https://jssr.ui.ac.ir/?lang=en
Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches
e-ISSN: 2423-8007
Vol. 43, Issue 1, No. 106, 2027, 25-46
Received: 10.05.2026 Accepted: 02.06.2026

Research Paper

Geotourism of the Deh-Molla Area (Shahrud), with emphasis on paleontology, sedimentary structures, stratigraphy, and tectonics

Ali Taheri*
Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Science, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
alitaheri@shahroodut.ac.ir

Abstract
The Dehmolla area, located west of Shahroud (Semnan Province) along the southern margin of the Eastern Alborz Mountains, is one of the most valuable geosites in Iran for the development of scientific geotourism. This is due to its continuous succession of Precambrian to Jurassic sedimentary rocks, high diversity of fossils and ichnofossils, characteristic sedimentary structures (including ripple marks, syneresis cracks, cross-stratification, and salt pseudomorphs), and remarkable structural features (unconformities, folding, and klippen). In this study, four main geological themes of the Dehmolla area have been investigated, and its geotourism potential has been evaluated based on scientific, educational, accessibility, and infrastructural criteria. The results indicate that Dehmolla, with its high density of geological phenomena within a limited area, easy accessibility (being situated along the main Tehran–Shahroud highway), and the availability of scientific accommodation at the Dehmolla mining and educational complex, has the capacity to become a regional geopark and a hub for geology education in the Middle East.
Keywords: Geotourism, Dehmolla, Shahroud, Ichnofossils, sedimentary structures

Introduction

Geotourism, as a branch of sustainable tourism, focuses on conserving and promoting geological and geomorphological features and plays a significant role in the economic development of regions with geological potential. Due to its tectonic position within the Alpine–Himalayan belt, Iran exhibits remarkable geological diversity; however, many of its geosites have not yet been adequately presented or protected.

In recent years, geotourism has played a significantly contributed to the recognition and development of various regions and has attracted numerous enthusiasts. In many areas, it has even surpassed other branches of tourism in terms of growth and expansion (Amri Kazemi 2016; Amore et al. 2020; Bernini et al. 2020; Maghsoudi et al. 2019). Geotourism is fundamentally based on the identification and interpretation of geomorphosites and geologically significant landscapes. Geosites are locations that have acquired special scientific and societal value due to growing human awareness and appreciation. These sites may have formed through endogenous or exogenous geological processes, and visitors are attracted to them because of their distinctive physical characteristics. Geosites generally possess two main categories of value: scientific value and additional values, including economic, aesthetic, environmental, historical, and cultural significance (Comănescu et al. 2012).

The Dehmolla region, located west of Shahroud along the southern margin of the Eastern Alborz Mountains, is one of the key areas for studying the Paleozoic and Mesozoic geology of Iran (Fig. 1). Due to its excellent outcrop quality, easy accessibility, available facilities, fossil diversity, unique sedimentary structures, and prominent tectonic evidence, the region possesses exceptional potential for the development of scientific and educational geotourism. The present study aims to provide a comprehensive overview of the geological characteristics of the Dehmolla region within four principal frameworks—paleontology, sedimentary structures, stratigraphy, and tectonics—and subsequently evaluate its geodiversity potential based on scientific, educational, accessibility, and infrastructural criteria.

Materials & Methods

This study is based on nearly three decades (1995–2025) of the author's field experience in the Dehmolla region and adjacent areas, including Kharbash Mountain, Dehmolla Valley, and the northern highlands of the village. During this

*Corresponding author
Taheri A. (2027). Geotourism of the Deh-Molla Area (Shahrud), with emphasis on paleontology, sedimentary structures, stratigraphy, and tectonics. Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches, 43(1): 25-46. https://doi.org/10.22108/jssr.2026.148857.1330

2423-8007 / © University of Isfahan
This is an open access article under the CC BY-NC-ND 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

https://doi.org/10.22108/jssr.2026.148857.1330

period, more than 45 field investigations were conducted. All observed sedimentary structures, fossils, ichnofossils, and tectonic features were systematically identified and documented.

Numerous scientific sources were reviewed in the course of this research. Among the most significant are the studies of Ghavidel-Syooki (2006) on palynostratigraphy and paleogeography; investigations of brachiopod paleontology and the Ordovician stratigraphy in the Eastern Alborz by Ghobadipour et al. (2011a, b); the work of Bayet-Goll et al. (2018) on the Ordovician sequence stratigraphy and ichnology in the Alborz region; Hosseini (1997) on the palynostratigraphy and paleobiogeography of the Ordovician deposits southwest of Shahroud; Vaziri-Moghaddam and Taheri (2000) on ichnofossils from Dehmolla; and Geyer (2014) on the revision of the Middle and Upper Cambrian (Furongian) lithostratigraphy in northern and central Iran. These studies were emphasized because of their direct relevance to the Dehmolla area and their provision of reliable qualitative and quantitative data.

The geotourism potential of the Dehmolla geosite was evaluated using the Kubalíková assessment method. This method emphasizes scientific and intrinsic values, educational value, economic value, conservation value, and additional cultural and aesthetic values.

Discussion of Results & Conclusions

The evaluation of the Dehmolla geosite using the Kubalíková method indicates considerable geotourism potential. In this method, the maximum possible score for scientific and intrinsic values, conservation value, and additional values is 3 points each, whereas educational and economic values are assigned a maximum of 2 points each.

Considering the abundance of ichnofossils and index fossils, the diversity of sedimentary structures, evidence of the complete Paleotethys tectonic cycle, the presence of a complete stratigraphic succession, visible fault systems, and the rarity of the simultaneous occurrence of these features within the Eastern Alborz, the Dehmolla region received a scientific and intrinsic value score of 2.75.

The ability to simultaneously teach four major geological disciplines—stratigraphy, paleontology, sedimentology, and tectonics—during a single field excursion, combined with the presence of high-quality educational outcrops and the feasibility of nationwide student fieldwork programs, resulted in an educational value score of 2.

Excellent accessibility through asphalt roads, proximity to the main Tehran–Shahroud transportation route, and strong potential for attracting domestic and international scientific tourists contributed to an economic value score of 1.5, although tourism infrastructure within the site itself remains limited.

The absence of official registration as a national natural monument, ongoing natural and anthropogenic erosion affecting fossiliferous outcrops, the risk of unauthorized sampling, and the urgent need for conservation planning resulted in a conservation value score of 0.75.

Furthermore, the presence of colorful stratigraphic outcrops, visually prominent folds, and the nearby historical Dehmolla caravanserai—which establishes a connection between geology and cultural history—provided an additional value score of 2 for aesthetic and cultural significance.

Overall, the Dehmolla region achieved a total score of 8.75 out of 13 (67.3%) in the Kubalíková model, placing it within the good-to-high potential category for geotourism development.

The Dehmolla region, located west of Shahroud, represents one of the most valuable geosites in Iran for the development of scientific and educational geotourism due to its exceptional combination of geological phenomena. The remarkable geodiversity of the area—including the coexistence of deep- and shallow-marine ichnofossils, tempestite deposits, diverse sedimentary structures, syneresis cracks, salt casts, stromatolites, trilobite, brachiopod, and ammonite fossils, together with comprehensive evidence of the Paleotethys tectonic cycle (Ordovician rifting, Devonian maximum expansion, and Late Triassic–Early Jurassic closure) within a relatively limited geographic area—makes this geosite a unique natural laboratory for geological research.

In addition, the region possesses substantial educational value for conducting field-based geology courses at various academic levels. The possibility of simultaneously teaching stratigraphy, sedimentology, paleontology, and tectonics has made Dehmolla an ideal destination for scientific geotourism. These advantages are further enhanced by suitable accessibility and support infrastructure, including asphalt roads, proximity to the main Tehran–Mashhad highway, and the availability of scientific accommodation at the Dehmolla mining and educational complex, all of which provide a strong foundation for the sustainable and targeted utilization of this geological heritage.

https://doi.org/10.22108/jssr.2026.148857.1330

پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی
سال چهل و سوم، شماره پیاپی ۱۰۶، شماره اول ۱۴۰۶، ص۲۵-۴۶
تاریخ وصول: ۱۴۰۵/۰۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۲

مقاله پژوهشی

ژئوتوریسم ناحیهٔ دهملا (شاهرود) با تأکید بر فسیل‌شناسی، ساختارهای رسوبی، چینه‌شناسی و تکتونیک

عزیزاله طاهری[*]، استاد، گروه زمین‌شناسی کاربردی، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.
alitaheri@shahroodut.ac.ir

چکیده

ناحیهٔ دهملا در غرب شهرستان شاهرود (استان سمنان) و در حاشیهٔ جنوبی رشته‌کوه البرز شرقی واقع شده است. این منطقه به‌دلیل در بر گرفتن توالی پیوسته از سنگ‌های رسوبی پرکامبرین تا ژوراسیک، تنوع بالای فسیل‌ها، ایکنوفسیل‌ها، ساختارهای رسوبی شاخص (ازجمله رخساره‌های طوفانی، توربیدایتی، ریپل مارک، چینه‌بندی متقاطع، سینارسیس و قالب‌های دروغین نمک) و شواهد برجستهٔ ساختاری (ناپیوستگی، چین‌خوردگی و کلیپ)، یکی از ارزشمندترین ژئوسایت‌های ایران برای توسعهٔ ژئوتوریسم علمی به شمار می‌رود. در این پژوهش، چهار محور اصلی زمین‌شناختی ناحیهٔ دهملا بررسی و پتانسیل‌های ژئوتوریسمی آن براساس شاخص‌های علمی، آموزشی، دسترسی و زیرساخت ارزیابی شده است. نتایج نشان می‌دهد که دهملا با دارابودن تراکم بالایی از پدیده‌های زمین‌شناختی در یک فضای محدود، دسترسی آسان (واقع در کنار جادهٔ اصلی تهران-شاهرود) و امکان اسکان علمی در معدن آموزشی دانشگاه صنعتی شاهرود، ظرفیت تبدیل‌شدن به یک ژئوپارک منطقه‌ای و قطب آموزش زمین‌شناسی را در خاورمیانه دارد.

واژگان کلیدی: ژئوتوریسم، دهملا، شاهرود، ایکنوفسیل، رخسارهٔ طوفانی، تکتونیک، پالئوتتیس

[*]نویسنده مسئول

طاهری، عزیزاله. (۱۴۰۶). ژئوتوریسم ناحیهٔ دهملا (شاهرود) با تأکید بر فسیل‌شناسی، ساختارهای رسوبی، چینه‌شناسی و تکتونیک. پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، ۴۳۰۱): ۲۵-۴۶. https://doi.org/10.22108/jssr.2026.148857.1330

2423-8007 / © University of Isfahan
This is an open access article under the CC BY-NC-ND 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

https://doi.org/10.22108/jssr.2026.148857.1330

مقدمه

ژئوتوریسم، شاخه‌ای از گردشگری پایدار است که عارضه‌های زمین‌شناختی و ژئومورفولوژیکی را محافظت و معرفی می‌کند و نقش مهمی در توسعهٔ اقتصادی مناطق مستعد دارد. ایران به‌دلیل موقعیت زمین‌ساختی خود در کمربند آلپ-هیمالیا، دارای تنوع زمین‌شناختی بالایی است؛ اما بسیاری از ژئوسایت‌های آن هنوز به‌طور مناسب معرفی و حفاظت نشده‌اند. ژئوتوریسم در طی سال‌های اخیر، نقش مهمی در معرفی و توسعهٔ مناطق داشته و علاقه‌مندان زیادی را نیز به خود جذب کرده است، حتی در بسیاری از مناطق، از دیگر رشته‌های گردشگری پیشی گرفته و رشد و توسعهٔ بیشتری داشته است (Amri Kazemi 2016, 2012; Amore et al. 2020; Bernini et al. 2020; Maghsoudi et al. 2019).

ژئوتوریسم مبتنی بر شناخت ژئومورفوسایت‌ها و مکان‌های ویژه، ژئومورفولوژیک است. ژئوسایت‌ها مکان‌هایی‌اند که امروز به‌دلیل افزایش آگاهی‌های انسان، ارزش خاصی پیدا کرده‌اند. این نواحی ممکن است تحت تأثیر عوامل درونی و یا بیرونی شکل گرفته باشند و به‌دلیل خصوصیات ظاهری که دارند، گردشگران به آن‌ها توجه می‌کنند. ژئوسایت‌ها دو ارزش مهم دارند: یکی ارزش علمی و دیگری ارزش‌افزوده که شامل ارزش اقتصادی، زیبایی، محیطی، تاریخی و فرهنگی است (Comanescu et al. 2012). در ارتباط با موضوع مطالعه‌شده، تحقیقات مختلفی در سطح ایران و جهان انجام شده است که از جملهٔ آنها به کامنسکو و همکاران (Comanescu et al. 2012, 2011) اشاره می‌شود که ژئومورفوسایت ناحیهٔ حفاظت‌شده پونورا (کشور رومانی) را مطالعه کردند. کوبالیکوا و کیرچنر (Kubalikova & Kirchner 2016) با استفاده از روش کوبالیکوا، ژئوسایت و ژئوموفوسایت‌های شرق کشور جمهور چک را ارزیابی کردند. سوزوکی و تاکاگی (Suzuki & Takagi 2018) با استفاده از روش‌های توصیفی-تحلیلی، تأثیر ارزیابی ژئوسایت‌ها را برای برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار در ژئوتوریسم بررسی کردند. گیوواگنولی (Giovagnoli 2023) با استفاده از روش‌های توصیفی-تحلیل، ژئوسایت‌های مستعد ایتالیا را شناسایی و بررسی کرده است. اسکاما و همکاران (Scammacca et al. 2024) خدمات اکوسیستم مبتنی بر ژئودایورسیتی را در گویان فرانسه کمی‌سازی کردند.

رجبی و همکاران (Rajabi et al. 2017) راهبردها و سیاست‌های توسعهٔ ژئوتوریسم را در شهرستان مشکین‌شهر تعیین کردند. زنگنه‌تبار و همکاران (Zanganehtabar et al. 2026) توان ژئوتوریستی استان کرمانشاه را ارزیابی کرده‌اند. ناحیهٔ دهملا در غرب شاهرود (شکل ۱) با قرارگیری در مرز جنوبی البرز شرقی، یک منطقهٔ کلیدی برای مطالعات زمین‌شناسی پالئوزوئیک و مزوزوئیک ایران محسوب می‌شود. این منطقه به‌دلیل رخنمون عالی لایه‌ها، دسترسی آسان، امکانات رفاهی، تنوع فسیلی، ساختارهای رسوبی منحصربه‌فرد و شواهد تکتونیکی برجسته، پتانسیل فوق‌العاده‌ای برای توسعهٔ ژئوتوریسم علمی و آموزشی دارد. هدف این پژوهش، ارائهٔ یک جمع‌بندی جامع از شواهد زمین‌شناختی ناحیهٔ دهملا در چهار محور فسیل‌شناسی، ساختارهای رسوبی، چینه‌شناسی و تکتونیک و سپس ارزیابی توان ژئودایورسیتی این منطقه براساس معیارهای علمی، آموزشی، دسترسی و زیرساخت است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر پایهٔ تجربیات نزدیک به سه دهه (۱۳۷٤ تا ۱٤۰٤) نگارنده در ناحیهٔ دهملا استوار است. در این مدت، بیش از ٤٥ نوبت بازدید صحرایی انجام شده است. کلیهٔ ساختارهای رسوبی، فسیل‌ها، ایکنوفسیل‌ها و شواهد تکتونیکی، شناسایی و برداشت شده است. منابع متعدد، مانند مطالعات (Ghavidel-Syooki 2006) در زمینهٔ پالینوستراتیگرافی و دیرینه‌جغرافی، در زمینهٔ فسیل‌شناسی براکیوپودها و چینه‌شناسی اردویسین شرق البرز، (Ghobadipour et al. 2011a, b) و (Bayet-Goll et al. 2018) در زمینهٔ سکانس چینه‌شناسی و ایکنولوژی اردویسین البرز (Hosseini 1997)، پالینواستراتیگرافی و پالئوبیوژئوگرافی رسوبات اردویسین جنوب غرب شاهرود

https://doi.org/10.22108/jssr.2026.148857.1330

(Vaziri-Moghaddam, and Taheri 2000) بررسی ایکنوفسیل‌های دهملا (Geyer 2014) ، بازنگری لیتواستراتیگرافی کامبرین میانی و بالایی در شمال و مرکز ایران، به‌دلیل ارتباط مستقیم با ناحیهٔ دهملا و ارائهٔ داده‌های کمی و کیفی استنادپذیر، بیشترین کاربرد را داشته‌اند. ژئوسایت دهملا با استفاده از روش کوبالیکوا ارزیابی شده است. روش کوبالیکوا بر ارزش‌های علمی و ذاتی، آموزشی، اقتصادی، حفاظتی و دیگر ارزش‌ها تأکید دارد (جدول ۱).

جدول ۱- معیارهای استفاده‌شده در روش کوبالیکوا (Kubalikova 2013) اقتباس از(Zanganehtabar et al. 2026)

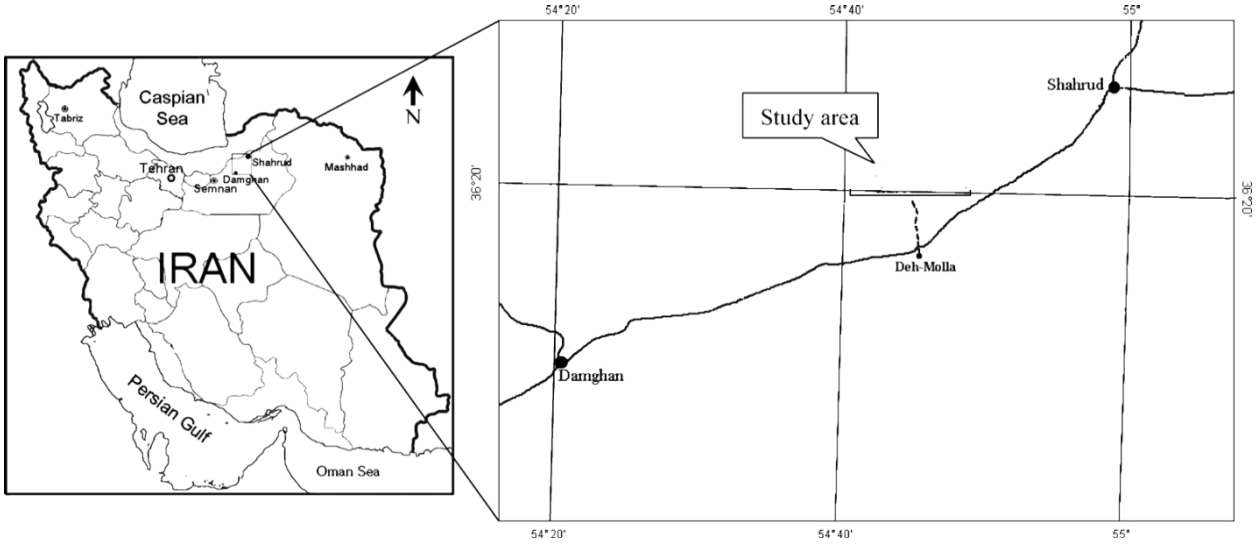
Table 1- Criteria Used in the Kubalíková Method (Kubalíková 2013) Adapted from (Zanganehtabar et al. 2026)

ارزش	شاخص‌ها	بالاترین امتیاز
ارزش‌های علمی و ذاتی	۱- نادربودن در سطح بین‌المللی، ملی، منطقه‌ای و ناحیه‌ای؛ ۲--میزان آگاهی از سایت (مقالات و...)؛ ۳- تنوع لندفرمی در مقیاس محلی و ملی.	۳
آموزشی	۱- واضح‌بودن پدیده‌ها، فهم‌پذیربودن آن برای عموم مردم و امکان توضیح فرایندهای مربوطه؛ ۲- امکانات آموزش (وب‌سایت‌ها، پانل‌های اطلاعاتی، تورهای گردشگری)؛ ۳- فاصله و کیفیت سرویس‌های توریستی (اقامتگاه‌ها، رستوران‌ها، مغازه‌ها، مراکز اطلاعاتی).	۲
اقتصادی	۱- فاصله و کیفیت سرویس‌های توریستی (اقامتگاه‌ها، رستوران‌ها، مغازه‌ها، مراکز اطلاعاتی)؛ ۲- امکانات دسترسی (سرویس‌های حمل‌ونقل عمومی، پارکینگ).	۲
حفاظتی	۱-فعالیت‌های حفاظتی (حمایت قانونی، طرح‌های پیشنهادی و انواع دیگر حفاظت)؛ ۲- خطرات و تهدیدات برای سایت (طبیعی و انسانی)؛ ۳- وضعیت فعلی سایت (میزان تخریب، اقدامات مدیریتی برای حفاظت از سایت).	۳
دیگر ارزش‌ها	۱-ارزش‌های فرهنگی (تاریخی، مذهبی و ...)؛ ۲- ارزش‌های زیست‌محیطی؛ ۳-. ارزش‌های ظاهری (زیبایی، رخساره، چشم‌اندازه و.....).	۳

موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی ناحیهٔ مطالعه‌شده

ناحیهٔ مطالعه‌شده در ۲۰کیلومتری جنوب غرب شهرستان شاهرود قرار دارد. در حال حاضر این محدوده به‌عنوان معدن آموزشی در اختیار دانشگاه شاهرود است. یک جادهٔ فرعی به طول ۸ کیلومتر، این محدوده را به جادهٔ اصلی شاهرود–دامغان متصل کرده است (شکل ۱). مختصات جغرافیایی ناحیه، ۵٤،٤۰،۳۰ طول شرقی و ۳٦،۲۰،۲۵ عرض شمالی است.

https://doi.org/10.22108/jssr.2026.148857.1330

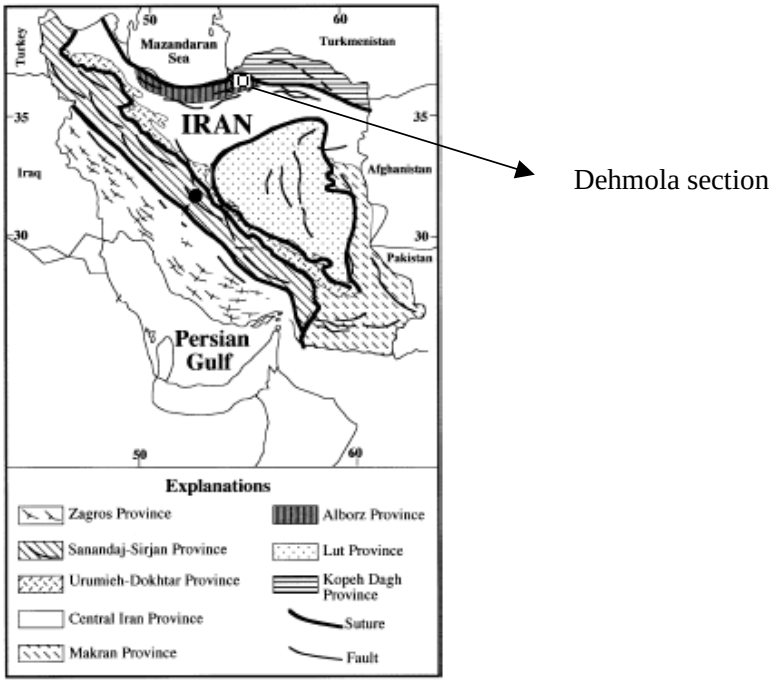


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی منطقهٔ مطالعه‌شده (Ghavidel-Syooki 2006)

Fig 1 - Geographical location and communication routes of the study area (Ghavidel-Syooki 2006)

موقعیت زمین‌شناسی و زمین‌شناسی عمومی ناحیهٔ مطالعه‌شده

ناحیهٔ مطالعه‌شده در چهارچوب تقسیم‌بندی‌های ساختمانی ایران، بخشی از زون البرز شرقی است (شکل ۲). سنگ‌های مختلف رسوبی با امتداد شرقی-غربی، سازندهای مشخصی را در ناحیهٔ دهملا ایجاد کرده‌اند.



شکل ۲- موقعیت زمین‌شناسی منطقهٔ مطالعه‌شده (اقتباس از Heydari et al. 2003)

Fig 2 - Geological location of the study area (adapted from Heydari et al. 2003)

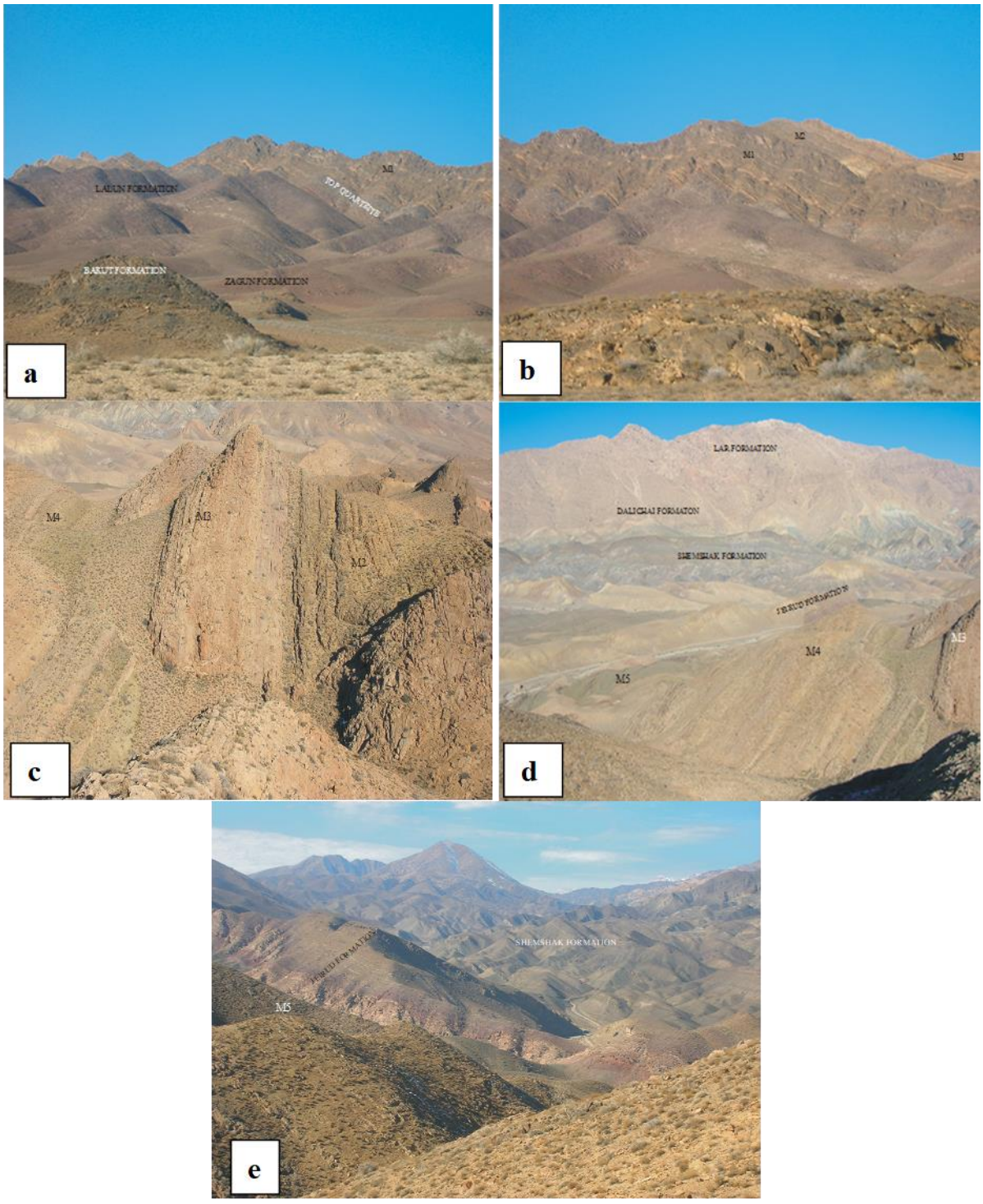
https://doi.org/10.22108/jssr.2026.148857.1330

ازنظر جاذبه‌های زمین‌شناسی، خصوصیات این منطقه به‌صورت زیر خلاصه می‌شود:

الف- چینه‌شناسی: رخنمون‌های سنگی محدودهٔ دهملا متعلق به سازندهای بایندر، سلطانیه، باروت، زاگون، لالون، میلا، لشکرک، قلی، جیرود، الیکا، شمشک، دلیچای و لار است. این واحدها ازنظر سنی، شامل محدودهٔ زمانی پرکامبرین تا ژوراسیک‌اند (Aghanabati 2004). رخدادهای زمین‌ساختی حاکم بر البرز، کمتر باعث به هم ریختگی در این سازندها شده است. رخنمون‌های سنگی در بیشتر مواقع بدون پوشش گیاهی و واریزهٔ سطحی‌اند و تشخیص جنس و سن آنها به‌راحتی انجام می‌شود (شکل ۳).

در سراسر جهان، یافتن محلی بسیار نادر است که بتوان توالی پیوسته و کاملی از سنگ‌های مربوط به دوران اول (پالئوزوئیک) و دوران دوم (مزوزوئیک) را در آن مشاهده کرد و همین ویژگی، این منطقه را به یک مرجع بی‌نظیر برای آموزش و پژوهش تبدیل کرده است؛ به‌گونه‌ای که از آن به‌عنوان «کتاب درسی زنده» یاد می‌شود. این منطقه به دانشجویان و زمین‌گردشگران امکان می‌دهد تا اصول تعیین سن نسبی را در یک توالی رسوبی دست‌نخورده، به‌صورت عینی و در مقیاسی بزرگ درک کنند. این توالی کامل، بایگانی زنده‌ای از مهم‌ترین تحولات تاریخ زمین، ازجمله تاریخچهٔ آب و هوا و تحولات زیستی است. نادربودن و جامعیت این ویژگی‌ها، این مکان را به کاندیدایی ایده‌آل برای ایجاد یک ژئوپارک تبدیل کرده است؛ زیرا علاوه بر زمین‌شناسان حرفه‌ای، آماتورها، دانش‌آموزان و حتی گردشگران عادی، که کنجکاوند «تاریخ زمین» را در یک نگاه ببینند، جذب آن می‌شوند و به این ترتیب بستری منحصربه‌فرد برای توسعهٔ ژئوپارک و اقتصاد محلی فراهم می‌آید. این ویژگی (دارابودن توالی کاملی از سنگ‌های پالئوزوئیک تا مزوزوئیک)، شاید مهم‌ترین دلیل برای اهمیت جهانی و منحصربه‌فردبودن منطقهٔ دهملا ازنظر ژئوتوریسم است؛ زیرا برخلاف نمونه‌های آموزشی و گردشگری معمولی که تنها یک یا دو دوره زمین‌شناسی را نشان می‌دهند، این منطقه یک کتابخانهٔ کامل از پرکامبرین پسین-کرتاسه را در خود جای داده است.

https://doi.org/10.22108/jssr.2026.148857.1330



شکل۳- نمایی از سازندهای مختلف ناحیهٔ دهملا: **a.** سازندهای باروت، زاگون، لالون و عضو ۱ میلا؛ **b.** عضوهای ۱ و ۲ میلا؛ **c.** عضوهای ۲، ۳ و ٤ میلا؛ **d.** عضوهای ٤ و ٥ میلا، سازندهای جیرود، شمشک، دلیچای و لار؛ **e.** عضو ٥ میلا، سازندهای جیرود و شمشک

Fig 3 - View of different formations in the Dehmolla area: a) Barut, Zagun, Lalun formations and Member 1 of Mila; b) Members 1 and 2 of Mila; c) Members2, 3 and 4 of Mila; d) Members 4 and 5 of Mila, and Jirud, Shemshak, Dalichai, and Lar formations; e) Member 5 of Mila, and Jirud and Shemshak formations.

https://doi.org/10.22108/jssr.2026.148857.1330

ب-ساخت‌های رسوبی

ساختمان‌های رسوبی از ویژگی‌هایی‌اند که برخلاف بافت‌ها در روی زمین بهتر مطالعه می‌شوند. بیشتر ساختمان‌های رسوبی با فرایندهای فیزیکی قبل و بعد از رسوب‌گذاری و یا در حین رسوب‌گذاری به وجود می‌آیند. برخی هم ازطریق فرایندهای زیستی و شیمیایی ایجاد می‌شوند. ساختمان‌های رسوبی اولیه که هم‌زمان با رسوب‌گذاری ایجاد می‌شوند، کاربردهای زیادی مانند شناسایی محیط رسوبی گذشته، عمق آب، تشخیص جهت جریان‌های گذشته و تعیین عادی یا برگشته‌بودن چینه‌ها را دارند. در ناحیهٔ دهملا انواع ساخت‌های رسوبی به‌راحتی در توالی‌های کنار جاده و به بهترین وجه ممکن رخنمون دارند. از مهم‌ترین آنها به ساخت‌های فیزیکی اولیه از قبیل ریپل مارک متقارن، ریپل مارک نامتقارن، چینه‌بندی متقاطع مسطح، چینه‌بندی متقاطع درهم یا جناغ استخوان ماهی، ترک گلی، فلوت کست (ساختمان قاشقی شکل)، دانه‌بندی تدریجی تول مارک و ساخت لایه‌بندی عدسی‌شکل ، موجی‌شکل و فلازر اشاره می‌شود (شکل ٤). از ساخت‌های رسوبی بیوژنیک که در نوع خود در سطح جهانی‌اند، به کروزیانا روزوفیکوس اشاره می‌شود.

قالب‌های دروغین (Pseudomorphs)؛ یادگار بلورها در دل سنگ

در گذشته، بلورهای نمک یا ژیپس روی سطح رسوبات نرم و مرطوب رشد کرده‌اند. درنهایت این بلورها حل شده و از بین رفته‌اند؛ اما جای خالی آنها باقی مانده و با رسوبات دیگر پر شده است. نتیجهٔ نهایی، قالبی است که شکل بلور اصلی را نشان می‌دهد؛ در حالی که جنس آن متفاوت است. قالب‌های مکعبی هالیت (نمک طعام) یکی از تشخیص‌پذیرترین شکل‌های بلوری برای گردشگران‌اند. این ساختارهای هندسی زیبا در پهنه‌های جزرومدی خلیج‌فارس، دریاچه‌های کویری و حاشیهٔ رودخانه‌ها مشاهده می‌شود. ارزش ژئوتوریستی این پدیده در آن است که فرآیند رشد بلور، انحلال و جانشینی رسوبی را در یک نگاه و به‌صورت عینی به نمایش می‌گذارد و فرصتی بی‌نظیر برای درک پویایی محیط‌های تبخیری فراهم می‌آورد.

ترک‌های زیرآبی (Syneresis Cracks)؛ مثلث‌های مرموز در کف دریاچه و دریا

برخلاف ترک‌های خشک‌شدگی معمولی (که V شکل و چندضلعی کامل‌اند)، این ترک‌ها در زیر آب تشکیل می‌شوند. وقتی املاح درون رسوب از آب دریا کمتر باشد، آب از رسوب خارج و لایهٔ سطحی منقبض می‌شود. شکل ظاهری این ساختارها به‌صورت مقطع U شکل (ته‌گرد) با الگوی سه‌وجهی ناقص است و جالب آنکه این پدیده‌ها هرگز شش‌ضلعی کامل تشکیل نمی‌دهند. محیط شکل‌گیری این ساختارها، معمولاً کف دریاچه‌ها یا دریاهای کم‌عمق با تغییرات شیمیایی آب است. ارزش ژئوتوریستی این پدیده در آن است که نشانه‌ای از فرآیند اسمز در طبیعت محسوب می‌شود و تفاوت آشکار آن با ترک‌های خشکی، فرصت بی‌نظیری را برای آموزش مفاهیم زمین‌شناسی و شیمیایی به گردشگران فراهم می‌آورد.

لایه‌بندی مورب جناغ استخوان ماهی (Herringbone Cross Bedding)

این ساختار زیبا در پهنه‌های جزرومدی تشکیل می‌شود؛ جایی که آب در دو جهت مخالف حرکت می‌کند (مد و جزر).

ویژگی بصری این ساختارها، لایه‌های موربی است که جهت شیب آنها هر بار ۱۸۰ درجه تغییر می‌کند و منظره‌ای شبیه به استخوان جناغ ماهی را پدید می‌آورد. ارزش ژئوتوریستی این پدیده، در آن است که ثبت طبیعی نوسانات جزر و مد را در لابه‌لای سنگ‌ها به نمایش می‌گذارد و با ظاهر بسیار چشم‌نواز خود، هم‌زمان تجربه‌ای آموزشی و بصری بی‌نظیر را برای گردشگران فراهم می‌آورد.

ساخت‌های فیزیکی اولیه که در زیر لایه دیده می‌شوند و به ساخت‌های کف‌لایه (sole marks) معروف‌اند، در این بخش فراوان‌اند. انواع شاخص آن فلوت کست و تول مارک‌ها هستند.

https://doi.org/10.22108/jssr.2026.148857.1330

این ساخت‌ها در زیر سنگ پنهان‌اند و مانند یک رمز و راز زمین‌شناختی،در هنگام جداشدن لایه‌ها از هم دیده می‌شوند.

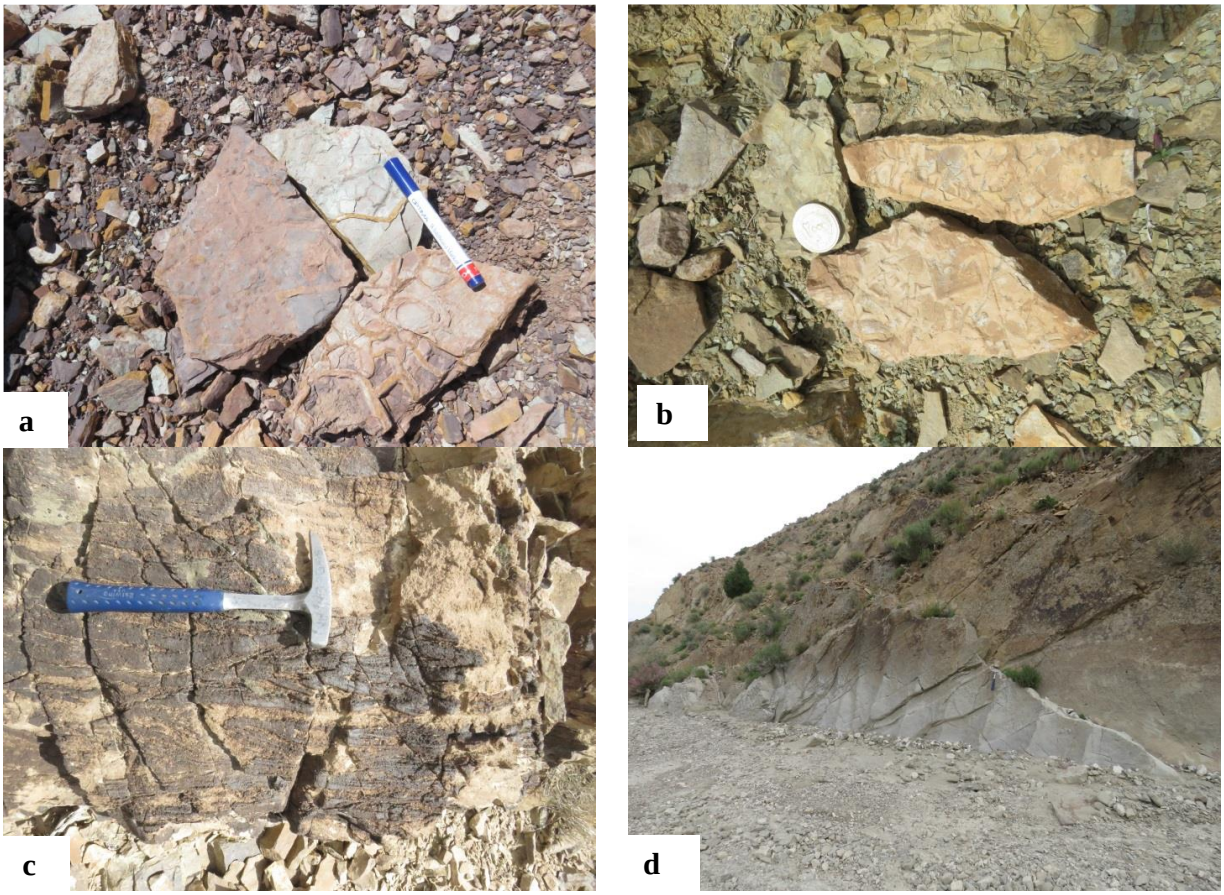
ترک گلی، یک ساخت رسوبی کلیدی

ترک‌های گلی (Mud cracks) که به نام ترک‌های خشک‌شدگی (desiccation cracks)نیز شناخته می‌شوند، جزء بارزترین و دیدنی‌ترین ساخت‌های رسوبی فیزیکی در سنگ‌های کامبرین ایران‌اند. این ساختارها زمانی تشکیل می‌شوند که رسوبات ریزدانه (گلی) در معرض هوا قرار می‌گیرند و خشک و منقبض می‌شوند و الگوهای چندضلعی مشخصی ایجاد می‌کنند این ترک‌ها. در سنگ‌های کامبرین پیشین ایران (سازندهای زاگون و لالون)، به‌دلیل سن بسیار بالای خود (بیش از ۵۰۰ میلیون سال) و حفظ‌شدگی فوق‌العاده، از ارزش ژئوتوریستی بالایی برخوردارند.

ارزش‌های ژئوتوریستی ترک‌های گلی کامبرین

ترک‌های گلی کامبرین ازنظر آموزشی برای بازسازی محیط دیرینه، ثبت نوسانات اقلیمی و تغییرات سطح آب دریا حائز اهمیت‌اند. ازنظر زیبایی‌شناختی و بصری، این ترک‌ها، الگوهای هندسی طبیعی را به شکل چندضلعی (بیشتر پنج و شش‌ضلعی) با خطوط تیره (که از رسوبات ریزدانه پر شده‌اند) روی سطح لایه‌های قرمز، سبز یا کرم سنگ ایجاد می‌کنند که ازنظر بصری بسیار جذاب و ثبت‌پذیر در عکس‌های ژئوتوریسمی‌اند. ارزش نادربودن و کهن‌سالی این پدیده در آن است که سنگ‌های کامبرین جزء قدیمی‌ترین سنگ‌های دارای فسیل و ساختارهای رسوبی آشکار در سطح زمین به شمار می‌روند و یک گردشگر در ایران، بیش از ۵۰۰ میلیون سال تاریخ زمین را با لمس یک ترک گلی در دل کوه‌های البرز یا ایران مرکزی حس می‌کند. این حس «تماس با عمق زمان»، یکی از انگیزه‌های اصلی ژئوتوریسم محسوب می‌شود. افزون بر این، ارزش تفریحی–اکتشافی این ساختارها به آن معناست که ردیابی و کشف ترک‌های گلی در مسیرهای زمینگردی، مانند یک ماجراجویی علمی است و گردشگر با گذر از لایه‌ها، سطح زیرین یک لایهٔ سنگی را جست‌وجو می‌کند که ترک‌هایش به‌صورت برجسته (cast) دیده می‌شوند و نیز تفاوت ترک‌های گلی با ترک‌های زیرآبی (Syneresis) را تشخیص می‌دهد.

https://doi.org/10.22108/jssr.2026.148857.1330



شـکل ٤- انواع سـاخت‌های رسـوبی در ناحیهٔ دهملا: a، ترک گلی در سـازندهای لالون و زاگون؛ b، قالب دروغین نمک در عضـو ۲ میلا؛ c، لایه‌بندی مورب جناغ استخوان ماهی در عضو ٤ میلا؛ d، ریپل‌مارک متقارن در عضو ٤ میلا

Fig 4 - Types of sedimentary structures in the Dehmolla area: a) Mud cracks in the Lalun and Zagun formations; b) Pseudomorph of salt crystal in Member 2 of Mila; c) Herringbone cross-bedding in Member 4 of Mila; d) Symmetrical ripple marks in Member 4 of Mila.

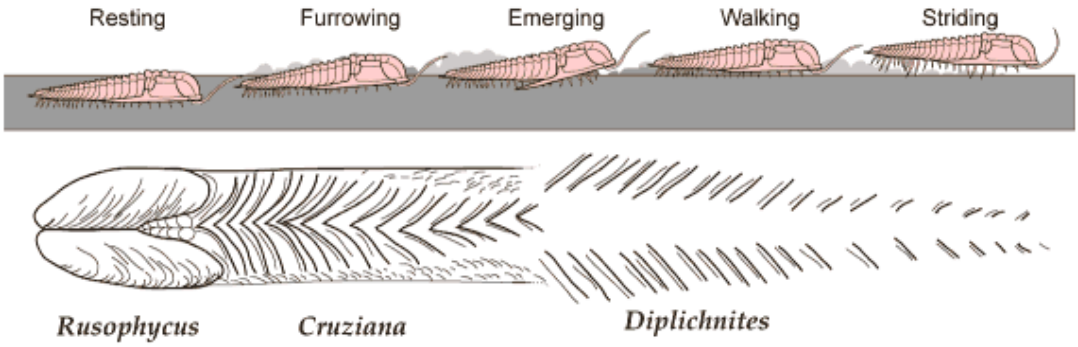
ساخت‌های زیستی (Biogenic Structures) دومین دسته از ساخت‌های اولیه در رسوبات

سـاخت‌های زیسـتی یکی از جذاب‌ترین پدیده‌هایی‌اند که بازدیدکنندگان می‌توانند از لایه‌های رسـوبی در ژئوتوریسـم مشاهده کنند. این ساختارها در نتیجهٔ فعالیت موجودات زنده در درون رسـوبات نرم پدید می‌آیند و اثر ماندگاری از حیات گذشـته را بر جای می‌گذارند، حتی اگر خودِ موجود فسـیل نشـده باشـد. به همین دلیل، در مسـیرهای زمینگردی، از این پدیده‌ها با نام آثار فسـیلی (Trace Fossils) یا ایکنوفسـیل (Ichnofossil)یاد می‌شـود و هریک از این آثار، داسـتانی از رفتار و زیسـت‌بوم‌های باسـتانی را برای علاقه‌مندان روایت می‌کند. انواع آثار زیستی مشاهده‌شدنی برای زمینگردان شامل چهار دستهٔ اصلی است: آثار استراحت که نشانه‌هایی از توقف و آرامش موجودات در بسـتر رسـوب‌اند، آثار تغذیه که در سـطح یا درون رسـوب شـکل می‌گیرند و الگوهای هندسـی زیبایی خلق می‌کنند، لانـه و پناهگـاه کـه همـان حفره‌هـا و تونل‌های زیرسـطحی و یادآور خانه‌های کهن‌اند و درنهایت آثار حرکت و فرار که شامل ردپاها و مسیرهایی می‌شود که از تلاش برای بقا حکایت دارند (شکل ۵).

آثار فسـیلی در بخش میانی و بالایی عضـو ٤میلا، از تنوع نسبتاً بالایی برخوردارند. ایکنوفسیل‌های مطالعه‌شده متعلق به ایکنورخساره کروزیانا هستند. این ایکنورخساره در رسوبات شیلی و دانه‌ریز، که مربوط به یک محیط نسبتاً کم‌انرژی است، مشـاهده می‌شـود و شـامل ایکنوجنس‌های پلانولیتس،

https://doi.org/10.22108/jssr.2026.148857.1330

رازوفیکوس و کروزیاناست. این ایکنورخساره را اولین بار Seilacher (1962) معرفی کرد که به‌صورت تیپیک در حدفاصل بین سطح اساس امواج عادی و سطح تماس امواج طوفانی در فلات قاره‌های کم‌عمق تشکیل می‌شود (Frey and Seilacher 1980). در بخش‌های بالایی عضو ٤ میلا با افزایش لایه‌های ماسه‌سنگی، که مربوط به محیط نسبتاً پرانرژی است، ایکنو جنس اسکولایتوس می‌شوند. این آثار ناشی از فعالیت موجودات صافی‌خوار است که در عمق رسوبات نفوذ می‌کنند. همراه با این ایکنوفسیل‌ها، ساختمان‌های رسوبی فیزیکی مانند لایه‌بندی متقاطع و لامینه‌های موازی تا نیمه‌موازی دیده می‌شوند (شکل ۸).



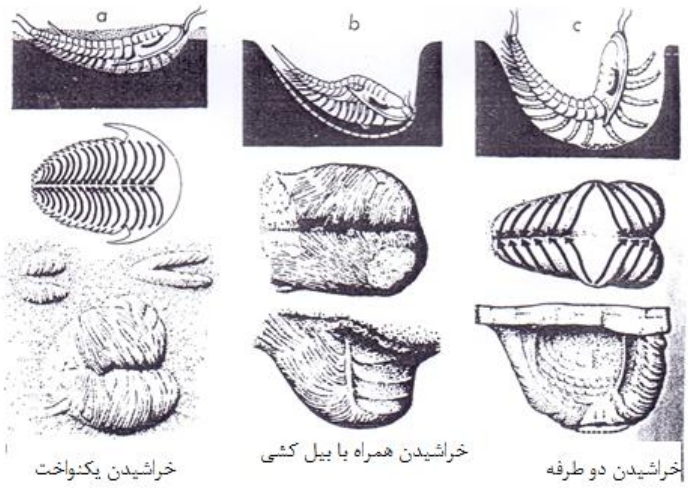
شکل ۵- انواع ایکنوفسیل‌های ایجادشده با تریلوبیت‌ها

Fig 5 - Types of ichnofossils produced by trilobites

در ایجاد رازوفیکوس موجود، سه‌لوبی در بستر نرم می‌ایستد، حرکت افقی ندارد و با استفاده از endopoditeها، حرکات عمودی مکرر انجام می‌دهد که زاویهٔ این حرکات از جلو به عقب کاهش می‌یابد. وضعیت کلی بدن، دم پایین یا سر پایین، شکل نهایی گودال را تعیین می‌کند. پلورا و دیگر زوائد نیز، حاشیهٔ گودال را ایجاد می‌کنند. حاصل کار یک گودال بیضی با خراش‌های عرضی نامتقارن (به‌دلیل گرادیان زاویه) است که همان رازوفیکوس نامیده می‌شود (شکل ٦). در تشکیل کروزیانا، جانور با استفاده از پای درون‌پا، اندوپودیت (endopodite)، رسوبات بستر نرم را شخم می‌زند و یک رد دو لوبی با خراش‌های عرضی موازی ایجاد می‌کند. پلورا، اگزوپودیت (exopodite) و کوکسا (coxae) در پایداری حرکت، تکمیل شیارها و گاهی ایجاد خطوط فرعی کمک می‌کنند. شرایط حفظ‌شدگی به نوع رسوب، سرعت تدفین و جریان آب بستگی دارد (شکل ۷).

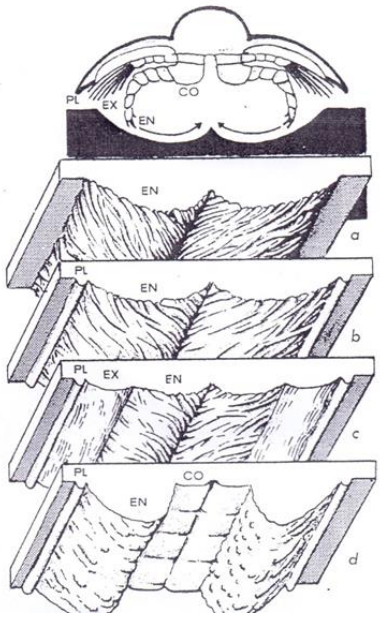
مجموعه ایکنوفسیل‌های Paleodictyon ichnosp., Helmintopsis ichnosp., Neonerites uniserialis, Phycodes Paleodictyon ichnosp., Spirophycus ichnosp. palmatum تشخیص داده شده در عضو ۵ میلا متعلق به رخسارهٔ نرئیتس‌اند. این رخساره را اولین بار (Seilacher 1964, 1962) تعریف کرده و شاخص محیط‌های عمیق دریا و ناشی از جریان‌های آشفته است. در اردویسین میانی–پسین‌ساز و کار گسل‌های نرمال و شروع فازهای کششی، سبب پرشیب‌شدن انتهای پلاتفرم شده است (Lasemi 2000). هم‌زمان با این حرکات، پایین‌آمدن سطح جهانی آب دریا سبب خروج پلتفرم از آب و تخریب سنگ‌های قدیمی‌تر شده است. رسوبات فرسایش‌یافته با جریان‌های آشفته به بخش‌های عمیق دریا منتقل شده و تشکیل توالی اردویسین را داده‌اند. ساختمان‌های رسوبی از قبیل دانه‌بندی تدریجی، قالب‌های قاشقی‌شکل، قالب‌های شیاری، چرخه‌های ناقص و کامل بوما و ایکنوفاسیس نرئیتس، تأییدی بر این امرند (شکل ۹).

https://doi.org/10.22108/jssr.2026.148857.1330



شکل ٦- نحوهٔ تشکیل رازوفیکوس در سنگ‌های کامبرین بالایی دهملا

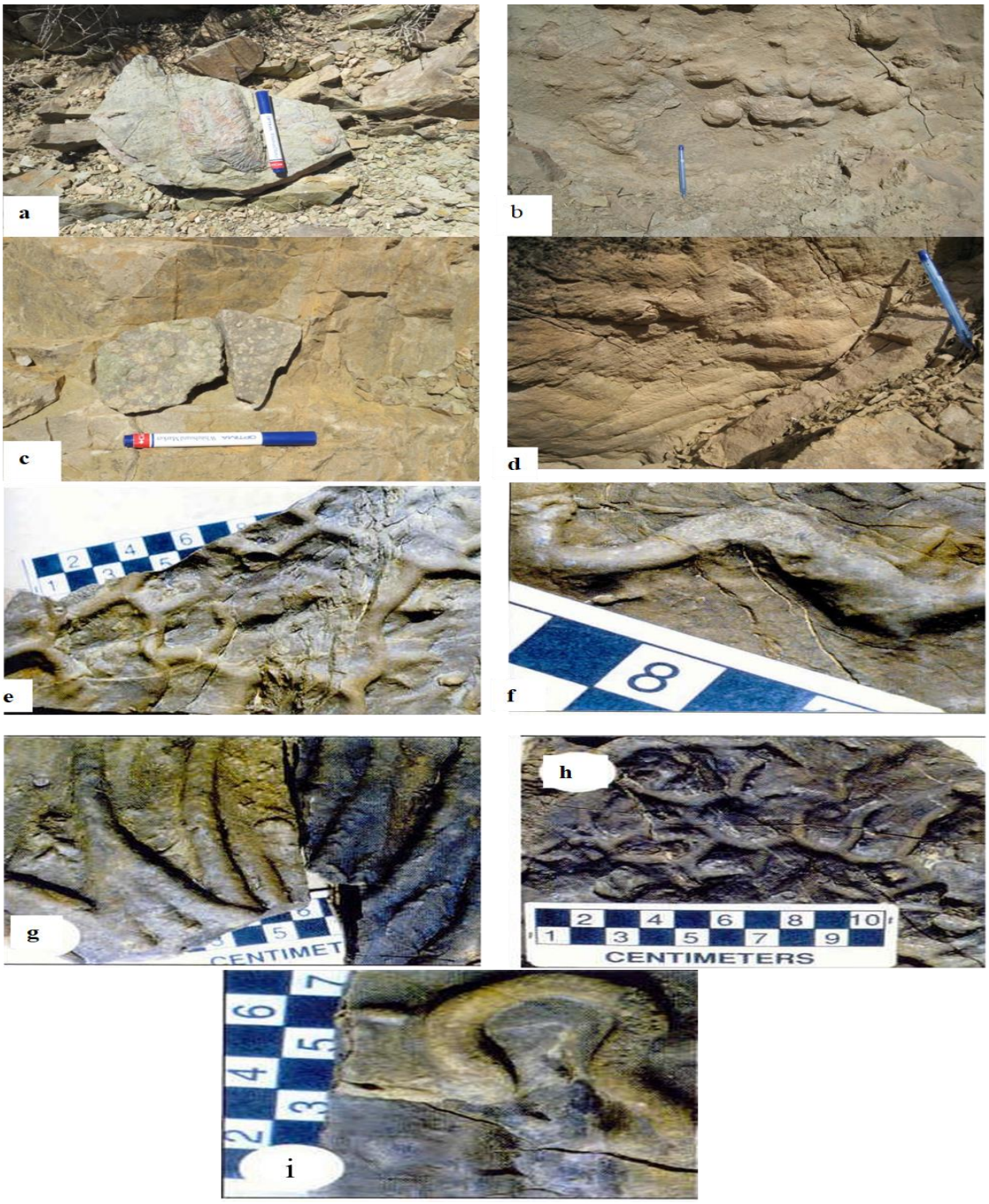
Fig 6 – Formation of Rusophycus in the Upper Camberian rocks of Dehmolla



شکل۷- نحوهٔ تشکیل کروزیانا در سنگ‌های کامبرین بالایی دهملا Endopodite – EN، Pleura – PL، Exopodite – EX، Coxa – CO EN بیشتر حفاری را انجام می‌دادند؛ اما (PL)، (EX) و کوکساها (CO) ممکن است در بسیاری موارد کمک کرده باشند.

Fig 7 – Formation of *Cruziana* in the Upper Camberian of Dehmolla. Endopodite – EN, Pleura – PL, Exopodite – EX, Coxa – CO, EN did most of the digging, but (PL), (EX), and coxae (CO) may have assisted in many cases.

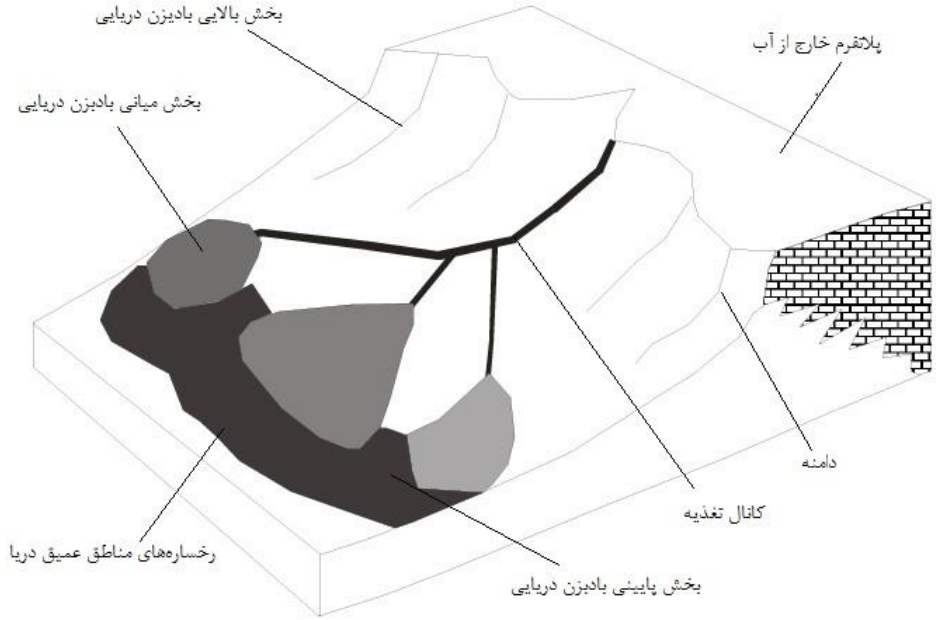
https://doi.org/10.22108/jssr.2026.148857.1330



شـکل۸- انواع ایکنوفسـیل در منطقهٔ دهملا: a، ایکنوفسـیل کروزیانا در عضـو ٤ میلا؛ b، ایکنوفسـیل رازوفیکوس در عضـو ٤ میلا؛ c، ایکنوفسـیل اسـکولایتوس در عضـو ٤ میلا؛ d، ایکنوفسـیل کروزیانا در عضـو ٤ میلا؛ e، ایکنو فسـیل پالئودیکتیون در عضـو ٥ میلا؛ f ایکنوفسـیل هلمینتوپسـیس در عضـو ٥ میلا؛ g، ایکنوفسـیل فیکودس در عضـو ٥ میلا؛ h، ایکنو فسـیل پالئودیکتیون در عضـو ٥ میلا؛ i، ایکنوفسیل اسپیروفیکوس در عضو ٥ میلا

Fig 8 - Types of ichnofossils in the Dehmolla area: a) *Cruziana* in Member 4 of Mila; b) *Rusophycus* in Member 4 of Mila; c) *Skolithos* in Member 4 of Mila; d) *Cruziana* in Member 4 of Mila; e) Ichnofossil *Paleodictyon* in Member 5 of Mila; f) l *Helminthopsis* in Member 5 of Mila; g) l *Phycodes* in Member 5 of Mila; h) *Paleodictyon* in Member 5 of Mila; i) *Spirophycus* in Member 5 of Mila.

https://doi.org/10.22108/jssr.2026.148857.1330



شکل ۹- محیط رسوبی توالی اردویسین در ناحیهٔ دهملا

Fig 9 - Sedimentary environment of the Ordovician sequence in the Dehmolla area

ب- رخساره‌ها و محیط رسوبی

با توجه به پیوستگی توالی‌های چینه‌ای در ناحیهٔ دهملا، تعبیر و تفسیر رخساره‌ها و محیط رسوبی به‌سادگی امکان‌پذیر است. ازجمله رخساره‌های مهم این محدوده، به رخسارهٔ استروماتولیتی سازند سلطانیه، باروت و بخش یک میلا، رخساره‌های طوفانی عضو ۲ و ٤ سازند میلا و رخساره‌های توربیدایتی توالی اردویسین اشاره می‌شود.

رخسارهٔ طوفانی

عضو ٤ میلا، به‌دلیل دارابودن لایه‌های ضخیم و مشخص از رخساره‌های طوفانی (آهک اینتراکلاستی) یا کنگلومرای پبل مسطح(conglomerates Flat-pebble)، از ارزش ژئوتوریستی بالایی برخوردار است. این ویژگی‌ها، بخش ٤ سازند میلا را به یک آزمایشگاه طبیعی عالی برای آموزش مفاهیم رسوب‌شناسی و زمین‌شناسی تاریخی تبدیل کرده است (شکل ۱۰).

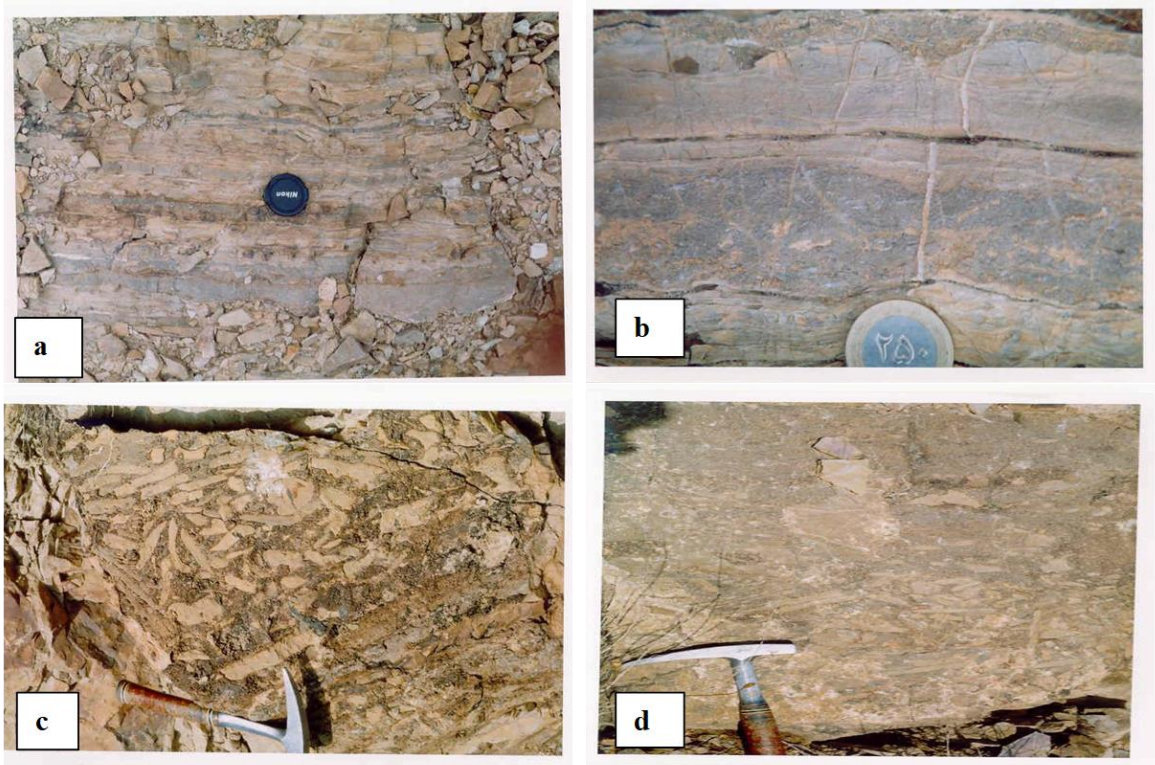
ارزش ویژهٔ رخسارهٔ طوفانی برای ژئوتوریسم در ایران

اهمیت این رخساره برای ژئوتوریسم ایران در این است که ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود را به‌صورت در دسترس و مشاهده‌پذیر برای بازدیدکنندگان ارائه می‌دهد. این مکان جایی است که مفاهیم فرضی کلاس‌های درس به‌صورت عینی دیده می‌شوند و بازدیدکنندگان پدیده‌هایی نظیر کف فرسایشی (Erosive Base)و آرایش قطعات را به‌طور مستقیم مشاهده و لمس می‌کنند. درک زمان زمین‌شناسی نیز، یکی دیگر از ارزش‌های این منطقه است؛ به‌طوری که هر لایهٔ ضخیم در اینجا، داستان یک طوفان باستانی را روایت و به زمین‌گردشگران کمک می‌کند تا مفهوم «رویدادهای لحظه‌ای در مقابل زمان عمیق زمین‌شناسی» را به‌صورت محسوس درک کنند. افزون بر جنبهٔ علمی، ارزش‌افزودهٔ گردشگری ازنظر زیبایی‌شناسی و نادربودن نیز در این منطقه دیده می‌شود و چشم‌اندازهای منحصربه‌فردی شامل آرایش‌های موجی و بافت‌های خاص این سنگ‌ها، الگوهای تزئینی طبیعی را در دل کوهستان ایجاد می‌کند که برای چشم زیبا و برای دوربین عکاسی جذاب است. نادربودن نسبی این منطقه نیز شایان توجه است؛ زیرا در سطح ایران، برش‌هایی با این کیفیت از رخساره‌های طوفانی (تمپستایت) با این ضخامت و

https://doi.org/10.22108/jssr.2026.148857.1330

حفظ‌شـــدگی، کمیاب‌اند و این کمیابی به خودی خود یک ارزش به حساب می‌آید. مجموعهٔ این ویژگی‌ها باعث می‌شود که مکان مذکور تنها یک تفرجگاه نباشـــد و یک «موزهٔ زمین‌شـناسـی زنده» محسـوب شـود که پتانسـیل بالایی برای جذب توریسم تخصصی و آموزشی دارد

.



شکل ۱۰-a: رخساره‌های طوفانی بخش دور فلات قاره با لایه‌های پکستونی در بین لامینه‌های مسطح از مادستون؛ b: سـطح فرسـایشـی بین لایه‌های طوفانی بخش دور فلات قاره و لایه‌های مادسـتونی؛ c: کنگلومرای درون‌سـازندی با قطعات بزرگ اینتراکلست. نبود شواهد تغییر شکل پلاستیکی در اینتراکلست‌ها نشانگر سیمانی‌شدن آنها قبل از جابه‌جایی فیزیکی است؛ d: کنگلومرای درون‌سازندی با دانه‌بندی تدریجی

Fig 10 - a: Storm facies of the distal continental shelf with packstone layers between flat mudstone laminae. b: Erosional surface between storm layers of the distal continental shelf and mudstone layers. c: Intraformational conglomerate with large intraclast fragments. The absence of evidence of plastic deformation in the intraclasts indicates their cementation prior to physical transport. d: Intraformational conglomerate with graded bedding.

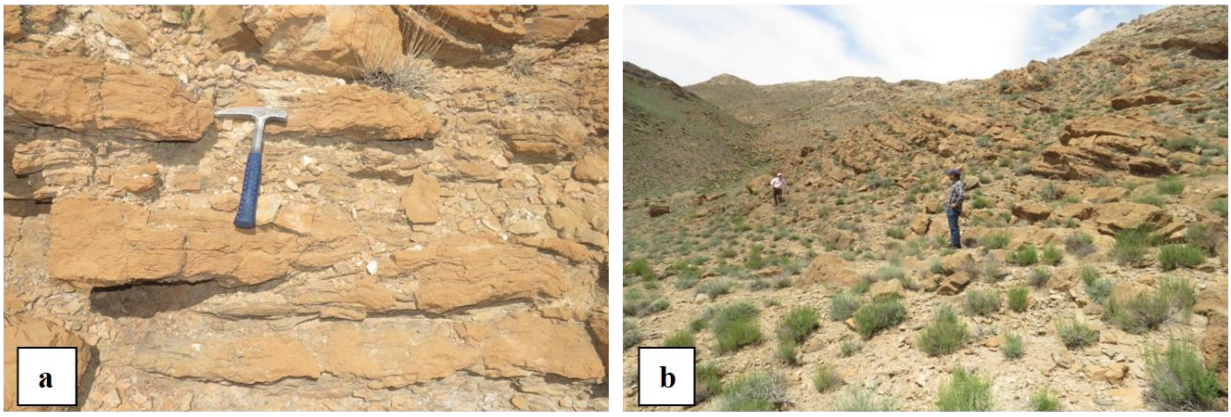
استروماتولیت

پوشش‌های میکروبی، مهم‌ترین رخساره‌های سنگی موجود در پهنه‌های جزر و مدی‌اند. تأثیر تغییر شـرایط محیط رسـوبی در پهنه‌های جزر و مدی، موجب ایجاد تغییرات زیادی در تنوع و مورفولوژی پوشـش‌های میکروبی می‌شـود (Logan et al. 1964; Altermann 2007).

پوشـــش‌هـای میکروبی بـا تنوع مورفولوژیکی بـالا در سـازندهای سـلطانیه، باروت و عضـو ۱ و 2 سـازند میلا به‌فراوانی دیده می‌شـوند. پوشـش‌های میکروبی، سـاخت‌های صـفحه‌ای چندلایه‌ی خاص سـیانوباکتری‌های اندولیتی در نظر گرفته می‌شـوند (Altermann 2007). سـیانوباکتری‌ها با وجود رشـته‌های ژلاتینی متنوع، ازلحاظ سـاختار و فرم موجی، باعث ایجاد اجتماع ویژه‌ای از میکروارگانیرم‌ها در بسـترهای رسـوبی مسـتعد ازلحاظ شـرایط فیزیکی و شـیمیایی برای رشـد این

https://doi.org/10.22108/jssr.2026.148857.1330

جانداران می‌شود (Hofman 2000; Harwood 2011). اجتماع سیانوباکتری‌ها همراه با حالت رشته‌ای آنها، موجب تشکیل پوشش با ساخت و مورفولوژی خاصی می‌شود؛ درنتیجه، چسبندگی اجتماع سیانوباکتری‌ها در سطح بستر رسوبی، به تله انداختن و محصورشدن ذرات در این سطح، موجب ایجاد رسوب لامینه‌ای می‌شود که شناخته‌شده‌ترین رسوبات لامینه‌ای خاص این فرایند، استروماتولیت‌ها هستند (شکل ۱۱). استروماتولیت‌ها تنها سنگ‌های لایه‌ای زیبا نیستند، بلکه آنها یکی از ارزشمندترین گنجینه‌های زمین‌شناسی‌اند و اهمیت فوق‌العاده‌ای در ژئوتوریسم دارند. این اهمیت از جنبهٔ پنجره‌ای به‌سوی آغاز حیات بررسی می‌شود؛ زیرا استروماتولیت‌ها قدیمی‌ترین ساختار فسیلی شناخته‌شده روی زمین‌اند و داستان پیدایش حیات را روایت می‌کنند. این ساختارها با توده‌های میکروبی (عمدتاً سیانوباکتری‌ها یا جلبک‌های سبز-آبی) ساخته شده‌اند که اولین موجودات زنده روی کرهٔ زمین بودند. این میکروب‌ها با انجام فتوسنتز، دی‌اکسید کربن، جو اولیه را جذب و اکسیژن آزاد می‌کردند؛ فرآیندی که به‌تدریج جو زمین را برای حیات پیچیده‌تر سکونت‌پذیر کرد. احتمالاً حیات انسان‌ها و دیگر موجودات بدون استروماتولیت‌ها شکل نمی‌گرفت. مشاهدهٔ این آثار قدیمه برای گردشگران، تجربهٔ بی‌نظیری از «سفر در زمان» و درک تحول عظیم تاریخ زمین را فراهم می‌آورد. بسیاری از سایت‌های دارای استروماتولیت به‌دلیل اهمیت استثنایی، در فهرست میراث جهانی یونسکو ثبت شده‌اند و بازدید از این سایت‌ها، مفاهیمی مانند تکامل، دیرینه‌شناسی و تغییرات آب و هوایی را در طول تاریخ زمین به زبانی ساده و ملموس برای عموم مردم توضیح می‌دهد. در عضو ۲میلا، استروماتولیت‌ها به‌صورت سیکل‌های پری‌تایدال نمود یافته و منعکس‌کنندهٔ نوسانات دورهٔ آب در محیط رسوبی قدیمی‌اند (شکل ۱۱).



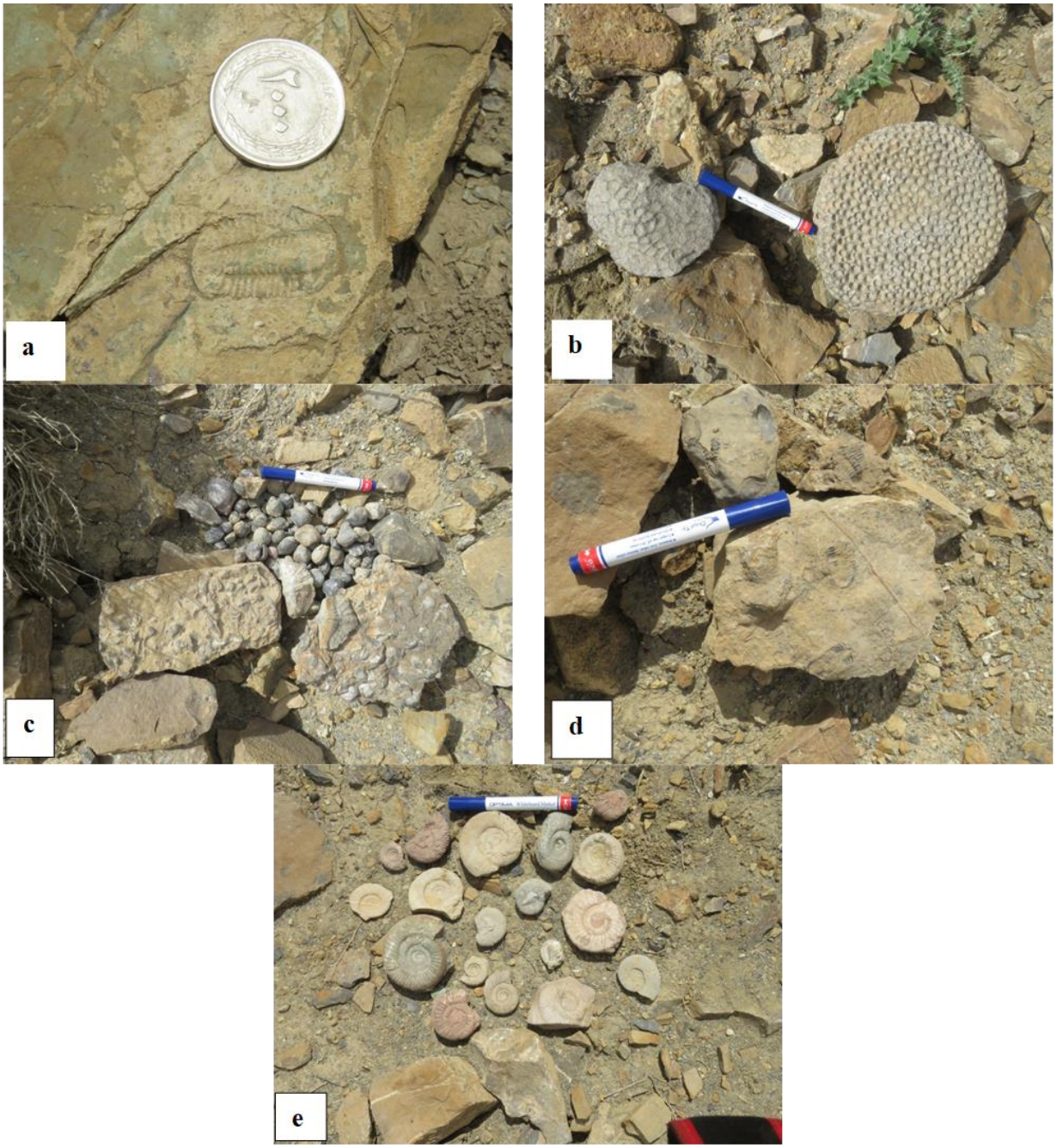
شکل ۱۱- استروماتولیت در عضو ۱ میلا و سیکل‌های پری‌نایدال در عضو ۲ میلا

Fig 11 - Stromatolite in Member 1 of Mila and peritidal cycles in Member 2 of Mila

جایگاه فسیل در ژئوتوریسم

فسیل‌ها یکی از مهم‌ترین جاذبه‌های ژئوتوریسم‌اند که نقش کلیدی در سه حوزهٔ علمی-آموزشی، بصری-زیبایی‌شناختی، ارزش اقتصادی-گردشگری دارند. در حوزهٔ علمی-آموزشی و در بازسازی محیط‌های دیرینه (دریا، مرداب، خشکی)، تعیین سن نسبی لایه‌های سنگی اثبات نظریهٔ فرگشت و تغییرات آب و هوای زمین حائز اهمیت‌اند (شکل ۱۲). نقش و نگارهای طبیعی فسیل‌ها روی سنگ، تنوع شکل و رنگ در فسیل‌های مختلف (آمونیت، تریلوبیت، برگ‌ها) ازنظر بصری و زیبایی و ایجاد چشم‌اندازهای علمی منحصربه‌فرد مهم‌اند و ازنظر اقتصادی-گردشگری، سبب جذب گردشگران علمی (دیرینه‌شناسان آماتور و حرفه‌ای)، ایجاد اشتغال ازطریق راهنمایان تخصصی ژئوتوریسم و توسعهٔ ژئوپارک‌ها و موزه‌های طبیعی می‌شوند.

https://doi.org/10.22108/jssr.2026.148857.1330



شکل ۱۲- انواع فسیل‌ها در منطقهٔ دهملا: a، تریلوبیت در عضو ٤ میلا؛ b، فسیل مرجان در سازند جیرود؛ c، فسیل براکیوپد در سازند جیرود؛ d، فسیل تریلوبیت در سازند جیرود؛ e، فسیل آمونیت در سازند دلیچای

Fig 12 - Types of fossils in the Dehmolla area: a) Trilobite in Member 4 of Mila; b) Coral fossil in the Jirud Formation; c) Brachiopod fossil in the Jirud Formation; d) Trilobite fossil in the Jirud Formation; e) Ammonite fossil in the Dalichai Formation.

ارزش منطقهٔ دارای فسیل براکیوپد، تریلوبیت، آمونیت و گیاهی در ژئوتوریسم

منطقهٔ دهملا با داشتن چهار گروه فسیلی مجزا (جانوران دریایی + بندپایان + گیاهان)، یک مقصد کامل ژئوتوریسم محسوب می‌شود. این تنوع، امکان بازسازی یک اکوسیستم کامل باستانی (از کف دریا تا خشکی) را برای

https://doi.org/10.22108/jssr.2026.148857.1330

گردشگران فراهم می‌کند و ازنظر آموزشی، بصری و علمی، جزء ژئوسایت‌های با ارزش بالا طبقه‌بندی می‌شود؛ زیرا در بر گیرندهٔ چهار گروه اصلی فسیل است که هرکدام داستان جداگانه‌ای از تاریخ زمین را روایت می‌کنند.

تکتونیک

ازنظر تکتونیکی، در اردویسین (عضو ۵ سازند میلا)، فرایند کشش پوسته‌ای رخ داده است؛ سپس در دونین میانی؟-بالایی، سازند جیرود بر حاشیهٔ قاره‌ای اقیانوس پالئوتتیس تشکیل شده است. این اقیانوس در تریاس میانی بسته و در پی آن، سازند شمشک به‌عنوان یک رخسارهٔ مولاس در یک حوضهٔ پیش‌بوم (فورلند) نهشته شد. به عبارت دیگر، سکانس‌های رسوبی اردویسین تا سیلورین نمایانگر رخساره‌های هم‌زمان با پیدایش کافت پالئوتتیس و رخساره‌های دونین میانی تا تریاس میانی در حوضهٔ البرز حاکی از تشکیل آنها در حاشیهٔ واگرای اقیانوس پالئوتتیس است (Lasemi 2000). نظم و ترتیب توالی‌ها در ناحیهٔ دهملا به‌گونه‌ای است که به‌راحتی تغییر و تحولات تکتونیکی حوضهٔ البرز را براساس سکانس‌ها و رخساره‌های رسوبی تعبیر و تفسیر می‌کند.

ج- زمین‌شناسی ساختمانی

ناحیهٔ دهملا تحت تأثیر تنش‌های فشاری البرز قرار دارد و دارای ساختارهای متنوعی ازجمله چین‌ها، گسل‌ها و ناپیوستگی‌هاست (Radfar and Rahimi 2019).

سطح تماس گسله، عضو ۳ و ٤ میلا، جیرود و شمشک

سطح تماس گسله بین عضو ٤ و ۳ میلا، جیرود و شمشک در منطقهٔ دهملا، یک مرز زمین‌شناختی آشکار و خطی و ارزشی استثنایی برای ژئوتوریسم دارد (شکل ۱۰). این سطوح گسله به بازدیدکنندگان امکان می‌دهد تا مفهوم «صفحهٔ گسله»، «جابه‌جایی توده‌های سنگی» و مرز بین دو واحد رسوبی با سنین بسیار متفاوت را به‌صورت عینی درک کنند. با توجه به اینکه گسل بین جیرود و شمشک در بستر کامل توالی پالئوزوئیک-مزوزوئیک دهملا قرار گرفته است، معرف تنش‌های زمین‌ساختی گذشته است و یک «کلاس درس باز» برای آموزش چینه‌شناسی و زمین‌ساخت به دانشجویان و زمین‌گردشگران محسوب می‌شود. همچنین دسترسی آسان، جذابیت بصری خطوارهٔ گسله و امکان عکاسی علمی از آن، این مکان را به ایستگاهی ایده‌آل برای مسیرهای طبیعت‌گردی علمی تبدیل کرده است. درنهایت، ثبت و معرفی این سطح تماس گسله در چارچوب ژئوپارک پیشنهادی دهملا، به جذب گردشگر علمی، افزایش ماندگاری آنها در منطقه و توسعهٔ اقتصاد محلی کمک شایانی می‌کند.

کلیپ (بازماندهٔ تکتونیکی) تکتونیکی عضوهای میلا و جیرود-شمشک

یکی از مهم‌ترین پدیده‌های تکتونیکی منطقه، قرارگیری عضوهای میلا و سازند جیرود (قدیمی‌تر) بر سازند شمشک (جوان‌تر) در اثر رورلندگی است که به‌صورت یک کلیپ تکتونیکی مشاهده می‌شود (شکل ۱۳).

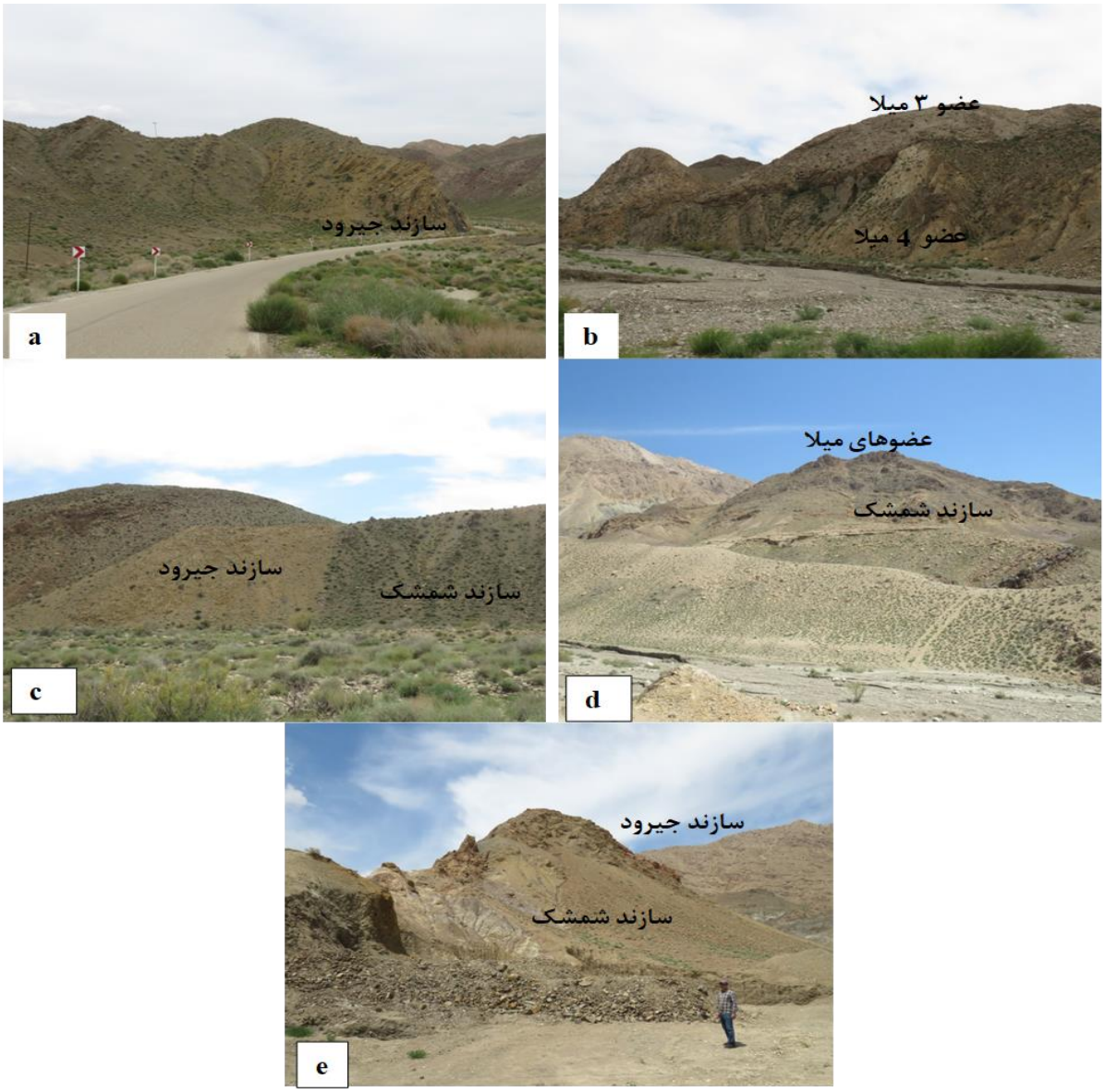
اهمیت ژئوتوریسمی کلیپ تکتونیکی جیرود بر شمشک در ناحیهٔ دهملا

کلیپ تکتونیکی زمانی شکل می‌گیرد که در اثر رورلندگی واحدهای سنگی قدیمی‌تر بر واحدهای جوان‌تر قرار بگیرند و بخشی از آنها به‌صورت جداافتاده باقی بماند. سازند جیرود (قدیمی‌تر) در دهملا، بر سازند شمشک (جوان‌تر) قرار دارد و یک وارونگی سنی واضح را نشان می‌دهد. این کلیپ نتیجهٔ تنش‌های فشاری البرز مرتبط با فازهای کوهزایی (به‌ویژه آلپی) و نشان‌دهندهٔ جابه‌جایی‌های بزرگ پوسته‌ای است.

وجود این ساختار نشان می‌دهد که منطقه تحت تأثیر رژیم فشاری شدید بوده رورلندگی‌ها، نقش کلیدی در شکل‌گیری ساختارها داشته‌اند؛ پس دهملا فقط یک منطقهٔ رسوبی نیست و یک آرشیو کامل از تکتونیک فعال هم هست. این کلیپ به‌عنوان یک ایستگاه آموزشی برای توضیح رورلندگی، تشکیل رشته‌کوه‌ها و فعال و پویابودن زمین به کار می‌رود. کلیپ‌های تکتونیکی در همه‌جا به این وضوح دیده نمی‌شوند و در بیشتر مواقع یا تخریب شده‌اند یا تشخیصشان سخت است؛ اما در دهملا نسبتاً واضح، در دسترس و آموزش‌دادنی است. این امر

https://doi.org/10.22108/jssr.2026.148857.1330

معرف یک ژئوسایت بالقوهٔ سطح بالاست. وجود چنین پدیده‌ای، ارزش علمی منطقه را بالا می‌برد. تنوع ژئوسایت‌ها را افزایش می‌دهد و امکان طراحی مسیرهای ژئوتوریستی را فراهم می‌کند. چنین ساختاری اگر بدون حفاظت رها و یا به محل برداشت سنگ تبدیل شود، به‌راحتی تخریب می‌شود .ژئوتوریسم ارزش آن را برجسته می‌کند، باعث نصب تابلوهای آموزشی می‌شود و درنهایت به حفاظت کمک می‌کند.



شکل ۱۳- سطح تماس گسله بین واحدهای مختلف سنگی: a، گسل بین سازند جیرود و سازند شمشک؛ b، گسل بین عضو ۳ و عضو ٤ میلا؛ d، گسل بین سازند جیرود و سازند شمشک؛ e، کلیپ بین عضوهای میلا در بالا و سازند شمشک در پایین؛، f، کلیپ بین سازند جیرود در بالا و سازند شمشک در پایین

Fig 13– Fault contact between different rock units: a) Fault between the Jiroud Formation and the Shemshak Formation; b) Fault between Member 3 and Member 4 of the Mila Formation; d) Fault between the Jiroud Formation and the Shemshak Formation; e) Contact between the Mila members above and the Shemshak Formation below; f) Contact between the Jiroud Formation above and the Shemshak Formation below.

https://doi.org/10.22108/jssr.2026.148857.1330

د- ژئومرفولوژی: ازنظر خصوصیات ریخت‌شناسی نیز، این محدوده جالب و در عین حال ساده است. پدیده‌هایی مثل فرسایش انتخابی، ریزش‌ها، دامنه‌های نامتقارن، چشمه و.. در این منطقه مشاهده و تفسیر می‌شود.

ارزیابی ژئوسایت دهملا با استفاده از روش کوبالیکوا (Kubalikova 2013) انجام شده است. روش کوبالیکوا بر ارزش‌های علمی و ذاتی، آموزشی، اقتصادی، حفاظتی و دیگر ارزش‌ها تأکید دارد. مجموع امتیاز ارزش‌های علمی و ذاتی، حفاظتی و دیگر ارزش‌های ۳ امتیاز و همچنین مجموع امتیاز ارزش‌های آموزشی و اقتصادی ۲ امتیاز است. با توجه به وجود ایکنوفسیل‌ها و فسیل‌های شاخص، تنوع ساختارهای رسوبی، شواهد چرخهٔ کامل پالئوتتیس، توالی چینه‌شناسی کامل، گسل‌های موجود در منطقه و نادربودن ترکیب هم‌زمان این پدیده‌ها در البرز شرقی، امتیاز ارزش علمی و ذاتی منطقهٔ دهملا ۲.۷۵ است. امتیاز ارزش آموزشی قابلیت آموزش هم‌زمان ٤ درس تخصصی زمین‌شناسی (چینه‌شناسی، فسیل‌شناسی، رسوب‌شناسی، تکتونیک) در یک بازدید صحرایی، وجود رخنمون‌های آموزشی با کیفیت عالی و امکان برگزاری عملیات صحرایی برای دانشجویان سراسر کشور ۲ و امتیاز ارزش اقتصادی دسترسی عالی (جادهٔ آسفالت، مجاورت جادهٔ اصلی تهران- شاهرود)، پتانسیل بالای جذب گردشگر علمی داخلی و خارجی، امکان اسکان و کمبود زیرساخت‌های گردشگری در خود منطقه ۱.۵ است. همچنین امتیاز ارزش حفاظتی ثبت‌نداشتن رسمی به‌عنوان اثر طبیعی ملی، فرسایش طبیعی و انسانی رخنمون‌های فسیلی، خطر برداشت غیرمجاز نمونه‌ها و نیاز مبرم به برنامهٔ حفاظتی فوری آن ۰.۷۵ است. امتیاز دیگر ارزش‌ها (زیبایی‌شناختی و فرهنگی)، رخنمون‌های رنگی با تضاد لایه‌ها، چین‌خوردگی‌های منظم و مشاهده‌شدنی و وجود کاروانسرای تاریخی دهملا در مجاورت (قابلیت پیوند زمین‌شناسی و تاریخ) آن، ۲ است. ناحیهٔ دهملا با کسب امتیاز ۸.۷۵ از ۱۳ (معادل ٦٧.٣درصد) در مدل کوبالیکوا، در ردهٔ خوب / بالا قرار می‌گیرد و از پتانسیل درخور توجهی برای توسعهٔ ژئوتوریسم برخوردار است.

نتیجه

ناحیهٔ دهملا در غرب شاهرود با دارابودن مجموعه‌ای منحصربه‌فرد از پدیده‌های زمین‌شناختی، یکی از ارزشمندترین ژئوسایت‌های ایران برای توسعهٔ ژئوتوریسم علمی و آموزشی به شمار می‌رود. تنوع زمین‌شناختی استثنایی این منطقه، که شامل وجود هم‌زمان ایکنوفسیل‌های ژرف‌رخساره و کم‌عمق، رخساره‌های طوفانی، ساخت‌های رسوبی، سینارسیس و قالب نمک، استروماتولیت‌ها، فسیل‌های تریلوبیت، براکیوپود و آمونیت و همچنین شواهد کامل از چرخهٔ پالئوتتیس (مراحل بازشدگی در اردویسین، اوج گسترش در دونین و بسته‌شدن در تریاس بالایی-ژوراسیک پیشین) در یک منطقهٔ محدود است، این ژئوسایت را به یک آزمایشگاه طبیعی کم‌نظیر برای پژوهش‌های زمین‌شناسی تبدیل کرده است. افزون بر این، پتانسیل آموزشی بالای منطقه برای برگزاری دوره‌های صحرایی دانشجویان زمین‌شناسی در مقاطع مختلف و آموزش هم‌زمان چینه‌شناسی، رسوب‌شناسی، فسیل‌شناسی و تکتونیک، دهملا را به مقصد ایده‌آلی برای ژئوتوریسم علمی بدل کرده است. تکمیل‌کنندهٔ این مزیت‌ها، دسترسی مناسب و زیرساخت پشتیبان، شامل وجود جادهٔ آسفالت، نزدیکی به جادهٔ اصلی تهران-مشهد و به‌ویژه امکان اسکان علمی در مجموعهٔ معدن آموزشی دهملاست که زمینه را برای بهره‌برداری پایدار و هدفمند از این میراث زمین‌شناختی فراهم می‌آورد.

References

Aghanabati A. 2004. Geology of Iran. Geological Survey of Iran, 586 p. [In Persian]

Altermann W. 2007. The early Earth's record of enigmatic cyanobacteria and supposed extremophilic bacteria at 3.8 to 2.5 Ga. In: Seckbach J. (Ed.), Algae and Cyanobacteria in Extreme Environments (Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology, Vol. 11, Chap. 8). Springer.

Amore A. Falk M. and Adie B. A. 2020. One visitor too many: Assessing the degree of overtourism in established European urban destinations. International Journal of Tourism Cities, 6(1): 117–137. 10.1108/IJTC-09-2019-0152

Amri Kazemi A. 2016. Evaluating the potential of Kashan and Maranjab regions for creating a national geopark and developing geotourism. Master's thesis, University of Tehran, Faculty of Geography. [In Persian]

Amri Kazemi A. 2012. Atlas of Geological Heritage of Iran. Geological Survey of Iran, p. 492. [In Persian]

Bayet-Goll A. Geyer G. and Daraei M. 2018. Sequence stratigraphy and ichnology of the Ordovician

Science, Department of Geology, 153pp. [In Persian]
Kubalikova L. 2013. Geomorphosite assessment for geotourism purposes. Czech Journal of Tourism, 2(2): 80–104.
Kubalíkova L. and Kirchner K. 2016. Geosite and geomorphosite assessment as a tool for geoconservation and geotourism purposes: A case study from Vizovická vrchovina Highland (Eastern Part of the Czech Republic). Geoheritage, 8: 5–14. https://doi.org/10.1007/s12371-015-0143-2
Lasemi Y. 2000. Facies, sedimentary environments and stratigraphy of the Upper Precambrian and Paleozoic of Iran. Geological Survey of Iran, Report No. 78: 180 p. [In Persian]
Logan B. W. Rezak R. and Ginsburg R. N. 1964. Classification and environmental significance of algal stromatolites. The Journal of Geology, 72: 68–83.
Maghsoudi M. Ganjaeian H. Safdari E. and Abdolmaleki M. 2019. Identification and evaluation of pre-geosites of Zanjan province and assessment of its impact on sustainable tourism development. Tourism Management Studies, 14(48): 149–178. [In Persian] https://doi.org/10.22054/tms.2020.28234.1804
Radfar A. and Rahimi A. 2019. Evidence for development of transpressional duplex in the west of Shahroud, eastern Alborz. *Iranian Journal of Geology (Quarterly)*, 13(52): 49–62. [In Persian]
Rajabi M. Rahnemoon H. and Abazar K. 2017. Determining strategies and policies for the development of geotourism in Meshkinshahr County. Tourism Space, 6(23): 1–16. [In Persian]
Scammacca O. Betard F. Montagne D. and Rivéra L. 2024. From Geodiversity to Geofunctionality: Quantifying Geodiversity-Based Ecosystem Services for Landscape Planning in French Guiana. Geoheritage, 16 (1): 1-24. https://doi.org/10.1007/s12371-023-00910-0
Seilacher A. 1962. Paleontological studies on turbidite sedimentation and erosion. The Journal of Geology, 70: 227–234. https://doi.org/10.1086/626811
Seilacher A. 1964. Biogenic sedimentary structures. In: Imbrie J. and Newell N. D. (Eds.), Approaches to Paleoecology (pp. 296–316). John Wiley & Sons.
Suzuki D.A. and Takagi H. (2018). Evaluation of Geosite for Sustainable Planning and Management in Geotourism. Geoheritage, 10: 123-135. https://doi.org/10.1007/s12371-017-0225-4
Vaziri-Moghaddam H. and Taheri A. 2000. Study of ichnofossils and ichnofacies of the Upper Ordovician in west of Shahrud (Dehmolla). Sciences of Earth Journal. 11(49-50): 40-51. [In Persian]
Zanganeh Tabar Z. Rajabi M. and Roustaei Sh. 2026. Evaluating the role of geodiversity potential in the development of geotourism in regions (Case study: Kermanshah Province). Geography and Planning, 94: 171–186. 10.22034/GP.2025.64168.3316
successions in the Alborz Mountains, northern Iran. Marine and Petroleum Geology, 98: 734–755.
Bernini C. Cerqua A. and Pellegrini G. 2020. Endogenous amenities. Tourists' happiness and competitiveness. Regional Studies, 54(9): 1214–1225. https://doi.org/10.1080/00343404.2020.1712350
Comanescu L. Nedelea A. and Dobre R. 2011. Evaluation of geomorphosites in Vistea Valley (Fagaras Mountains-Carpathians, Romania). International Journal of the Physical Sciences, 6(5): 1161–1168. https://doi.org/10.5897/IJPS10.384
Comanescu L. Nedelea A. and Dobre R. 2012. The evaluation of geomorphosites from the Ponoare protected area. Journal of Geography, 11(1): 54–61. 10.5775/fg.2067-4635.2012.037.i
Frey R. W. and Seilacher A. 1980. Uniformity in marine invertebrate ichnology. Lethaia, 13: 183–207.
Geyer G. Bayet-Goll A. Wilmsen M. Mahboubi A. and Moussavi-Harami R. 2014. Lithostratigraphic revision of the Middle and Upper Cambrian (Furongian) in northern and central Iran. Newsletters on Stratigraphy, 47: 21–59. DOI: 10.1127/0078-0421/2014/0039
Ghavidel-Syooki M. 2006. Palynostratigraphy and palaeogeography of the Cambro-Ordovician strata in southwest of Shahrud City (Kuh-e-Kharbash, near Deh-Molla), Central Alborz Range, northern Iran. Review of Palaeobotany and Palynology, 139(1-4): 81–95. 10.1016/j.revpalbo.2005.07.006
Ghobadi Pour M. Kebriaee-Zadeh M. R. and Popov L. E. 2011a. Early Ordovician (Tremadocian) brachiopods from the Eastern Alborz Mountains, Iran. Estonian Journal of Earth Sciences, 60: 65–83.
Ghobadi Pour M. Popov L. E. Kebria-ee Zadeh M. R. and Baars, C. 2011b. Middle Ordovician (Darriwilian) brachiopods associated with the Neseuretus biofacies, eastern Alborz Mountains, Iran. Memoirs of the Association of Australasian Palaeontologists, 42: 263–283.
Giovagnoli M. C. 2023. The Italian Geosite Inventory: Past, present, and future. Geoheritage, 15(69), 1-16. https://doi.org/10.1007/s12371-023-00843-8
Harwood C. L. and Sumner D. Y. 2011. Microbialites of the Neoproterozoic Beck Spring Dolomite, Southern California. Sedimentology, 58: 1648–1673. doi/abs/10.1111/j.1365-3091.2011.01228.x
Heydari E. Hassanzadeh J. Wade W. J. and Ghazi A. M. 2003. Permian-Triassic boundary interval in the Abadeh section of Iran with implications for mass extinction. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 193: 405–423. 10.1016/S0031-0182(03)00258-X
Hofmann H. J. 2000. Archean stromatolites as microbial archives. In: Riding R. E. and Awramik S. M. (Eds.), Microbial Sediments (pp. 315–327). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-04036-2_34
Hosseini A. 1997. Palynostratigraphy and paleobiogeography of Ordovician sediments in southwest Shahroud (north of Dehmolla Village). M.Sc. Thesis, University of Tehran, Faculty of