of footprints, complete either sedimentological or paleontological data charts and preparing of adequate photos by use of digital cameras. Geometrical studies on the photos of tracks and samples carried out in the laboratory. Geometrical data used for ichnotaxonomical identification of the footprints. Photoshop and Adobe Illustrator softwares have been used for resizing, auto-merging, redrawing sketches, and changing the quality of photographs.

2-1. Upper Red Formation in the Avaj area

Upper Red Formation has extensive outcrops in the Avaj area, which formed in the fault-control basin. The Avaj fault in south and Hasan-Abad fault in the north caused syn-sedimentary and post sedimentation deformations of the sediments. The Upper Red Formation usually has been divided into two rock units, and the formation divided to colored lower rock unit (M1) and conglomerate upper rock unit with informal named Bi-Ab conglomerates (Bolourchi, 1978). The lower rock unit M1 in the studied section (135 m) includes alternations of red to green-gray sandstone, siltstone and shale or marl (Fig. 2). The studied footprints belong to the lower rock unit, which are preserved as circular concaves on the upper bedding planes and marked in seven lithohorizons (Figs. 2 and 3).

3. Results

Numerous Proboscidean footprints have been found in the

studied section of Upper Red Formation. These footprints Identified as ichnogenus *Proboscipeda* Panin and Avram (1962). For the first time, Panin and Avram (1962) introduces ichnogenus *Proboscipeda* for tracks of Proboscidea (elephants) from the Vindobonian of Miocene of Romania. This ichnogenus was monotypy as *Proboscipeda enigmatica*. Aramayo and de Bianco (1987) reported footprints from Pleistocene of southern Argentina which were attributed to *Stegomastodon* and named as *Stegomastodonichnum australis*. The later ichnogenus had more and less similar morphology with *Proboscipeda* as circular in shape with three-digit imprints in the front of footprints. Remeika (1999, 2006), also reported the Neogene Proboscidean footprints from the Anza-borrego desert state park of California as new ichnogenus *Mammuthichnum*. Both *Stegomastodonichnum* and *Mammuthichnum* had same morphology with *Proboscipeda* so that Lucas et al. (2007) had onto considered *Stegomastodonichnum* and *Mammuthichnum* synonymy with *Proboscipeda*. Thus, only *Proboscipeda* is a valid name for Proboscidean footprints. More than 56 footprints have been found in the studied section in the seven lithohorizons. Most of the footprints were found in the red layers and one of them preserved in the green layer. Footprints are circular or ellipsoid in shape, smooth in sole imprint, with five-digit imprints in the best-preserved items (Fig. 4). No trackways were identified because of the limit of outcrops of the bedding planes. Footprints are classifiable in two classes, small size (15 cm in footprint length) which is attributable to the immature individuals, and large footprints of adults with 25 cm in length. Directions of progressing are toward NE or SW.

Crocodile and fish swimming traces remained as straight or curved one- to -several drag sets. Invertebrate trace fossils include *Scoyenia* isp., *Planolites* isp., and a fine circle imprint with central node, attributable as *Laevicyclus* isp. (Fig. 5).

4. Discussions

Proboscidea is a member of Tethytheria with Sirenian, Desmostylia and probably Embrithopoda (McKenna, 1975; Shoshani and Tassy, 1996; Gheerbrant et al., 2018). At first, Proboscidea was divided into two classes as Elephantidae and Mastodontidae. This order has divided in six families in last revisions includes Early Proboscidean (Paleocene-Oligocene), Deinotheriidae (Miocene-Pleistocene), Mammutidae (Miocene-Pliocene) Gomphotheriidae (Miocene-Pleistocene), Stegodontidae (Pliocene-late Pleistocene) and Elephantidae (Miocene-Recent) (Owen-Smith, 1988; Shoshani and Tassy, 2005; Cucina et al., 2022). The Miocene epoch is the main time of distribution and high frequency of Proboscideans. So that, there are body fossil reports of this large mammal from Zagros and NW of Iran (Orak et al., 2019; Jafarzadeh and Konidaris, 2020; Nakaya, 1994), which all of them are belong to family Gomphotheriidae and

were been identified as *Choerolophodon*. It seems that the track-maker of the Avaj track site was *Choerolophodon*, because of time distribution and size propinquity. The relationship between footprint size and height of shoulder estimated by well-known methods (Western et al., 1983), thus based on the geometric relationships, the height of shoulder was estimated as 140-170 cm for adult and 76-106 cm immature individuals in the studied track site.

5. Conclusion

The sedimentary basin of the Upper Red Formation in different regions of Central Iran is a good candidate for vertebrate ichnology.

The lower part of the studied section of the Upper Red Formation in the north Avaj includes alternations of sandstone, siltstone, shale, and marl from gray to black-gray. Both types of brown-red or green layers have *Proboscidea* footprints. The footprints are preserved as concave circular imprints in small to large sizes. The average size of large footprints is 25 cm and small footprints are 15 cm. According to the report of fossils of *Proboscidea* body fossils from the Miocene of Iran, it seems that individuals of the genus *Choerolophodon* were track makers of the Avaj footprints. Along with these traces of crocodiles and fishes, there is also the presence of sand, which lived in the shallow basins of that time.

ردپای خرطوم‌داران میوسن در نهشته‌های سازند سرخ بالایی، شمال آوج، ایران مرکزی

نصراله عباسی^{۱*}، صفورا شاکری^۲ و جواد ربانی^۱^۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران^۲ معاونت پژوهشی، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

چکیده

در رخنمونی از بخش زیرین سازند سرخ بالایی (میوسن میانی-پسین) در شمال شهر آوج، واقع در استان قزوین و به ستبرای ۱۳۵ متر، مجموعه‌ای از ردپاهای خرطوم‌داران (فیل‌ها) یافت شد. این ردپاها به صورت فرورفته در سطح بالایی رسوب حفظ شده‌اند و به شکل اثری گرد با حاشیه صاف تا برجسته یا با انباشتی از رسوب در بخش پیشانی رد پاها می‌باشند. در برخی از ردپاها اثر پنج انگشت نیز قابل مشاهده است. در بیشتر لایه‌ها ردپاها به تعداد زیاد برجای مانده‌اند که نشان دهنده حرکت گله‌ای فیل‌ها هستند. این ردپاها از دیدگاه ایکنوتاکسونومیک اثرجنس و اثرگونه *Proboscipeda enigmatica* تشخیص داده شدند. ردپاها در دو گروه اندازه‌ای کوچک (۱۵ cm) و بزرگ (۲۵ cm) بوده و براساس روابط هندسی (ژئومتریک) بلندی شانه فیل‌های بزرگ ۱۴۰ تا ۱۷۰ سانتی‌متر و افراد کوچک ۷۶ تا ۱۰۶ سانتی‌متر برآورد شد. با توجه به گزارش‌های در دسترس از سنگواره استخوان فیل‌های میوسن در ایران و همچنین الگوی پراکنش خرطوم‌داران در این زمان، به گمان فزون جنس *Choerolophodon* Schlesinger, 1917 از خانواده Gomphotheriidae کاندید اصلی اثرساز ردپاهای آوج بوده است. به همراه این ردپاها آثار شنای کروکودیل‌ها و ماهیان نیز یافت شدند که در حوضچه‌های کم‌ژرفای آن زمان زندگی می‌کرده‌اند.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:

مهره‌داران

ردپا

میوسن

خرطوم‌داران

سازند سرخ بالایی

آوج

۱- پیش‌نوشتار

به سن میوسن میانی-پسین است؛ سازندی که در یک محیط قاره‌ای ته‌نشست شده (Amini, 1997; Rafiei et al., 2011; NIOC, 1959) و پتانسیل بالایی برای حفظ و نگهداری ردپای مهره‌داران را دارد. تاکنون از رخنمون‌های سازند سرخ بالایی از شمال ایوان‌کی در خاور تهران (عباسی و امینی، ۱۳۸۷)، برونزدهای این سازند در باختر استان زنجان که به تپه‌های رنگین آاداغلار مشهور است (عباسی و شاکری، ۱۳۸۴؛ خوشیار و همکاران، ۱۳۹۴؛ علوی و همکاران، ۱۳۹۵؛ Abbassi et al., 2021; Abbassi, 2010, 2022) و منطقه خواجه در شمال تبریز (نظام‌دوست، ۱۳۹۹) ردپاهای بسیار گوناگونی از پرندگان، خزندگان و پستانداران از گزارش گردیده‌اند. جدول ۱، فهرستی از ردپاهای مهره‌داران سنوزوییک گزارش شده از ایران را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، زمین‌های سازند سرخ بالایی بیشترین تنوع اثرجنس‌ها و اثرگونه‌ها را به خود اختصاص می‌دهند، هر چند که زمین‌اتوسن نیز از استعداد بالایی برای مطالعات اثرشناسی مهره‌داران برخوردار

مطالعات اثرشناسی مهره‌داران در کشور ما، در دو دهه گذشته پیشرفت چشمگیری داشته است، به گونه‌ای که هم‌اکنون در مقایسه با گذشته، داده‌ها و اطلاعات خوبی از وضعیت دیرینه‌شناسی مهره‌داران ایران در اختیار است. تقریباً تمام گزارش‌ها در این زمینه، مربوط به زمین‌های مزوزوییک و سنوزوییک بوده و تا کنون به‌جز از یک مقاله همایشی (دشتبان و محمدی، ۱۳۸۴)؛ که البته خود نیاز به بازنگری و بازآزمایی دارد، یافته دیگری از اثرفسیل مهره‌داران پالئوزوییک در ایران، گزارش نشده است. گزارش‌های ردپای مهره‌داران مزوزوییک ایران مربوط به خزندگان بوده و شامل ردپاهای دایناسورها، کروکودیل‌ها و لاک‌پشتان است (Abbassi et al., 2018; Wilmsen et al., 2022). این در حالی است که دانسته‌ها و یافته‌ها در باره ردپای مهره‌داران سنوزوییک ایران بسیار بیشتر است و در میان همه این گزارش‌ها، بیش از نیمی از یافته‌ها، مربوط به زمان میوسن می‌باشند (Abbassi, 2022; table 2). دلیل این امر، به خاطر وجود رخنمون‌های گسترده سازند سرخ‌بالایی در ایران مرکزی و

* نویسنده مسئول: نصراله عباسی؛ E-mail: abbasi@znu.ac.ir

ماخذنگاری:

عباسی، ن.، شاکری، ص. و ربانی، ح.، ۱۴۰۳، ردپای خرطوم‌داران میوسن در نهشته‌های سازند سرخ بالایی، شمال آوج، ایران مرکزی. فصلنامه علمی علوم زمین، ۳۴(۱)، ۱۳۱-۱۹. <https://doi.org/10.22071/gsj.2023.404716.2096>

doi: 10.22071/gsj.2023.404716.2096

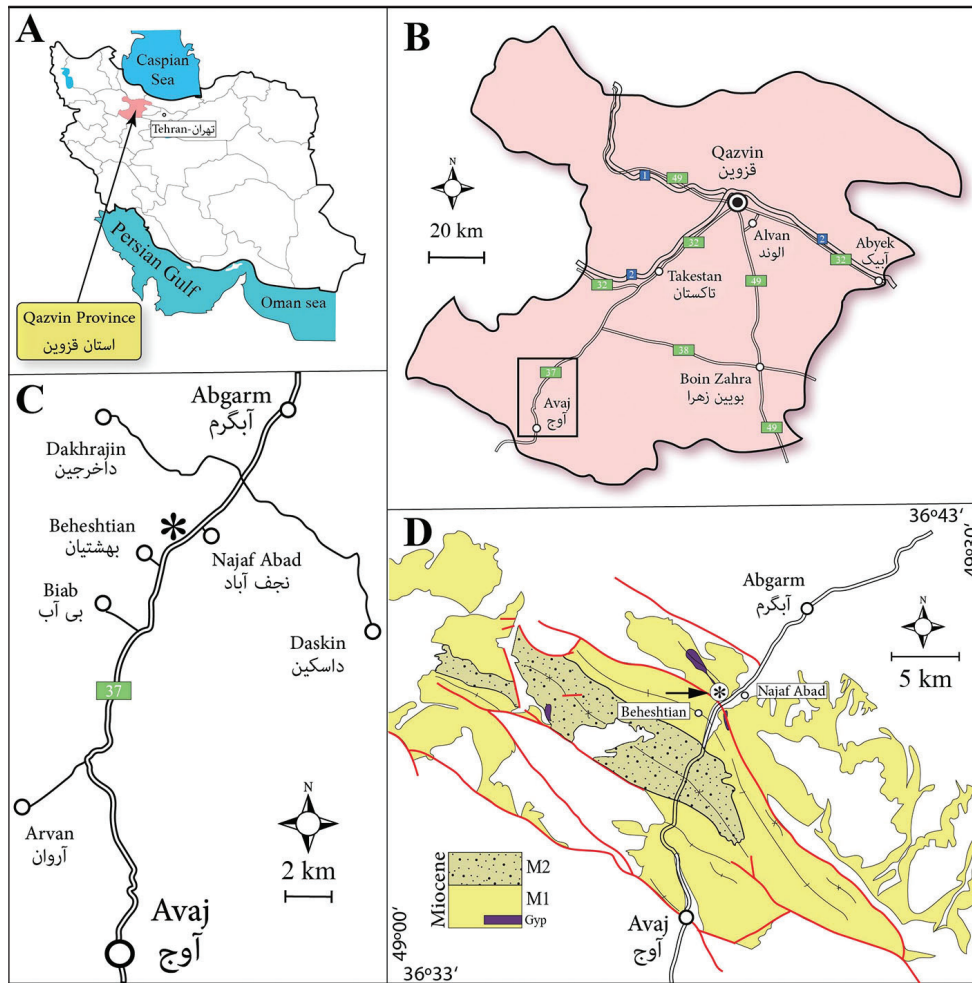
doi: 20.1001.1.10237429.1403.34.1.2.6

حقوق معنوی مقاله برای فصلنامه علوم زمین و نویسندگان مقاله محفوظ است.

This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

شده‌اند. ردپاهای یافت شده در شمال شهر آوج، از توابع استان قزوین قرار دارند و در رخنمونی قابل دسترس در کنار جاده همدان-قزوین هستند. پس از طی حدود ۱۷ کیلومتر از آوج به سوی آبگرم، در میانه راه دو دهکده بهشتیان و نجف‌آباد، می‌توان ردپاها را در برونزدهای لایه‌های آواری سرخ و در سمت چپ جاده مشاهده کرد (شکل‌های ۱- A-C و ۲).

است. گزارش حاضر نیز در راستای همین گزارش‌های پیشین است و ردپاهایی از خرطوم‌داران از منطقه آوج، واقع در مسیر قزوین به همدان را گزارش می‌نماید. در این مقاله، نگارندگان در تلاش‌اند تا ضمن ارزیابی دیرینه‌شناسی این گروه از پستانداران در ایران بر پایه سنگواره پیکره‌ای و اثری، داده‌ها و اطلاعات جدیدی از اثرشناسی مهره‌داران ایران را گزارش نمایند. در ضمن آثاری از شای کروکودیل‌ها و ماهی‌ها که در یکی از لایه‌های مورد پیمایش یافت شدند، در این مقاله گنجانده



شکل ۱- نقشه جغرافیایی ردپای خرطوم‌داران در شمال آوج، A) موقعیت استان قزوین در نقشه ایران، B) راه‌های دسترسی استان قزوین، C) موقعیت ردپاها در میان دو آبادی بهشتیان و نجف‌آباد در شمال آوج، D) نقشه زمین‌شناسی برونزد سازند سرخ بالایی در منطقه آوج (باز ترسیم بر اساس بلورچی - Bolourchi, 1978) و محل ردپاهای یافت شده با ستاره و پیکان نشان داده شده است.

Figure 1. Geographic map of Proboscidean tracks in north Avaj, A) Location of Qazvin Province in map of Iran, B) Transit roads of Qazvin Province, C) Location of tracks between the Beheshtian and Najaf-Abad villages, north Avaj, D) Geology map of outcrops of Upper Red Formation in the Avaj area (modified from Bolourchi, 1978). Location of studied tracks has indicated by stars and arrow.

جدول ۱- فهرست زمانی و مکانی ایکنوتاکسون‌های ردپای مهره‌داران سنوزوییک ایران (بر پایه 2022 Abbassi).

Table 1. List of Cenozoic vertebrate ichnotaxa in Iran (modified after Abbassi, 2022).

No.	Epoch	Geological zone	Formation / Rock unit	Ichnotaxa/Tracker
1	late Paleocene-middle Eocene	Zagros	Kashkan	Unnamed bird and mammal tracks
2	middle Eocene	Central Iran	Volcaniclastic rock unit	Bird: <i>Gruipeda lambrechtii</i> Mammal: ungulate groups, carnivores, and <i>Palaeotheriopus sarjeanti</i>
3	Eocene	Alborz	Karaj	Bird: <i>Avipeda</i> isp., cf. <i>Charadriipeda</i> Mammal: Pantodonta (? <i>Coryphodon</i>) or Dinocerata tracks, proboscidean (<i>Proboscipeda enigmatica</i> and cf. <i>Proboscipeda</i> isp.), <i>Moropopus elongatus</i> , <i>Musaltipes taromi</i> , <i>Paleotheriopus</i> isp., <i>Lophiopus</i> isp., <i>Diplartiopus</i> isp., <i>Gambapes hastatus</i> , <i>Pycnodactylopus</i> cf. <i>achras</i> and Carnivores tracks
4	Oligocene	Central Iran	Oligocene rocks	Bird: <i>Gruipeda intermedia</i> , Mammal: <i>Khafipus khadari</i> , <i>Palaeotheriopus</i> isp., <i>Platykopos</i> isp.
5	Miocene	Central Iran	Upper Red Formation	Bird: <i>Antarctichnus</i> isp., <i>Antarctichnus</i> isp., <i>Aviadactyla vialovi</i> , <i>Avipeda filiportatis</i> , <i>Avipeda</i> isp., <i>Charadriipeda disjuncta</i> , <i>Charadriipeda</i> isp., <i>Culcitapeda</i> isp., <i>Culcitapeda tridens</i> , <i>Gruipeda</i> isp., <i>Iranipeda abeli</i> , <i>Iranipeda</i> isp., <i>Ornithotarnocia</i> isp., <i>Ornithotarnocia lambrechtii</i> , cf. <i>Roepichnus</i> isp., Mammal: <i>Bestiopedes</i> isp., <i>Canipeda longigriffa</i> , <i>Chelipus</i> isp., <i>Chelipus therates</i> , <i>Credontipes</i> isp., <i>Felipeda lynxi</i> , <i>Pecoripeda (Gazellipeda) gazelle</i> , <i>Canipeda longigriffa</i> , <i>Platykopos ilycalculator</i> , <i>Proboscipeda</i> isp., camelid-like artiodactyls <i>Carnivoripedes</i> ,
6	late Miocene-Pliocene	Zagros	Agha Jari	Bird: <i>Koreanaornis hamanensis</i> , <i>Persiavipes gulfii</i> , <i>Iranipeda abeli</i> Mammal: <i>Pecoripeda gazella</i> Canidae tracks
7	Neogene	Kopeh-Dagh	Neogene Red Beds	Bird: <i>Avidactyla</i> isp., <i>Avipeda gryponyx</i> , <i>Fuscinaipeda texana</i> Mammal: <i>Bifidipes velox</i> , <i>Lamaichnum guanicoe</i> , <i>Pecoripeda amalphaea</i> , <i>Pecoripeda</i> isp., <i>Canipeda</i> isp., <i>Felipeda</i> isp.,

۲- روش پژوهش

ابتدای برش مورد مطالعه در موقعیت جغرافیایی ۴۲/۸۰۶' عرض شمالی و ۱۴/۴۶۵' ۰۴۹° طول خاوری قرار دارد و شیب و امتداد لایه‌ها برابر N 48° W/78°SW است. در برداشت صحرائی، داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز، گردآوری شدند این داده‌ها شامل برداشت‌های چینه‌نگاری لایه‌ها، جهت ترسیم ستون چینه‌شناسی، دست‌یابی به موقعیت چینه‌شناسی رد پاها، بررسی موقعیت ردپاها و چگونگی حفظ‌شدگی آن‌ها نسبت به سطوح چینه‌بندی و عکس‌برداری‌های دقیق از آن‌ها، انجام گردید. در این مطالعات نمونه‌برداری انجام نشد و تنها به عکس‌برداری از ردپاها بسنده شد، چرا که بیشتر ردپاها و مسیرهای حرکتی جانوران بر روی تخته‌سنگ‌های بزرگ قرار داشتند و امکان برداشت نمونه و حمل آن‌ها وجود نداشت. در آزمایشگاه تک‌تک نمونه‌ها و عکس‌ها بررسی شدند و ابعاد هندسی و ریخت‌شناسی آن‌ها، استخراج شد. اطلاعات به‌دست آمده با گزارش‌های

پیشین و موجود مقایسه گردید و ردپاها از نظر ایکنوتاکسونومی تشخیص داده شدند. برای نمایش بهتر و کامل‌تر ردپاها، عکس و تصاویر در برنامه‌های نرم‌افزاری فتوشاپ (Photoshop) و ادوب الیستریاتور (Adobe Illustrator) پردازش شدند.

۳- داده‌ها و اطلاعات

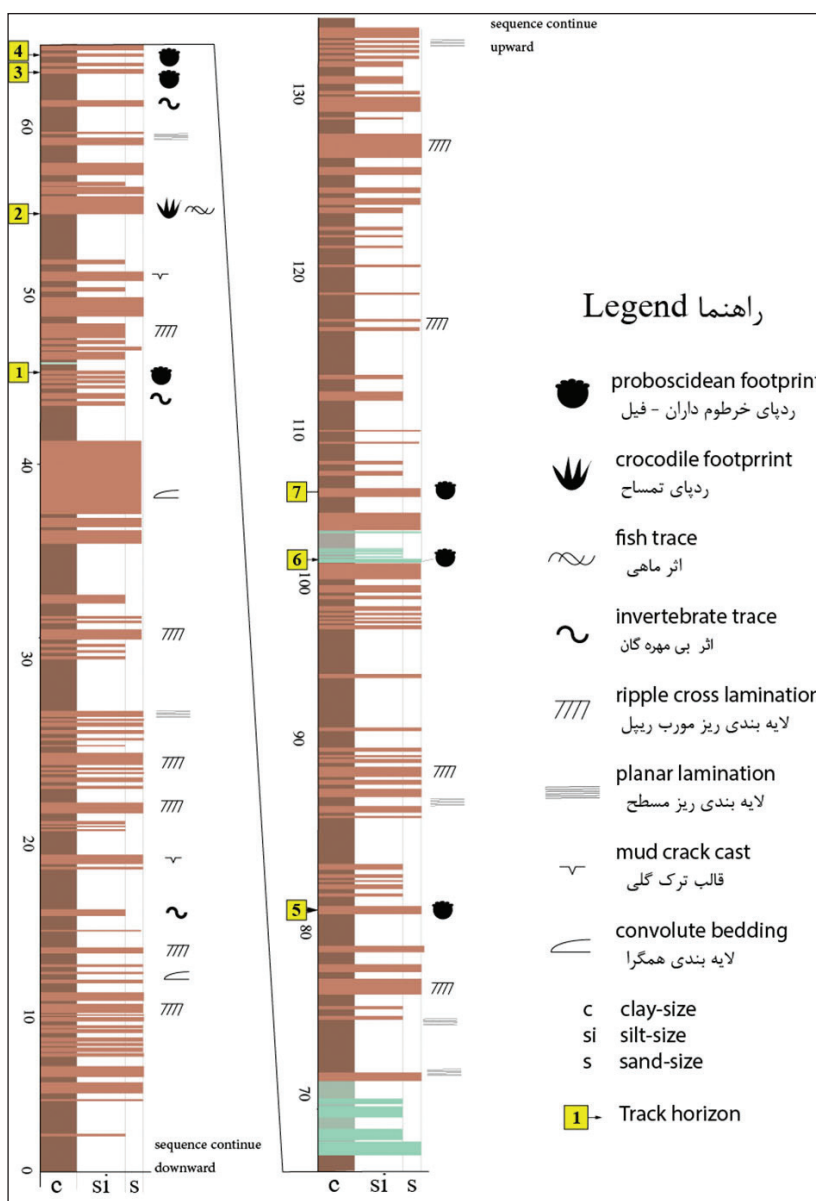
۳-۱- جایگاه زمین‌شناختی سازند سرخ بالایی

نهشته‌های سازند سرخ بالایی با توالی رسوبات آواری، تبخیری و مارنی شناخته می‌شوند که عموماً با مرز پیوسته و به واسطه یک‌سری از لایه‌های گچی بر روی سازند قم می‌نشینند. برخی بر این باورند که توالی حدواسط میان سازند قم و سازند سرخ بالایی در منطقه شوراب قم آخرین بخش سازند قم (بخش g) بوده و پس از آن سازند سرخ بالایی شروع می‌شود (Abaie et al., 1964). در بیشتر مکان‌ها قاعده سازند

در ویش زاده، ۱۳۷۰؛ رحیم‌زاده، ۱۳۷۳). با توجه به برداشت‌ها و پیمایش‌هایی که در سال‌های گذشته انجام گرفته است، یک جدایش مشخصی میان بخش دوم با بخش سوم (یا همان M1 و M2 در تقسیم‌بندی قدیمی) مشاهده می‌شود، به نحوی که مرز میان این دو واحد سنگ‌چینه، ناپیوستگی از نوع فرسایشی تا دگرشیبی است و خود سازند سرخ بالایی، قابلیت تفکیک به دو واحد سنگ‌چینه‌نگاری مستقل را دارد (احمدی‌قمی و همکاران، ۱۳۹۷؛ Abbassi, 2022).

سازند سرخ بالایی در محیط قاره‌ای و در شرایط آب و هوایی گرم تنشست شده است. رخساره‌های سنگی این سازند در محیط‌های رسوب‌گذاری از نوع بادبزنی‌های آبرفتی، رودخانه‌های بریده‌بریده تا مآندری و پلایا تنشست شده است که همراه با حوضچه‌های تبخیری محلی و در جایگاه زمین‌ساختی حواشی فعال قاره‌ای تا پشت کمانی شکل گرفته‌اند (رضایی و همکاران، ۱۳۹۴؛ 1997, 2001, Amini).

سرخ بالایی را توالی‌های رسوبی و گچ تشکیل می‌دهند و لسکویر و ریو (Lescuyer and Riou, 1976) ترجیح داده‌اند که این بخش را با نام غیررسمی سازند آهی‌چای در منطقه میانه معرفی نمایند. مرز بالایی این سازند در بیشتر جاها با واحدهای رسوبی جدیدتر، فرسایشی است. سازند سرخ بالایی اساساً از دو بخش زیرین و بالایی و با نام‌گذاری M1 و M2 ترکیب یافته است (رحیم‌زاده، ۱۳۷۳)؛ هر چند که اگر لایه‌های گچی زیرین سازند را واحد سنگی جدا بدانیم، در عمل، این سازند به سه بخش قابل تفکیک است. بنابراین در منطقه قم بخش M1 به سبب تقریبی ۲۰۰۰ متر متشکل از ماسه‌سنگ گچ‌دار، به رنگ سرخ تیره، شیل و سیلت‌سنگ که یک لایه راهنمای مارن سبز در قاعده آن وجود دارد، می‌باشد. بخش M2 به سبب برای حدود ۱۰۰۰ متر، بیشتر از ماسه‌سنگ حفره‌دار تشکیل شده است. بخش M3 به سبب برای ۳۰۰ تا ۵۰۰ متر از سیلت‌سنگ‌های گچ‌دار، مارن زرد با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگ است



شکل ۲- ستون چینه‌نگاری برش پیمایش شده در شمال آواج، شماره‌ها موقعیت ردپاها را در توالی مورد مطالعه نمایش می‌دهند.

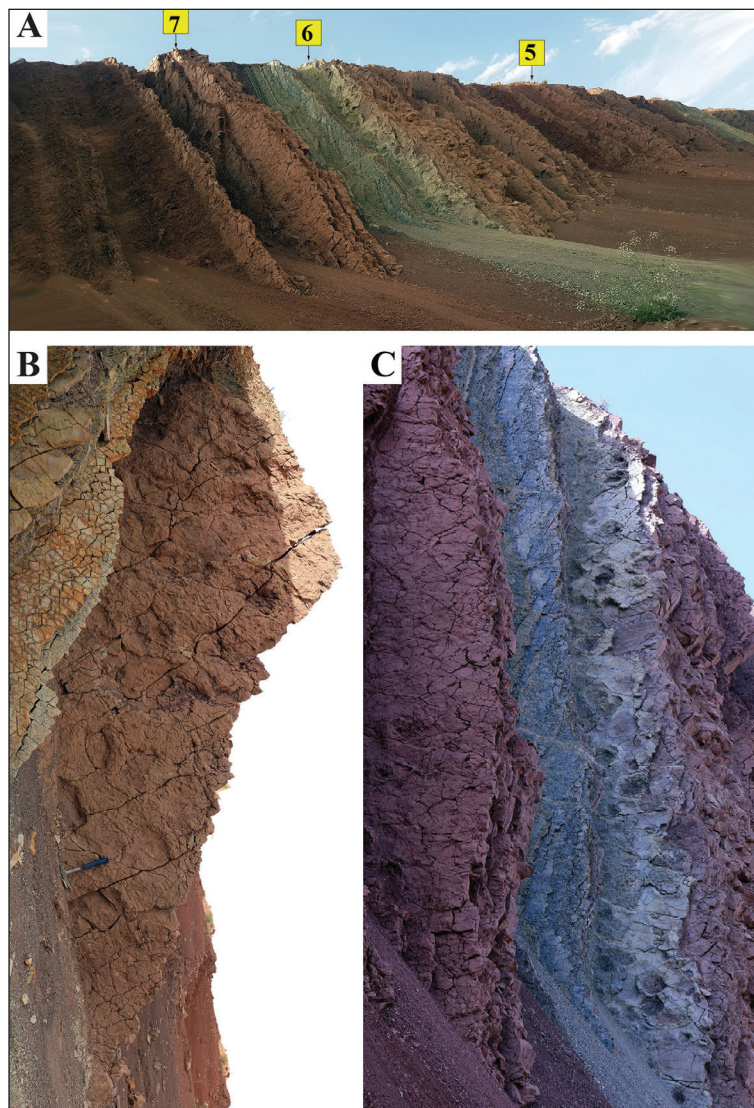
Figure 2. Stratigraphic column of the survived section of the Upper Red Formation in north Avaj, numbers show position of the tracks in the studied section.

آن از فعالیت گسل‌های آوج تاثیر پذیرفته بلکه پس از شکل‌گیری نیز تحت تاثیر فعالیت گسل‌های آوج در سمت جنوب و حسن آباد در شمال بوده و دچار دگرریختی‌ها ساختاری گردیده است. مشابه بسیاری از مناطق رخنمون یافته سازند سرخ بالایی در ایران مرکزی، در منطقه آوج نیز سازند سرخ بالایی به دو بخش M1 و M2 تفکیک شده است (Bolourchi, 1978). بخش زیرین (M1) از توالی رنگین سیلت‌سنگ، ماسه‌سنگ و کنگلومرا، مارن و گچ به ستبرای ۱۶۵۰ تا ۲۷۵۰ متر است که به طور هم‌شیب بر روی سازند قم ته‌نشست شده‌اند. بخش بالایی (M2) به ستبرای ۱۱۵۰ متر از توالی کنگلومرا با میان لایه‌های ماسه‌سنگ و گل‌سنگ تشکیل شده و با نام محلی و غیررسمی کنگلومرای «بی‌آب» شناخته می‌شود. ردپاهای یافت شده در مطالعات حاضر متعلق به بخش زیرین M1 هستند. به دلیل پوشش‌های آبرفتی پی‌درپی و تاثیر گسلش، امکان برداشت توالی چینه‌نگاری همه واحدهای سنگی M1، در منطقه فراهم نشد و تنها به پیمایش توالی رخنمون یافته و دارای ردپا بسنده شد (شکل‌های ۲ و ۳).

رنگ چیره نهشته‌های سازند سرخ بالایی، همان‌گونه که از نامش پیداست، سرخ و قهوه‌ای است ولی لایه‌های سبز تا سبز مایل به خاکستری نیز در این رسوبات وجود دارند. رنگ سرخ این رسوبات همزمان با رسوب‌گذاری، منشأ نگرفته بلکه ناشی از فرایندهای سنگ‌زایی و وجود رنگ‌دانه‌های آواری است (Amini, 2001). با این وجود، تکرار رسوبات رنگین (سرخ و سبز) نشان‌دهنده چرخه بودن شرایط محیط رسوبی، اعم از تغییرات آب و هوایی کیهانی زمین، یا تغییرات حین رسوب‌گذاری (syn-depositional) در این سازند است. رنگ سرخ این سازند در طی فرایند اکسیداسیون فراگیر دیاژنتیکی و رنگ سبز ناشی از شرایط احیایی محیط رسوبی این سازند می‌باشد (Ferré et al., 2023; Al-Rawi 1983; Miller and Folk, 1955).

۳-۲- سازند سرخ بالایی در آوج

سازند سرخ بالایی در منطقه آوج وسعت زیادی دارد و نه تنها گسترش حوضه رسوبی



شکل ۳- رخنمون برش پیمایش در شمال آوج، A) توالی لایه‌های سرخ و سبز، شماره‌ها موقعیت سه افق رد پاهای آخر را نشان می‌دهند، B-C) برونزد لایه‌های دارای ردپا، افق شماره ۴ (B) و ۶ (C) هستند. دید در همه تصاویر به سوی شمال هست.

Figure 3. Outcrop of studied section in north Avaj, A) Alternations of red and green layers, numbers show position of three last track horizons, B-C) Outcrop of footprint bearing of track horizon 4 (B) and 6 (C). view toward north.

ولی بیشتر در اندازه بزرگ هستند. برخی از ردپاها در سطحی پرشیب و خارج از دسترس هستند. به دلیل رخنمون محدود از سطوح لایه‌ها امکان تشخیص راه‌گذری (trackway) ردپاها فراهم نشد. با این وجود، بر اساس تغییرات ژرفای فرورفتگی در رسوب جهت حرکت تشخیص داده شد، به گونه‌ای دینامیک حرکت فیل‌ها به صورتی است که ابتدا پنجه پا بر سطح رسوب تماس داشته و پس از تماس کامل سطح کف با سطح رسوب حین گام برداشتن ممکن است رسوبات بخش پنجه به سمت جلو رانده شده و انباشتی خاکریز مانند در پیشانی رد پا ایجاد شود، همچنین سمت این انباشت با وجود اثر انگشتان قابل تشخیص است (شکل ۴-۲) (de Carvalho et al., 2021; Ren et al., 2010). ردپای خرطوم‌داران در همه افق‌های سنگی به جز افق سنگی شماره ۲، یافت شدند که توضیحات ردپاها در تک‌تک این افق‌ها به شرح زیر هستند:

• افق سنگی ۱- در این لایه قهوه‌ای دو ردپای بزرگ گرد و به صورت فرورفته و گودی یافت شدند. حفظ‌شدگی ردپای جلویی (P1) نسبتاً بهتر است به طوری که لبه جلویی برجسته ناشی از فشار پا دارد. ردپای بزرگ عقبی (P2) با گودی بیشتر و با حفظ‌شدگی ضعیف است و حاشیه آن فرسوده است. اثر انگشتان در هر دو ردپا دیده نمی‌شود (شکل ۴-۱). میانگین طول ردپاها ۲۵ سانتی‌متر و پهنای آن‌ها ۲۱ سانتی‌متر است.

• افق سنگی ۳- در این لایه همانند لایه پیشین، دو ردپای گرد با پرشدگی و با حفظ‌شدگی ضعیف یافت شدند. طول و عرض رد پاها تقریباً برابر و مساوی با ۲۵ در ۲۰ سانتی‌متر است. حاشیه ردپاها تجمعی از رسوبات گلی لامینه را نشان می‌دهد (شکل ۴-۲).

• افق سنگی ۴- یکی از دو لایه پر از ردپاهای خرطوم‌داران در برش مورد مطالعه است (شکل ۳-۲). این لایه از جنس ماسه‌سنگ ریز دانه به رنگ قهوه‌ای روشن است و ردپاها به صورت فرورفته در سطح بالایی لایه‌بندی باقی مانده‌اند. در حدود ۱۲ رد پا قابل شمارش می‌باشد. ردپاها به شکل بیضوی بوده و در جلوی ردپای آن‌ها انباشت رسوبات به صورت پشته‌ای برجسته و هلالی شکل وجود دارد. تقریباً جهت حرکت در همه ردپاها به یک سمت و به سوی شمال‌خاوری است (شکل ۴-۳). کیفیت حفظ‌شدگی ردپاها خوب است، به طوری که می‌توان اثر پنج انگشت را در جلوی ردپا تشخیص داد (شکل ۴-۳-۲). ردپاها درست در بخش عقبی پشته رسوبی بیشترین ژرفا را دارند. میانگین درازا و پهنای ردپاهای کامل به ترتیب ۲۵ و ۳۲ سانتی‌متر است.

• افق سنگی ۵- در این لایه به رنگ قهوه‌ای تیره با رخنمون محدود دو جفت ردپای گرد با فاصله زیاد از هم مشاهده شد. به نظر می‌رسد این ردپاها مربوط به یک سمت مسیر حرکت جانور باشند (شکل ۳-۴).

• افق سنگی ۶- این لایه به همراه لایه افق سنگی ۴، پر از ردپاهای خرطوم‌داران است. این لایه به جنس سیلت‌سنگ سبز رنگ می‌باشد و در میان لایه‌های پیمایش شده تنها لایه سبز رنگی است که ردپاها در آن وجود دارد. ردپاها در اندازه‌های کوچک و بزرگ هستند و به صورت جدا یا یک جفت چسبیده به هم می‌باشند (شکل‌های ۳-۳ و ۳-۴). چه در ردپاهای کوچک و چه در ردپاهای بزرگ برجستگی ناشی از دگرریختی رسوبات در پیرامون ردپاها یا در جلوی آن‌ها وجود دارد و می‌توان از روی آن جهت حرکت خرطوم‌داران را به سوی جنوب باختری تشخیص داد (شکل ۴-۳). ردپاهای کوچک گرد و با فرورفتگی نسبتاً بیشتر هستند و در همه سوی پیرامون خود برجستگی ناشی از دگرریختی رسوبات داشته و به قطر متوسط ۱۵ سانتی‌متر می‌باشند. ردپاهای بزرگ نیز کم و بیش گرد هستند و درازای ردپاها بزرگ برابر ۲۵ سانتی‌متر و پهنای آن‌ها ۲۱ سانتی‌متر است. درست در کنار یک جفت از ردپاها، گودی دراز و کشیده وجود دارد که همانند ردپاها با لبه برجسته در سمت حرکت می‌باشد.

• افق سنگی ۷- در برش مورد مطالعه، این لایه، آخرین لایه‌ای است که در آن ردپا

این برش به ستبرای ۱۳۵ متر از توالی ماسه‌سنگ، سیلت‌سنگ، شیل و مارن به رنگ قهوه‌ای و سرخ است. دو بخش از این برش شامل سیلت‌سنگ و ماسه‌سنگ و مارن سبز است. ردپاها در هفت افق به ترتیب ۴۵، ۵۵، ۶۲، ۶۳، ۸۱، ۱۰۱ و ۱۰۵ متری قرار دارند (شکل ۳). ساخت‌های ریل‌مارک جریانی، لامیناسیون مورب تا مسطح، ریل لامیناسیون و قالب ترک گلی، مهم‌ترین ساخت‌های فیزیکی این توالی هستند. اثر فسیل بی‌مه‌ره گان شامل اثرهای خزش یا حفاری هستند و اثر فسیل‌های *Scoyenia isp.*، *Planolites isp.* و *Laevicyclus* تشخیص داده شدند.

۳-۳- سیستماتیک

۳-۳-۱- ردپای خرطوم‌داران

Ichnogenus Proboscipeda Panin and Avram (1962)

— **ردگونه الو (type ichnospecies) *Proboscipeda enigmatica* Panin and Avram** (1962) (از نهشته‌های میوسن کشور رومانی، تعیین شده توسط، Abbassi et al., 2017).

— **شناسه (Diagnosis):** ردپاهایی بیضوی شکل (درازای بیش از پهنای دارد) با سطح ناهموار، معمولاً اثر انگشتان دیده نمی‌شود، هر چند که در برخی از ردپاها اثر بسیار کوچک انگشتان در جلو یا کناره رد وجود دارد (Panin and Avram, 1962).

— **جستار (Remarks):** برای نخستین بار پانین و آورام (Panin and Avram, 1962) اثر جنس *Proboscipeda* را برای رد پای خرطوم‌داران (فیل‌ها) از نهشته‌های میوسن رومانی (اشکوب محلی Vindobonian) با یک اثرگونه (monotypy) یعنی *Proboscipeda enigmatica* معرفی نمودند. آرامایو و بیانکو (Aramayo and de Bianco, 1987) ردپای منتسب به خرطوم‌داران استگوماستودون (*Stegomastodon*) با نام *Stegomastodonichnum australis* را از رسوبات پلیستوسن جنوب آرژانتین معرفی کردند که ریختی کم و بیش مشابه با اثر جنس *Proboscipeda* داشته و با داشتن یک برجستگی گرد پیرامون ردپاها و اثر سه انگشت میانی در جلو و همچنین سطح چین و چروک‌دار از آن باز شناخته می‌شد. رمیکا (Remeika, 1999, 2006) در معرفی ردپاهای نوژن پارک ایالتی بیابان آنازا-بورگو (Anza-borrego desert state) در ایالت کالیفرنیا، ردپای خرطوم‌داران را *Mammuthichnum* نام‌گذاری نمود. این ردپاها به صورت برجسته در سطح زیرین لایه‌بندی حفظ شده است و عملاً تفاوتی از نظر ریختی با سایر اثر جنس‌های معرفی شده برای ردپای خرطوم‌داران ندارد. به دلیل شباهت زیاد ریختی ردپاهای نام‌گذاری شده با هم و همچنین عدم تعیین اثرگونه الگو یا مشخصه (diagnosis)، لوکاس و همکاران (Lucas et al., 2007) را بر آن داشت تا این دو نام اخیر را همانم (synonymy) اثر جنس *Proboscipeda* دانسته و در هم ادغام کنند. بنابراین ردپای خرطوم‌داران با یک اثر جنس *Proboscipeda* شناخته می‌شود.

Ichnospecies Proboscipeda enigmatica Panin and Avram (1962)

شکل ۴

— **نمونه (Material):** بیش از ۵۶ ردپای کامل با حفظ‌شدگی خوب تا ضعیف در هفت افق سنگی (lithohorizon) یافت شدند و در سر زمین مورد مطالعه قرار گرفتند. نمونه‌برداری انجام نشد.

— **شناسه (diagnosis):** همان شناسه اثر جنس است.

— **ویژگی‌ها (Description):** این ردپاها شامل ردپای گرد، بیضوی کشیده، تخم‌مرغی شکل هستند که همه آن‌ها به صورت فرورفته در سطح بالایی رسوب یافت شدند. حفظ‌شدگی آن‌ها خوب تا ضعیف است. اندازه آن‌ها کوچک تا بزرگ بوده

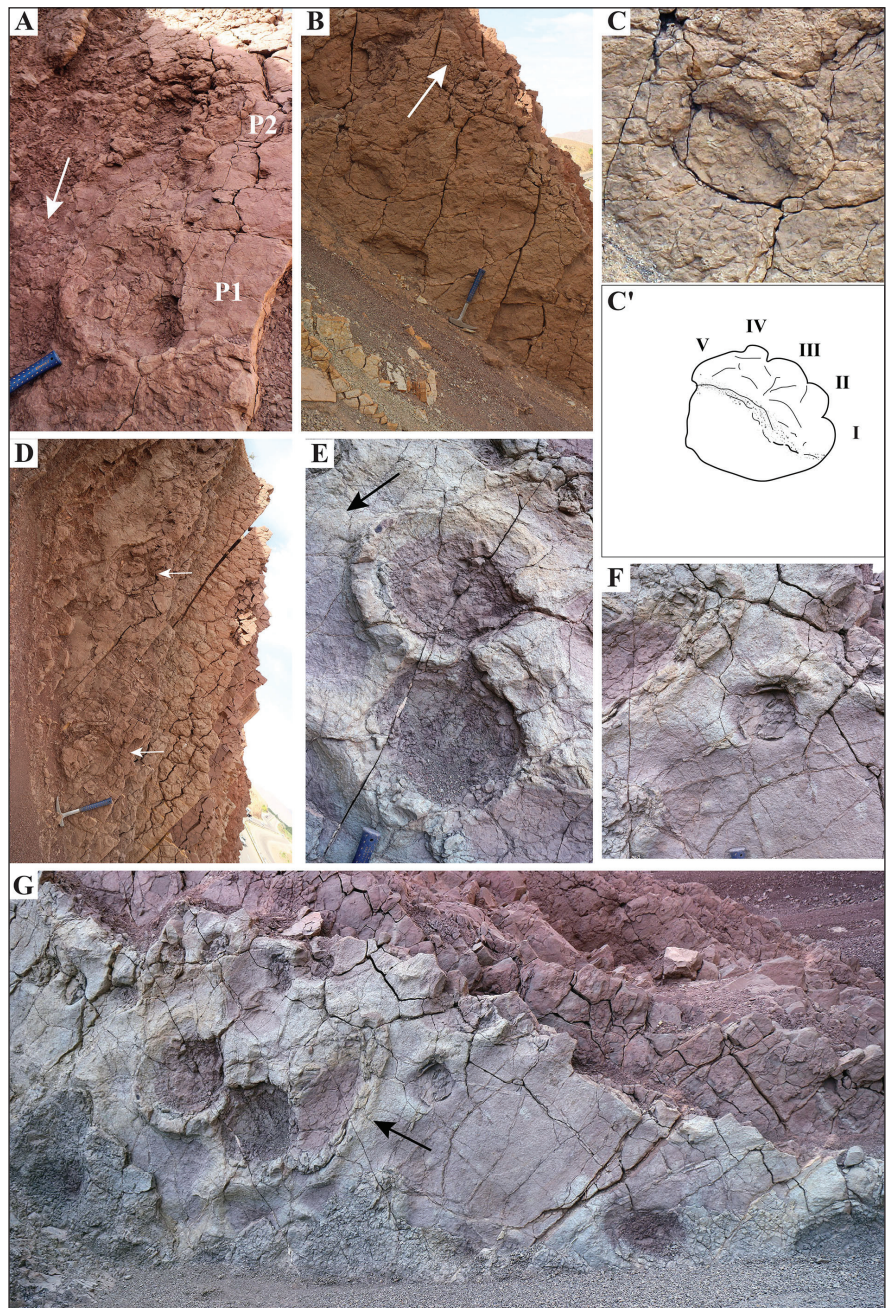
می‌شود. افزون بر اثرگونه *Proboscipeda enigmatica* یک اثرگونه دیگر به نام *Proboscipeda panfamilia* توسط مک‌نیل و همکاران (McNeil et al., 2007) از نهشته‌های پلیستوسن پسین آلبرتا کانادا معرفی شده است. اثرگونه *P. panfamilia* به صورت ردپاهایی گرد و بزرگ با روی هم‌افتادگی رد دست و پا بر روی هم شناخته می‌شود و به ماموت‌ها نسبت داده شده است. تفاوت این اثرگونه با *P. enigmatica* در گرد بودن ردپا دانسته شده است (McNeil et al., 2007).

تشخیص داده شد. کمتر از ۳ متر بالاتر از لایه سبز پیشین، یک لایه قهوه‌ای تیره وجود دارد که در بخش پایین دست آن دو رد پای گرد نزدیک به هم با حفظ‌شدگی ضعیف وجود دارند. دسترسی و مشاهده نزدیک این ردپا امکان‌پذیر نبوده و تنها به وجود آن‌ها اشاره می‌شود.

– **جستار:** همان‌طور که در بخش اثرجنس اشاره شد، از دیدگاه سیستماتیک تنها اثرجنس *Proboscipeda* به عنوان اثرجنس معتبر فسیل ردپای خرطوم‌داران شناخته

شکل ۴- دید نزدیک از رد پای خرطوم‌داران (*Proboscipeda enigmatica*) در برش پیمایش شده، (A) دو ردپای گرد (P1 و P2) در افق سنگی یک، پیکان سوی حرکت را نمایش می‌دهد، (B-C') ردپاها در افق سنگی چهار، انباشت رسوب در سمت جلوی حرکت وجود دارد و در حفظ‌شدگی‌های خوب اثر پنج انگشت (I-V) دیده می‌شود، شماره‌گذاری انگشتان بر اساس ارزیابی موقعیت ردپا نسبت به ردپاهای کناری انجام گرفته و پیکان سوی حرکت را نشان می‌دهد. (D) دو ردپای گرد (پیکان‌ها) در افق سنگی شماره سه، (E-G) ردپاهای افق سنگی ششم، شامل ردپاها گرد و بزرگ (E) تا کوچک (F) است همراه با برجستگی پیرامون رد پا به ویژه سمت جلوی رد پا، پیکان سمت حرکت جانور را نشان می‌دهد. در این لایه اثر فرورفتگی کشیده با کناره برجسته نیز وجود دارد (G، پیکان).

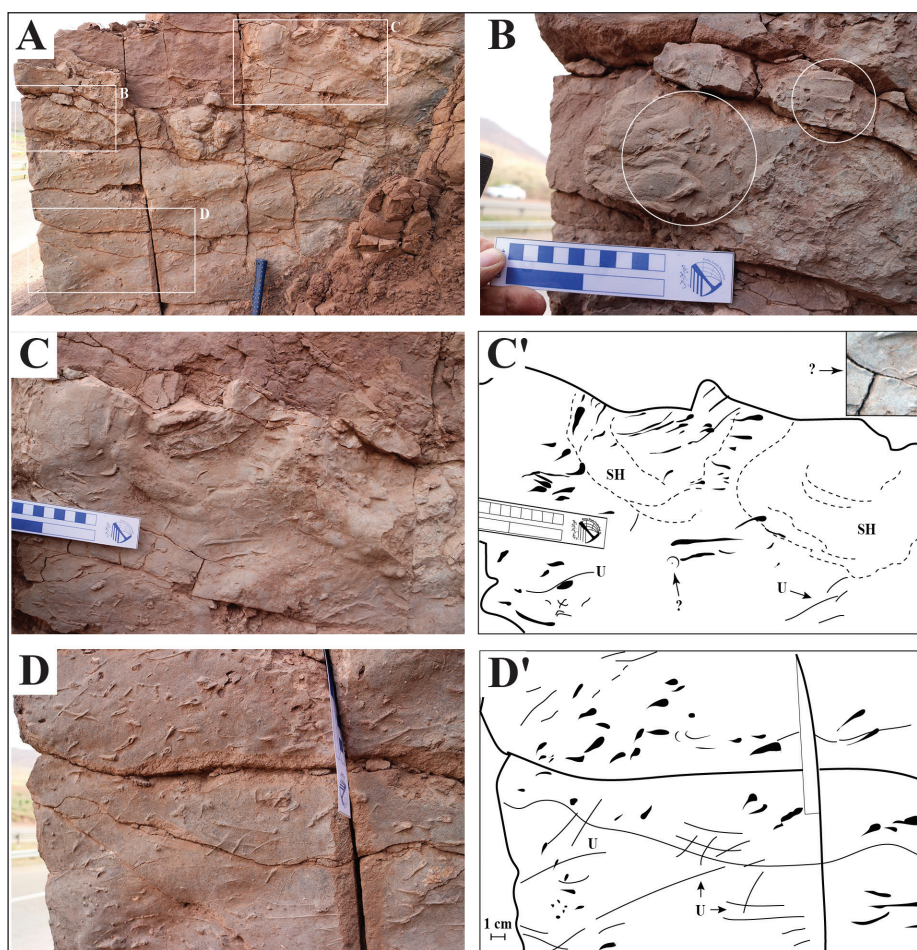
Figure 4. Close up view of elephant footprints (*Proboscipeda enigmatica*) in the studied section, A) Circular footprint of lithohorizon 1, arrow shows direction of progression, B-C') Footprints of lithohorizon 4, with front sediment accumulation, five digit imprints are visible in the well preserved footprints, digital coding of toes imprints is based on position of footprint in the trackway, arrow shows direction of progression, D) Two circular (arrows) footprints in the lithohorizon 3, E-G) Footprints of lithohorizon 6, include large (E) to small (F) imprints with lateral, specially front sediment accumulations, arrow shows direction of progression. There is a large elongate imprint with rim relief (G, arrow).



۳-۲-۳- اثرهای شنای خزندگان و ماهیان

به شکل خمیده یا مستقیم در دسته‌های دو تا چند تایی یا منفرد وجود دارند. این اثرهای خزشی نسبت به اثرهای پیشین، نازک‌تر و بیشتر به موازات هم هستند. این اثرها در حقیقت، اثر برخورد باله‌های شنای ماهیان با سطح رسوب هستند. ممکن است باله‌های شکمی، مخرجی، دمی و حتی باله سینه‌ای ماهیان در هنگام شنا با سطح رسوب برخورد نموده و اثر کشیده شدن مستقیم تا پر پیچ و خم برجای بماند. به دلیل این که این اثرها به طور کامل یافت نشدند، امکان تشخیص ایکنوتاکسونومی اثرها فراهم نشد. به همراه این اثرها، یک اثر گرد و هلالی با یک نقطه مرکزی یافت شد (شکل ۵-C-C'). این اثر بسیار مشابه اثر فسیل *Laevicyclus* Quenstedt, 1879 است که از کامبرین تا میوسن سن دارد (Knaust, 2015).

در افق سنگی شماره ۲ مجموعه‌ای از اثرهای شنای مهره‌داران به صورت برجسته در سطح زیرین لایه‌بندی حفظ شده‌اند یافت شدند (شکل ۵). بخشی از این اثرها شامل اثرهای قطره‌ای شکل کشیده هستند که معمولاً با نوک نازک به خطواره‌های کشیده مستقیم تا خمیده ختم می‌شوند. این اثرها به صورت پراکنده یا به صورت دسته‌های ۲ تا ۴ عددی در کنار هم هستند. این اثرها در واقع اثر کشیده شدن انگشتان و چنگال‌های کروکودیل‌ها بر روی سطح رسوب هستند به گونه‌ای که هنگام شنا دست و پای جانور به طور کامل با سطح رسوب در تماس نبوده و تنها اثر کشیده شدن و خراش باقی مانده است. به همراه این اثرها، یک سری اثرهای خطواره ساده



شکل ۵- (A-D') اثرهای شنای خزندگان و ماهیان (با حرف U مشخص شده اند) که به صورت برجسته در سطح زیرین لایه افق سنگی شماره ۲ برجای مانده‌اند، SH (substrate hollow)، گودی بستر رسوبی است و علامت (?) احتمالاً اثر فسیل *Laevicyclus* است (تصویر بزرگ‌تر گوشه سمت راست شکل C').

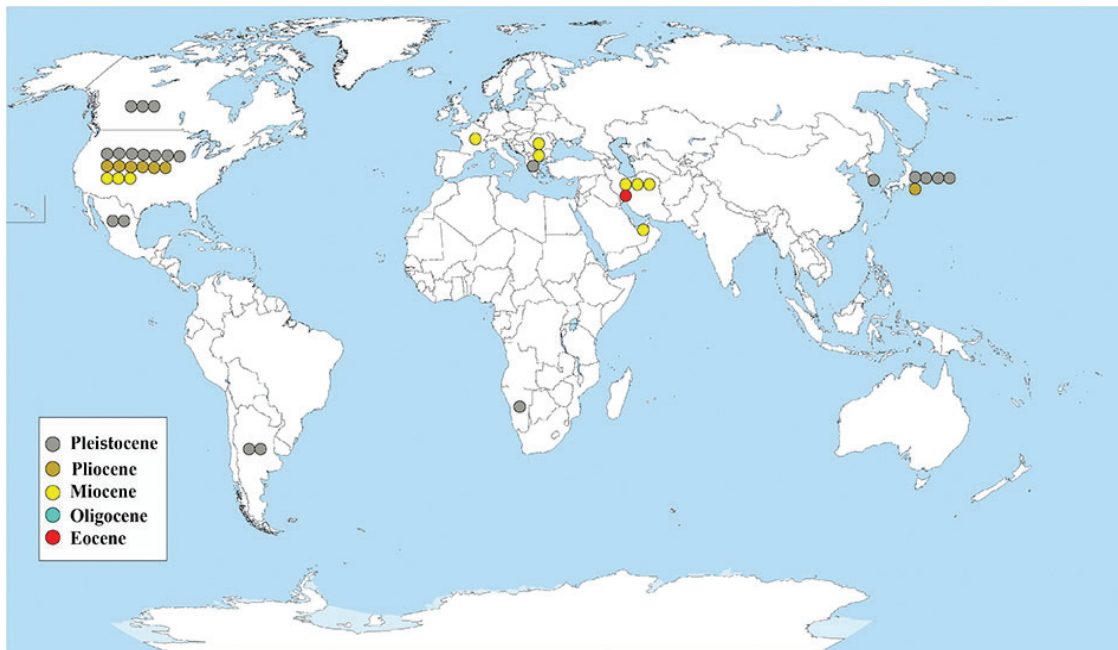
Figure 5-A-D') Swimming traces of reptiles and fishes (marked as letter U), preserved as convex hyporelief in the lithohorizon 2. SH (substrate hollow), waterhole, and (?) probably is *Laevicyclus*, (closeup, up-right corner of C').

۴- بحث

از جنوب اردبیل (Jafarzadeh and Konidaris, 2020)، میوسن پسین مراغه (Nakaya, 1994; Kamei et al., 1977; Mizraie et al., 2013) و میوسن بالایی ورزقان (پورابریشمی و همکاران، ۱۳۸۴) و کواترنری میانه (نجفی و بازرگانی گیلانی، ۱۳۸۵) گزارش شده‌اند. بیشتر سنگواره‌های یافت شده به سن میوسن، متعلق به جنس *Choerolophodon* از خانواده Gomphotheriidae هستند و فسیل خرطوم‌دار گزارش شده از ورزقان *Deinotherium giganteum* است (پورابریشمی و همکاران، ۱۳۸۴). جنس *Choerolophodon* با داشتن عاج‌های به شدت خمیده، دراز و رشد یافته از فک بالا و همچنین فک پایین کشیده فاقد عاج شناخته می‌شود. این جنس در شمال خاوری آفریقا، جنوب باختری آسیا و آسیای مرکزی و همچنین جنوب خاوری اورپا گسترش داشته است. جنس *Choerolophodon* تا اواخر میوسن، در پیرامون مدیترانه زیست می‌نموده است (Konidaris et al., 2014).

ردپای خرطوم‌داران از مناطق مختلف دنیا گزارش شده است (McDonald et al., 2007) (شکل ۶). چگونگی فراوانی و پراکنش سنگواره‌های ردپاهای خرطوم‌داران به گونه‌ای است که از زمان پلیستوسن بیشترین ردپاهای خرطوم‌داران را در بر دارد (شکل ۶). نکته جالب توجه این است که قدیمی‌ترین سنگواره ردپای خرطوم‌داران در جهان از نهشته‌های ائوسن پسین کوه‌های طارم ایران به‌دست آمده‌است (Abbassi et al., 2017)، در حالی که بیشترین گزارش‌های ردپاها مربوط به خرطوم‌داران میوسن در خاورمیانه و اروپاست. در میان این گزارش‌ها، ردپای گله‌ای خرطوم‌داران میوسن در سازند بینونه در باختر شیخ نشین ابوظبی در امارات متحده عربی است که نمونه جالبی از زیست اجتماعی خرطوم‌داران را به نمایش می‌گذارد. در این رخنمون، ردپای ۱۳ راس فیل بزرگ جثه تشخیص داده شده است (Bibi et al., 2012).

برای نخستین بار فیل‌های امروزی توسط الیگر (Illiger, 1811) با عنوان خرطوم‌داران (Proboscidea) نام‌گذاری گردید. با این حال بلنویل (de Blainville, 1834) آن‌ها را به همراه گاودریبیان (Sirenian) در یک گروه قرار داده و این گروه بعدها با اضافه شدن *Desmostylia* و احتمالاً *Embrithopoda* تحت عنوان تبار *Tethytheria* معرفی شدند (McKenna, 1975; Shoshani and Tassy, 1996; Gheerbrant et al., 2018, 2021). راسته خرطوم‌داران در ابتدا به دو خانواده *Elephantidae* و *Mastodontidae* تقسیم گشت، ولی در بازنگری‌های اخیر (Shoshani and Tassy, 2005 Cucina et al., 2022) این راسته به خانواده‌های *Early Proboscidean* (پالتوسن-الیگوسن)، *Deinotheriidae* (میوسن-پلیستوسن)، *Mammutidae* (میوسن-هولوسن)، *Gomphotheriidae* (میوسن-پلیستوسن)، *Stegodontidae* (پلیوسن-پلیستوسن) (پسین) و *Elephantidae* (میوسن-عهدحاضر) تقسیم شدند (Owen-Smith, 1988). بسیاری از گروه‌های خرطوم‌داران منقرض شده و از میان رفته‌اند و تنها افرادی از خانواده *Elephantidae* در حال حاضر زنده هستند که شامل فیل آسیایی (*Elephas*) و فیل آفریقایی (*Loxodontas*) می‌باشند. توزیع فراوانی گونه‌های فسیلی خرطوم‌داران به گونه‌ای است که در سیستم پالئوژن ۱۰ گونه (پالتوسن ۱، ائوسن ۵، الیگوسن ۴)، سیستم نئوژن ۴۵ گونه (میوسن ۲۵، پلیوسن ۲۰) و در کواترنری ۱۲ گونه (پلیستوسن ۱۰ و هولوسن ۲) گزارش شده‌اند. به عبارتی سری/اپوک میوسن زمان اوج گسترش و شکوفایی خرطوم‌داران به ویژه خانواده Gomphotheriidae بوده است (Shoshani and Tassy, 1996; Shoshani, 1998). با این وجود، بسیاری از گروه‌های خرطوم‌داران به تدریج در طی پلیو-پلیستوسن منقرض شدند. در ایران نیز فسیل‌های پیکره‌ای خرطوم‌داران میوسن از پهنه‌های زاگرس (Orak et al., 2019)،



شکل ۶- فراوانی گزارش‌ها و پراکنش مکانی و زمانی ردپاهای خرطوم‌داران از مناطق مختلف جهان (بر اساس داده‌های مک‌دونالد و همکاران (McDonald et al., 2007) و عباسی (Abbassi, 2022)). بیشترین فراوانی ردپاها از زمان پلیستوسن می‌باشد.

Figure 6. Location and age of the proboscidean footprints in the world (based on McDonald et al., 2007; Abbassi, 2022). Pleistocene footprints are abundant.

شانه افراد بالغ برابر حدود ۱۴۰ و افراد کوچک ۷۶ سانتی متر از روش نخست به دست می‌آید. به نحوی که:

$$0.158h + 3.008 \rightarrow h = 15 - 3.008 / 0.158 \rightarrow h = 75.89 \approx 76 \text{ cm} = 15$$

$$0.158h + 3.008 \rightarrow h = 25 - 3.008 / 0.158 \rightarrow h = 139.2 \approx 140 \text{ cm} = 25$$

در روش دوم (میانگین ۲/۲۵ برابر محیط رد پاها، میانگین ۲۴ سانتی متر قطر ردپاهای بزرگ) برابر ۱۷۰ سانتی متر برای افراد بزرگ و ۱۰۶ سانتی متر برآورد می‌شود. این در حالی است که بلندی شانه یک فیل نر ۲۴ ساله آفریقایی امروزی (*Loxodonta africana*) برابر ۳۲۳ cm و برای فیل نر ۱۸ ساله آسیایی (*Elephas maximus*) برابر ۲۵۳ cm می‌باشد (Larramendi, 2016). لازم به یادآوری است که به نظر می‌رسد، گودی کشیده و بیضوی در لایه افق‌سنگی ششم حاصل به هم ریختن رسوبات بر اثر حرکت کششی پا یا در اثر حرکت دادن خرطوم توسط جانور باشد.

در برش مورد مطالعه، فسیل گیاهی یافت نشد، ولی به هر ترتیب در زنجیره غذایی، خرطوم‌داران یک جانور گیاه‌خوار بوده و بایستی مواد غذایی مورد نیاز خود را تامین کرده باشند. در بررسی‌های پالینولوژی به عمل آمده، مشخص شده است که در زمان تنه‌شدن سازند سرخ بالایی، گیاهان درختی و درختچه‌ای مناطق گرمسیری تا نیمه گرمسیری وجود داشته‌اند (واعظ‌جوادی و عباسی، ۱۴۰۰).

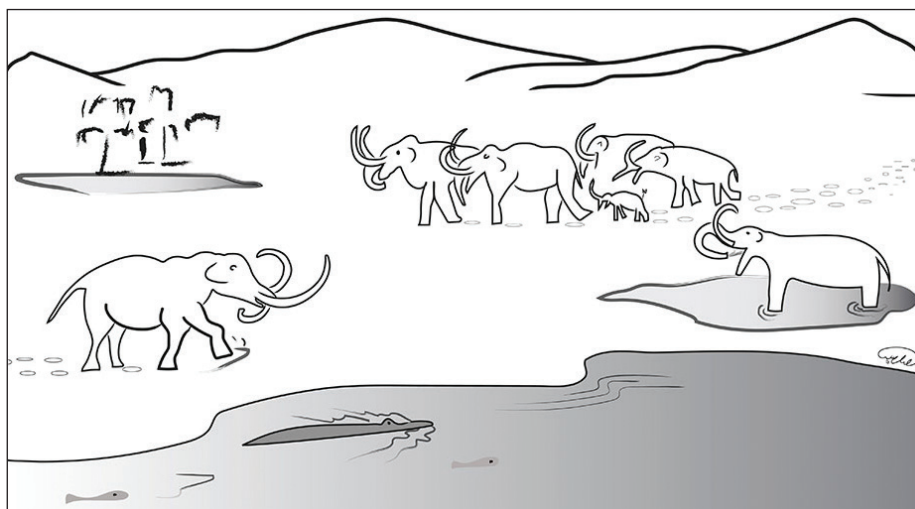
ردپاهای یافت شده بیشتر در لایه‌های قهوه‌ای و سرخ هستند و تنها یکی از افق‌های دارای ردپا در لایه سبز یافت شد. همان‌گونه که اشاره شد، لایه‌های سبز-خاکستری در محیط احیایی برجای مانده‌اند به بیان دیگر، ردپاها هم در بستر رسوبی با شرایط اکسیدان و هم در بستر احیایی برجای مانده‌اند. گودی‌های کم‌رُفا با آب راکد می‌توانند شرایط احیایی داشته و ردپاها در کف این نوع رسوبات هم برجای مانده‌اند. در توالی رسوبی مورد مطالعه، به همراه ردپاهای خرطوم‌داران در یک لایه آثار شنای کروکودیل و ماهی یافت شد. آثار کروکودیل یا ماهی در توالی میوسن سازند سرخ بالایی در باختر زنجان (Abbassi, 2022) و همچنین در سازند آغاچاری کوه‌های زاگرس (کاظمی و عباسی، ۱۴۰۲) گزارش شده است. بنابراین کروکودیل به عنوان یک خزنده بزرگ جنه به همراه خرطوم‌داران یکی از اجزای مهره‌داران ایران به‌شمار رفته و تصویر بازسازی شده محیط زیست سازند سرخ بالایی در منطقه آوج چیزی شبیه شکل ۷ است.

از سوی دیگر، ردپای خرطوم‌داران میوسن ایران در رخنمون‌های سازند سرخ بالایی در باختر استان زنجان و در منطقه هریس آذربایجان خاوری یافت شده است. در واقع، گزارش حاضر سومین گزارش از ردپاهای خرطوم‌داران میوسن ایران است. با توجه به نزدیکی زمان گسترش ردپاها و فسیل‌های استخوانی خرطوم‌داران در ایران و بر پایه اندازه‌های ردپا و محاسبه تقریبی جنه خرطوم‌داران، به نظر می‌رسد که به گمان فزون افراد خانواده Gomphotheriidae و احتمالاً همان جنس *Choerolophodon* اثرساز ردپاهای سازند سرخ بالایی در منطقه آوج بوده است. نکته جالب توجهی که در بررسی لایه‌های سازند سرخ بالایی در این منطقه وجود دارد، پراکنش ردپاهاست که تقریباً در کل توالی مورد مطالعه موجود هستند و این مطلب گویای تداوم زیست طولانی مدت فیل‌ها در این منطقه است.

فیل‌ها پستاندارانی با زندگی اجتماعی هستند و بیشتر به صورت دسته‌های چندتایی زندگی می‌کنند، این روش زیست اجتماعی را می‌توان در ردپاهای باقی مانده از آنان نیز مشاهده کرد، چرا که در بیشتر موارد، ردپاهای خرطوم‌داران به صورت تعداد زیاد (حتی در رخنمون‌های کوچک) یافت می‌شود. در ردپاهای برجای مانده آن‌ها، می‌توان چگونگی و ترتیب حرکت افراد یک دسته را شناسایی کرد. افراد یک اجتماع فیل‌ها شامل افراد بالغ تا نابالغ نر و ماده می‌گردد. افراد کوچک و نابالغ به همراه مادر و در میان افراد بزرگ گروه حرکت می‌کنند. در توالی مورد مطالعه نیز تعداد ردپاهای گرد کوچک مشاهده شدند که قابل نسبت دادن به افراد کودک و نابالغ گله فیل‌ها می‌باشند. به طور غیرمستقیم می‌توان با استفاده از اندازه طول ردپا (فاصله عقب تا جلو ردپا، نه بلندترین قطر ردپا) یا اندازه محیط کف پای جلویی جانور، بلندی شانه یا کتف فیل‌ها را با استفاده از روابط و معادله‌های زیر به دست آورد، که در بررسی فیل‌های آفریقایی در کشور کنیا به صورت زیر است (Western et al., 1983):

$$f = 0.158h + 3.008$$

که در آن (f) طول رد پا و (h) بلندی شانه است. در روش دیگری بلندی شانه فیل‌های امروزی را ۲ تا ۲/۵ برابر اندازه محیط پای جلویی در نظر می‌گیرند (Thulborn, 1990). اگر شرایط فیزیولوژی و آناتومی فیل‌های امروزی آفریقا را با خرطوم‌داران میوسن یکسان در نظر بگیریم و با توجه به اینکه طول میانگین ردپاهای فیل‌های بزرگ و کوچک آوج به ترتیب برابر ۲۵ و ۱۵ سانتی متر اندازه‌گیری شد، بلندی



شکل ۷- بازسازی محیط زیست میوسن در منطقه آوج.

Figure 7. Reconstruction of Miocene wildlife of Avaj area.

۵- نتیجه‌گیری

شده‌اند. با توجه به گزارش سنگواره‌های استخوان خرطوم‌داران از رسوبات میوسن ایران، به نظر می‌رسد افراد جنس *Choerolophodon* اثرساز ردپاها در توالی مورد مطالعه بوده‌اند. به همراه این ردپاها اثر شای کروکودیل‌ها و ماهیان نیز وجود دارد که یک در حوضه‌های کم‌ژرفای آن زمان زندگی می‌کرده‌اند.

سپاسگزاری

نگارندگان از جناب آقای دکتر اسد عبدی به خاطر همکاری و اطلاع‌رسانی لازم، بسیار سپاسگزارند. از داوران علمی این مقاله به دلیل رهنمودهای علمی، قدردانی می‌نماییم.

حوضه رسوبی سازند سرخ بالایی در مناطق مختلف ایران مرکزی مستعد داشتن آثار زیستی مهره‌داران می‌باشد. بخش زیرین توالی رسوبی این سازند در منطقه آوج شامل توالی ماسه‌سنگ، سیلت‌سنگ، شیل و مارن قهوه‌ای تا سبز-خاکستری است. در این منطقه، لایه‌های آواری سازند سرخ بالایی ردپاهایی از خرطوم‌داران میوسن را در خود حفظ کرده‌اند. در هر دو نوع لایه قهوه‌ای-سرخ یا سبز ردپاهای خرطوم‌داران یافت می‌شود. ردپاها به صورت آثار گرد با سطح ناهموار در اندازه‌های کوچک تا بزرگ می‌باشند. متوسط اندازه ردپاهای بزرگ ۲۵ سانتی‌متر و ردهای کوچک ۱۵ سانتی‌متر است. همه ردپاها به صورت فرورفته در سطح بالایی لایه‌بندی حفظ

کتابنگاری

- احمدی‌قمی، ف.، رفیعی، ب.، صدر، ا.ح.، ۱۳۹۷، بازنگری سازند قم در منطقه آوج-آبگرم، غرب ایران. رسوب‌شناسی کاربردی، شماره ۱۲، ص. ۴۰-۶۱. 10.22084/PSJ.2019.17996.1192
- پورابریشمی، ز.، زارع، غ.، کویکی‌نژاد، ا.ح.، ۱۳۸۴، مطالعه دینوتریم گیگانتوم (*Deinotherium giganteum*) منطقه ورزقان. بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین، تهران. ۸ اسفند ۱۳۸۴.
- خوشیار، م.، عباسی، ن.، زهدی، ا.، ۱۳۹۴، اثرشناسی ردپای پرندگان ساحلی درناسانان (Gruiformes) در سازند سرخ بالایی (میوسن)، منطقه حصار، باختر استان زنجان. کارگاه آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، تهران، ایران، ۳-۵ اسفند ماه ۱۳۹۴.
- درویش‌زاده، ع.، ۱۳۷۰، زمین‌شناسی ایران. نشر دانش امروز (وابسته به موسسه انتشارات امیرکبیر)، ۹۰۱ ص.
- دشتیان، ه. و محمدی، م.، ۱۳۸۴، گزارش مقدماتی اولین ردپای تراپود در آسیا. بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین، تهران، چکیده مقالات.
- رحیم‌زاده، ف.، ۱۳۷۳، الیگوسن، میوسن، پلیوسن. طرح تدوین کتاب، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۳۱۱ صفحه.
- رضایی، خ.، فروغی‌شادباد، ش.، اسدی، ا.، ۱۳۹۴، پتروگرافی و ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌های سازند سرخ بالایی در برش حسن‌آباد (جنوب غرب تهران). رسوب‌شناسی کاربردی، شماره ۶، ص. ۴۳-۵۶.
- عباسی، ن.، و امینی، ع.، ۱۳۸۷، اثرشناسی ردپای مهره‌داران میوسن در سازند سرخ بالایی، برش ایوانکی، خاور تهران، فصلنامه علوم زمین، بهار ۱۳۸۷، سال هفدهم، شماره ۶۷، ص. ۶۷-۵۴. <https://doi.org/10.22071/gsj.2009.57784>
- عباسی، ن.، شاکری، ص.، ۱۳۸۴، آثار ردپای مهره‌داران میوسن در سازند سرخ بالایی، برش چینه‌شناسی مشمپا، استان زنجان، فصلنامه علوم زمین، بهار ۱۳۸۴، سال دوازدهم، شماره ۵۵، ص. ۷۶-۸۹.
- علوی، ز.، عباسی، ن.، زهدی، ا.، ۱۳۹۵، اثرشناسی ردپای پرندگان آبی و کنار آبی در حاشیه حوضه‌های پلایایی سازند سرخ بالایی، تلاشی برای بازسازی دیرین‌بوم‌شناسی میوسن میانی پسین در باختر استان زنجان. دومین همایش انجمن رسوب‌شناسی ایران، گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، هشتم و نهم اردیبهشت ماه ۱۳۹۵.
- کاظمی، ع.، و عباسی، ن.، ۱۴۰۲، ارزیابی تنوع زیستی مهره‌داران میوسن در زاگرس: یافته‌های نوین از ردپای مهره‌داران سازند آغا‌جاری، خاورگوند، استان خوزستان، جنوب‌باختری ایران. فصلنامه علوم زمین، تابستان ۱۴۰۲، سال سی و سوم، شماره ۱۲۸، ص. ۳۱۸-۲۹۹. doi: 10.22071/GSJ.2022.360094.2029.
- نجفی، ع.ا. و بازرگانی‌گیلانی، ک.، ۱۳۸۵، مطالعه سنگواره عاج فیل یافت شده در منطقه میانه، شمال غرب ایران. مجله علوم دانشگاه تهران. شماره ۳۲، ص. ۲۸۱-۲۷۵.
- نظام‌دوست، س.، ۱۳۹۹، دیرین‌اثرشناسی نهشته‌های سازند سرخ بالایی (میوسن) منطقه هریس-خواجه، استان آذربایجان شرقی، شمال باختری ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان. ۴۹ ص.
- واعظ‌جوادی، ف.، عباسی، ن.، ۱۴۰۰، معرفی پولن نهان‌دانگان دوله‌ای از سازند سرخ بالایی، شمال غرب زنجان. چهلمین گردهمایی (همایش) ملی علوم زمین، تهران، ۲ و ۳ اسفند ۱۴۰۰.

References

- Abae, I., Ansari, J.J., Badakhshan, A., and Jaafari, A. 1964. History and development of the Alborz and Sarajeh fields of central Iran: World Petroleum Congress Proceedings, Section II, Paper 13, PD3, 697-713.
- Abbassi, N., 2010. Vertebrate footprints from the Miocene Upper Red Formation, Shokorchi area, Zanjan Province, NW Iran, *Ichnos*, 17(2), 115-126. doi:10.1080/10420941003659493.
- Abbassi, N., 2022. Miocene Wildlife of Zanjan, NW Iran. Univ. Zanjan Press, Zanjan, 303 p.
- Abbassi, N., Alimohammadian, H., Shakeri, S., Broumand, S., and Broumand, A. 2018. Aptian small dinosaur footprints from the Tirgan Formation, Kopet-Dagh Region, northeastern Iran. *New Mexico Mus. Nat. Hist. Sci. Bul.*, 80, 5-14.
- Abbassi, N., Alinasiri, S., and Lucas, S.G., 2017. New localities of Late Eocene vertebrate footprints from the Tarom Mountains, Northwestern Iran. *Historical Biol.* 29(7), 987-1006. doi:10.1080/08912963.2016.1267162.
- Abbassi, N., and Amini, A., 2008. *Ichnology of Miocene vertebrate footprints in the Upper Red Formation, Evan-e-key section, east Tehran, Iran, Geological Survey of Iran, Scientific Quarterly Journal of Geoscience*, 67, 54-67. (In Persian).
- Abbassi, N., and Shakeri, S., 2005. *Miocene vertebrate footprints from the Upper Red Formation, Mushampa area, Zanjan province, Scientific Quarterly Journal of Geoscience*, 12, 76-89. (In Persian).
- Abbassi, N., Khoshyar, M., Lucas, S.G., and Esmaili, F., 2021. Extensive vertebrate tracksite from the Upper Red Formation (middle-late Miocene), west Zanjan, northwestern Iran. *Fossil Record*, 24(1), 101-116. doi:10.5194/fr-24-101-2021.
- Ahmadi, F. Q., Rafiei, B., and Sadr, A.H., 1998. *Revision of the Miocene Upper Red Formation in the Avaj-Abegarm area, west of Iran. Applied*

- Sedimentology*, 6(12), 40-61. 10.22084/PSJ.2019.17996.1192. (In Persian).
- Alavi, Z., Abbassi, N., and Zohdi, A., 2016. *Ichnology of the Seabird and Shorebird Footprints around the Miocene Playa Basins, an Effort for Paleocology Reconstruction of Upper Red Formation in the West of Zanjan Province. 2nd symposium of sedimentological Society of Iran, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian).*
- Al-Rawi, Y., 1983. Origin of red color in the Gercus Formation (Eocene), northeastern Iraq. *Sedimentary Geology*, 35(3), 177-192.
- Amini, A., 2001. Red colouring of the Upper Red Formation in central part of its basin, central zone, Iran. *J.Sci. Islamic Rep.Iran*, 12(2), 145-156.
- Amini, A., 1997. Provenance and Depositional Environment of the Upper Red Formation, Central Zone Iran. Ph.D. Thesis, unpublished, The University of Manchester, 320 p.
- Aramayo, S.A., and de Bianco, T.M., 1987. Hallazgo de una icnofauna continental (Pleistoceno tardío) en la localidad de Pehuén-Có (Partido de Coronel Rosales), Provincia de Buenos Aires, Argentina, Parte II. Carnivora, Artiodactyla y Aves. 4 Congreso Latinoamericano de Paleontología (La Paz, 1987), Resúmenes, 532-547.
- Bibi, F., Kraatz, B., Craig, N., Beech, M., Schuster, M. Hill, A., 2012. Early evidence for complex social structure in Proboscidea from a late Miocene trackway site in the United Arab Emirates. *Biology Letters* 8(4), 670–673. Doi:10.1098/rsbl.2011.1185.
- Bolourchi, M.H., 1978. Avaj geological compilation map, 1:100.000. Sheet No. 5861, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Cucina, A., Di Francesco, A., Saletti, R., Pittalà, M.G.G., Zilberstein, G., Zilberstein, S., Tikhonov, A., Bublichenko, A.G., Righetti, P.G., Foti, S., and Cunsolo, V., 2022. Meta-proteomic analysis of two mammoth's trunks by EVA technology and high-resolution mass spectrometry for an indirect picture of their habitat and the characterization of the collagen type I, alpha-1 and alpha-2 sequence. *Amino Acids*, 54(6), 935-954. doi:10.1007/s00726-022-03160-6.
- Darvishzadeh, A., 1991. *Geology of Iran. Danesh-e Emruz Publi. 901 p. (In Persian).*
- Dashtban, H., and Mohammadi, M., 2004. *Primary reports of tetrapod footprints in Asia. 24th National Geosciences Congress, Tehran, Iran, Geological Survey of Iran publication, Tehran. (In Persian).*
- de Blainville, H.M.D., 1834. *Manuel d'Actinologie ou de Zoophytologie (Vol. 1). Levrault.*
- de Carvalho, C.N., Belaústegui, Z., Toscano, A., Muñiz, F., Belo, J., Galán, J.M., Gómez, P., Cáceres, L.M., Rodríguez-Vidal, J., Cunha, P.P., and Cachão, M., 2021. First tracks of newborn straight-tusked elephants (*Palaeoloxodon antiquus*). *Scientific Reports*, 11(1),17311.
- Ferré, E.C., Satolli, S., Wu, H., Persaud, P., Çukur, D., and Bowden, S.A., 2023. Red or green: Overprinting of the climatic signal in Miocene sediments, South China Sea (IODP Expedition 368, Site U1502). *Terra Nova*, 00, 1-8. <https://doi.org/10.1111/ter.12670>.
- Gheerbrant, E., Khaldoune, F., Schmitt, A., and Tabuce, R., 2021. Earliest Embrithopod Mammals (Afrotheria, Tethytheria) from the Early Eocene of Morocco: anatomy, systematics and phylogenetic significance. *Journal of Mammalian Evolution*, 28,245-283.doi:10.1007/s10914-020-09509-6.
- Gheerbrant, E., Schmitt, A., and Kocsis, L., 2018. Early African fossils elucidate the origin of embrithopod mammals. *Current Biology*, 28(13), 2167-2173. doi:10.1016/j.cub.2018.05.032.
- Illiger, C.D., 1811. *Prodromus systematis mammalium et avium additis terminis zoographicis utriusque classis. Salfeld, Berlin, 15 ApB.*
- Jafarzadeh, R., and Konidaris, G.E. 2020., *Choerolophodon (Proboscidea, Mammalia) from a new upper Miocene locality: Kivi-1 (Iran). Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 100(1)269-280. doi:10.1007/s12549-019-00398-z.
- Kamei, T., Ikeda, J., Ishida, H., Ishida, S., Onishi, I., Partoazar, H., Sasajima, S., and Nishimura, S., 1977. A general report of the geological and palaeontological survey in Maragheh area, North-West Iran, 1973. *Memoirs of the Faculty of Science, Kyoto University. Series of geology and mineralogy*, 43(1-2),131-164.
- Kazemi, A., and Abbassi, N., 2023. *Assessment of Miocene vertebrate biodiversity of Zagros: new findings of vertebrate footprints from the Agha-Jari Formation, east Gotvand, Khuzestan province, southwest of Iran. Sci. Quart. J. Geosci. 33 (2):299–318. doi: 10.22071/gsj.2022.360094.2029. (In Persian).*
- Khoshyar, M., Abbassi, N., and Zohdi, A. 2015. *Ichnology of the Gruiformes coastal bird footprint from Upper Red Formation (Miocene), Hesar region, west of the Zanjan Province, 35th National Geosciences Congress, Tehran, Iran, Geological Survey of Iran publication, Tehran. (In Persian).*
- Knaust, D., 2015. Siphonichnidae (new ichnofamily) attributed to the burrowing activity of bivalves: Ichnotaxonomy, behaviour and palaeoenvironmental implications. *Earth-Science Reviews*, 150,97-519. doi:10.1016/j.earscirev.2015.07.014.
- Konidaris, G.E., Koufos, G.D., Kostopoulos, D.S., and Merceron, G., 2014. Taxonomy, biostratigraphy and palaeoecology of the genus *Choerolophodon* (Proboscidea, Mammalia) during the Miocene of the peri-Mediterranean region. In *Abstract Book of the VIth International Conference on Mammoths and their Relatives. SASG, Special Vol. 102, 92-94.*
- Larramendi, A., 2016. Shoulder height, body mass, and shape of proboscideans. *Acta Palaeontologica Polonica* 61(3),537–574.
- Lescuyer, J.L., and Riou, R., 1976. Géologie de la région de Mianeh (Azerbaijan): contribution à l'étude du volcanisme tertiaire de l'Iran. *Volcanologie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble. Français*, 233 p.
- Lucas, S.G., Allen, B.D., Morgan, G.S., Myers, R.G., Love, D.W., and Bustos, D.A.V.I.D., 2007. Mammoth footprints from the upper Pleistocene of the Tularosa Basin, Doña Ana County, New Mexico. In: Lucas, S. G., Spielmann J.A., and Lockley, M.G. (eds.) *Cenozoic*

- Vertebrate Tracks and Traces, New Mexico Mus. Nat. Hist. Sci. Bul., 42, 149-154.
- McDonald, H.G., White, R.S., Lockley, M.G., and Mustoe, G.E., 2007. An indexed bibliography of Cenozoic vertebrate tracks. In: Lucas, S.G., Spielmann, J.A., Lockley, M.G. (eds.) Cenozoic Vertebrate Tracks and Traces. New Mexico Mus. Nat. Hist. Sci. Bul., 42:275-302.
- McKenna, M.C., 1975. Toward a phylogenetic classification of the Mammalia. Phylogeny of the primates: a multidisciplinary approach. In: Luckett, W.P., and Szalay, F.S. (eds.) Phylogeny of the Primates, A Multidisciplinary Approach. Springer publ., p.21-46.
- McNeil, P., Hills L.V., Tolman, M.S., and Kooyman, B., 2007. Significance of latest Pleistocene tracks, trackways, and trample grounds from southern Alberta, Canada. In: Lucas S.G., Spielmann J.A., Lockley M.G., (eds.), Cenozoic Vertebrate Tracks and Traces. New Mexico Mus. Nat. Hist. Sci. Bul., 209-223.
- Miller, Jr, D.N., and Folk, R.L., 1955. Occurrence of detrital magnetite and ilmenite in red sediments: new approach to significance of redbeds. AAPG Bul., 39(3), 338-345.
- Mizraie, A.M., Kostopoulos, D., Nakaya, G., Fortelius, M., Orak, Z., Ch, Z., Bernor, R.L., and Watabe, H., 2013. Recent advances in palaeobiological research of the late Miocene Maragheh fauna, NW Iran. In: Wang, X., Flynn, L.J. and Fortelius, M. (eds.) Fossil Mammals of Asia Neogene Biostratigraphy and Chronology, Columbia University Press, New York, p. 546-565.
- Najafi, A., and Bazargani Gilani, K., 2006. Ivory fossil from Mianeh area, Northwest Iran. J. Sci. Univ. Tehran, 32, 275-281. (In Persian).
- Nakaya, H., 1994. Faunal change of late Miocene Africa and Eurasia: Mammalian fauna from the Namurungule Formation, Samburu hills, Northern Kenya. African Study Monographs, Suppl. 20, 1-112.
- Nezamdoost, S., 2020. Paleochronology of Upper Red Formation sediments (Miocene) in the Heris-Khajeh area, Eastern Azarbaijan Province, Northwest Iran. MSc thesis, University of Zanjan. Unpublished, 49 p. (In Persian).
- NIOC (National Iranian Oil Company) 1959. Geological map of Iran, 1:2500000, National Iranian Oil Company publication, Tehran, 1959.
- Orak, Z., Ataabadi, M.M., Solgi, A., Majidifard, M.R., and Kostopoulos, D.S., 2019. First mammal fossil locality from the late Miocene of Zagros, Western Iran. Geopersia, 9 (2) 367-379. doi:10.22059/GEOPE.2019.270561.648436.
- Owen-Smith, R.N., 1988. Megaherbivores: the influence of very large body size on ecology. Cambridge university press, Cambridge, 389 p.
- Panin, N., and Avram, E., 1962. Noi urme de vertebrate in Miocenul Subcarpatilor Rominesti. Studii si Cercetari de Geologie 7, 455-484.
- Pourabrishami, Z., Zaree, G., Kokabinezhad, A.H., 2004. Study of the *Deinotherium giganteum*, Varzaghan area. 24th National Geosciences Congress, Tehran, Iran, Geological Survey of Iran publication, Tehran. (In Persian).
- Quenstedt, F.A., 1879. Petrefactenkunde Deutschlands. Korallen (Sternkorallen). Erste Abtheilung, Sechster Band, Drittes Heft, Atlas. Fues's Verlag (R. Reisland), Leipzig, pp. 337-496, 6 pl.
- Rafiei, B., Ghomi, F.A., and Shahkaram, M., 2011. Depositional environments and sequence stratigraphy of the fluvial Upper Red Formation (Miocene) in the Avaj area, Qazvin Province, Iran. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen, 259(3), 257-270. doi:10.1127/0077-7749/2010/0109.
- Rahimzadeh, F., 1994. Treatise on the geology of Iran, Oligocene, Miocene, Pliocene. Geol. Surv. Iran Publ., 12: 1-311. (In Persian).
- Remeika P., 2006. Fossil footprints of Anza-Borrego. In: Jefferson GT, Lindsay L. editors. Fossil treasures of the Anza-Borrego desert. The last seven million years. San Diego, CA: California State Parks; 311-327.
- Remeika, P., 1999. Identification, stratigraphy, and age of neogene vertebrate footprints from the vallecito-fish creek basin, anza-borrego desert state park, California. San Bernardino County Museum Association Quarterly, 46, 37-46.
- Ren, L., Miller, C.E., Lair, R., and Hutchinson, J.R., 2010. Integration of biomechanical compliance, leverage, and power in elephant limbs. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(15), 7078-7082.
- Rezaei, K., Foroghi, S., and Asadi, A., 2015. Petrography and Geochemistry of Sandstone of Upper Red Formation in Hasan-Abad area-SW Tehran. Applied Sedimentology, 3(6), 43-56. (In Persian).
- Schlesinger, G. 1917. Die Mastodonten des KK Naturhistorischen Hofmuseums: morphologisch-phylogenetische untersuchungen. Vol. 1. KK Naturhistorischen Hofmuseums.
- Shoshani, J., 1998. Understanding proboscidean evolution: a formidable task. Trends in Ecology and Evolution 13 (12) 480-487. doi:10.1016/S0169-5347(98)01491-8.
- Shoshani, J., and Tassy, P. 2005. Advances in proboscidean taxonomy and classification, anatomy and physiology, and ecology and behavior. Quaternary International, 126,5-20. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2004.04.011.
- Shoshani, J., and Tassy, P., 1996. Summary, conclusion, and glimpse into future. In: Shoshani, J., Tassy, P. (eds.) The Proboscidea: evolution and Palaeoecology of Elephants and their Relatives. Oxford University Press; Oxford, p.335-348.
- Thulborn, T., 1990. Dinosaur tracks. London: Chapman-Hall.
- Vaez-Javadi, F., and Abbassi, N., 2020. Angiosperm pollen in the Upper Red Formation, northwestern Zanjan. 40th National Geosciences Congress, Tehran, Iran, Geological Survey of Iran publication, Tehran. (In Persian).
- Western, D., Moss, C., and Georgiadis, N., 1983. Age estimation and population age structure of elephants from footprint dimensions. J.Wildl. Manag., 47(4), 1192-1197.
- Wilmsen, M., Fürsich, F.T., and Majidifard, M.R., 2022. Youngest Cretaceous dinosaur tracksite from the Middle East (Maastriichtian, Farrokhi Formation, Central Iran). Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments, 102, 437-447. doi:10.1007/s12549-021-00516-w.