

Original Research Paper

Lithostratigraphy, facies and evaluation of sedimentation conditions of Late Miocene Lignite Beds based on paleontology and sedimentology evidence, in the eastern area of Tabriz

Enayatallah Haghfarshi¹, Peyman Rezaee^{1*}, Seyed Reza Moosavi Harami², and Mohammad Faridi³

¹ Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

² Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

³ Geological Survey of Iran, Tabriz, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2022 May 28

Accepted: 2022 September 01

Available online: 2023 March 21

Keywords:

Facies

Sedimentary environment

Lignite

Miocene

Tortonian

Tabriz

ABSTRACT

The Lignite Beds of Tabriz are among of the Neogene formations in the northwestern area of Iran, which is spread in the eastern suburb of Tabriz. Its sedimentary facies includes the facies groups of fine grains clastics, sandstones, limestones and the facies of lignite, tuff and the microfacies and petrofacies under them. In this study, two stratigraphic sections of these sediments in the eastern part of Tabriz were studied and 171 samples and 42 thin sections were collected and studied. XRD analysis for mineralogy and SEM electron microscopy for 3-dimensional studies were used to identify microfossils. Identified fossils include the genera and species of gastropods, Pelecypods, ostracods, fish, diatoms, charophyte algae, and foraminifera. The studied fossil assemblages includes species from freshwater to euryhaline and marine. The identified sedimentary environments include the lake basin environment, the shallow coastal environment and the marshy lake environment. In the studied sedimentary strata, strong fossil evidence and sedimentological evidence of the marine environment are not observed, at least during its lifetime. Therefore, it is concluded that the marine taxis in these deposits remain and are adapted from a former marine environment.

1. Introduction

The Lignite Beds are spread in the eastern and northwestern suburbs of Tabriz in Sari-dagh Mountain and parts of the inner area of Tabriz city. The deposits of Tabriz's Fish Beds Formation are exposed in the north and northwest of Sahand Volcano, and Maragheh Bone Beds deposits are exposed in the southern and southeastern slopes of Sahand Volcano. Based on previous findings, the age of

these strata is equivalent to Poncian or Late Miocene to Lower Pliocene (Rieben, 1935). Newly performed age measurement (Reichenbacher et al., 2011) which was done on both lignite layers and fish layer by Apatite and Zircon fission track methods and biostratigraphy study, led us to the revision of the age of these deposits. Based on the findings of this research, the lignite Beds and fish Beds of

* Corresponding author: Peyman Rezaee; E-mail: p.rezaee@hormozgan.ac.ir

Citation:

Haghfarshi, E., Rezaee, P., Moosavi-Harami, S. R., and Faridi, M., 2023. Lithostratigraphy, facies and evaluation of sedimentation conditions of Late Miocene Lignite Beds based on paleontology and sedimentology evidence, in the eastern area of Tabriz. Scientific Quarterly Journal, GEOSCIENCES, 33(1), 127, 3-26.

<https://doi.org/10.22071/gsj.2022.343773.2001>.

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2023 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

 doi: 10.22071/gsj.2022.343773.2001

 dor: 20.1001.1.10237429.1402.33.1.8.5



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

Tabriz have the age of Lower Tortonian to Upper Tortonian from Upper Miocene, respectively. This research focuses on the upper part of Tabriz lignite Beds. Its achievements are the introduction of stratigraphy, facies and sub-facies related to these deposits, the collection of identified fossils and the analysis of the sedimentary environment of these deposits. Also, in the sedimentary environment analysis section, the presence of fossils compatible with the marine environment in these deposits is discussed. This study can help to recognize and reconstruct the paleogeography during the Upper Miocene in the region.

2. Research methodology

In this research, two stratigraphic sections were studied. The Sari-Dagh section (Sa) located in the heights of Sari-Dagh with a thickness of 188 meters and the Marzadaran section (Ma) in Marzadaran town with a thickness of 34 meters, both sections located in the eastern area of Tabriz city were studied. The number of collected samples is 171 and the number of thin sections is 42. Karaj Applied Research Center electron microscope, ZEISS SIGMA VP model was used to image two samples containing diatoms. X-ray diffractometric analysis (XRD) of Tabriz Geological Organization was used for mineralogical analysis of an iron carbonate sample. A polarizing microscope was used for petrographic studies. Folk's classifications (Folk, 1980) have been used to name sandstones, and Dunham's classification (Dunham, 1962) and Embry and Klovan (1971) have been used to name carbonate rocks. In order to interpret the paleoecological conditions of the sedimentary basin, the fossils were studied and identified in terms of genus and species, also, the information of fossils identified in previous studies has been used.

3. Results

Field investigation and microscopic studies of Tabriz Lignite Beds led to the classification and naming of facies groups, facies, microfacies and petrofacies, that include: the facies groups of limestones, sandstones, fine-grained clastics and the facies of lignite and tuff and their subsets. The facies group of limestones includes three microfacies groups of mudstone-wackestone, fenestral mudstone and

stromatolite bondstone and related microfacies, the facies group of sandstones includes two groups of petrofacies sheet sandstones and delta front sandstone and the facies group of fine-grained clastics includes the facies of laminated marl, massive marl, claystone, and ferruginous mudstone (Table 1). These facies indicate sedimentation in the sedimentary environments of the lake basin, lake shore and swamp margin. The evidence shows that the lake basin is closed. The comparison of the Marzadaran section with the Sari-Dagh section indicates a deeper environment. Field and microscopic studies in Tabriz Lignite Beds led us to the identification of various fossil traces inside these sediments. We classify these fossils into two groups fauna and flora. Animal fossils include: gastropods, bivalve shells, ostracods, fish fossils and foraminifera, and plant fossils include: diatoms, charophyte algae and plant leaf traces. The findings of this research include paleontological, sedimentological and facies evidences indicating that the sediments of Tabriz Lignite Beds were deposited in a lacustrine environment. The absence of major fossil collections and marine indicators is the reason of a dominant non-marine environment.

4. Conclusion

Sedimentary facies, microfacies and petrofacies identified in the studied sections are include of limestone microfacies, sandstone petrofacies, fine-grained clastic facies and lignite and tuff facies. These facies indicate sedimentation in the sedimentary environments of the lake basin, lake shore and swamp margin. On the other hand, the facies evidence and their rapid vertically changes show that this basin is closed. The comparison of the Marzadaran section with the Sari-Dagh section indicates a deeper lake environment in the deposits of this section. The fossil genera and species were identified in these deposits, including bivalves of *Mytilopsis*, *Anodonta*, Gastropods of *Borysthenia naticina*, *Hydrobiidae*, *Gyraulus*, *Planorbarius*, *Lymnaea peregra*, *L. longiscata*, *Bithynia*, *Radix*, *Zonites* and *Gyalina*, Ostracods of *Candona*, *Ilyocypris* and *Cyprideis*, Diatoms of *Biddulphia*, *Surirella*, *Coscinodiscus* and *Melosira*, Fishes of *Leuciscus*, *Scardinius*, *Atherina* and *Aphanius*, foraminifera of *Ammonia tepida* and Plant fossils include *Charophyte* and *Typha* and *Nelumbo protospeciosa*. Most of

these fossils represent the environmental conditions of fresh water to brackish water and a few are adapted to marine conditions. It is concluded that the existing marine fossils

can be remnants and adaptations from a previous marine environment. The time period and paleogeography of the studied area confirm this conclusion.

سنگ چینه نگاری، رخساره ها و ارزیابی شرایط ته نشینی طبقات لیگنیت دار میوسن پسین بر مبنای شواهد فسیل شناسی و رسوب شناختی، در گستره خاوری تبریز

عنایت الله حق فرشی^۱، پیمان رضایی^{۱*}، سید رضا موسوی حرمی^۲ و محمد فریدی^۳

^۱ گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

^۲ گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۳ سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تبریز، ایران

چکیده

طبقات لیگنیت دار تبریز در زمره سازندهای نوژن ناحیه شمال باختری کشور است که گسترش آن در حومه خاوری شهر تبریز می باشد. رخساره های رسوبی آن شامل گروه های رخساره ای آواری های ریزدانه، ماسه سنگ ها، سنگ های آهکی و رخساره های لیگنیت دار، توف و ریز رخساره ها و رخساره سنگی های (پتروفاسیس ها) زیر مجموعه آنها هستند. در این پژوهش، دو برش چینه نگاری از این رسوبات در گستره خاور تبریز در قالب ۱۷۱ نمونه و ۴۲ مقطع نازک برداشت شده و مورد مطالعه قرار گرفتند. از آنالیز XRD برای کانی شناسی و میکروسکوپ الکترونی SEM برای مطالعات سه بعدی در شناسایی میکروفسیل ها بهره گرفته شد. فسیل های شناسایی شده شامل انواع جنس های شکم پایان (گاستروپودا)، پلسی پودا، استراکد، ماهی، دیاتومه، جلبک کاروفیت و روزن بران (فرامینیفر) می باشند. مجموعه دیرینه زیستی مطالعه شده، شامل جنس هایی از آب شیرین تا مقاوم به شوری و دریایی می باشند. محیط های رسوبی شناسایی شده شامل محیط حوضه دریاچه ای، محیط کم ژرفای ساحلی و محیط باتلاقی حاشیه دریاچه ای می باشند. در طبقات رسوبی مطالعه شده شواهد فسیل شناسی قوی و شواهد رسوب شناختی محیط دریایی حداقل در زمان حیات آن مشاهده نمی شود، از این رو، چنین نتیجه گیری می شود که تاکسای دریایی موجود در این نهشته ها باقی مانده و سازگار یافته از یک محیط دریایی پیشین می باشند.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۱/۰۱

کلیدواژه ها:

رخساره

محیط رسوبی

لیگنیت

میوسن

تورتونین

تبریز

۱- پیش نوشتار

نهشته های نوژن در ناحیه تبریز به نام طبقات لیگنیت دار (Lignite Beds) و ماهی دار تبریز (Fish Beds) و در ناحیه مراغه نهشته های استخوان دار مراغه (Bone Beds) شناخته می شوند (Stöcklin and Setudehnia, 1991). همگی این نهشته های به عنوان سازند غیر رسمی می باشند. طبقات لیگنیت دار در حومه خاوری و شمال باختری تبریز در کوه ساری داغ و بخش هایی از ناحیه داخلی شهر تبریز گسترش دارند. نهشته های سازند ماهی دار تبریز در نواحی شمال و شمال باختری آتشفشان سهند و نهشته های استخوان دار مراغه در دامنه های جنوبی و جنوب خاوری آتشفشان سهند رخنمون دارند. مهم ترین ساختار زمین ساختی ناحیه، گسل تبریز می باشد که جداکننده طبقات مورد مطالعه از نهشته های سازند قرمز فوقانی در ناحیه است (شکل های ۱ و ۲). گسل امتدادلغز تبریز با محل برخورد صفحات عربی و اوراسیا بر زون برخوردی کمان-کمان-نئوتتیس منطبق می باشد. شواهد زمین شناسی، فعالیت های زمین ساختی شدیدی را در زمان میوسن بالایی در منطقه نشان می دهد (Alavi, 1991, 2007).

گسل تبریز در زمان میوسن بالایی نقش اساسی در تشکیل حوضه های رسوبی نوژن ناحیه تبریز داشته است (Kelts and Shahrabi, 1986). به باور فریدی و خداندانه (۱۳۹۰)، الف و ب) محدود بودن رخنمون های این واحد سنگی به گسل شمال تبریز، گویای تشکیل حوضه رسوبی این نهشته ها در اثر حرکات امتدادلغزی این گسل و ایجاد پهنه های تراکشی (transensional)، در زمان میوسن بالایی بوده است.

۲- پیشینه مطالعات

پیرامون پیشینه پژوهش ها در این نهشته ها، به اختصار می توان به موارد زیر اشاره نمود: رسوبات لیگنیت دار میوسن بالایی ناحیه تبریز نخستین بار توسط مورای (Murray, 1859) مورد مطالعه قرار گرفتند. استلین (Stehlin, 1931) دندان پستاندار متعلق به *Hipparion gracile* را شناسایی کرد که سن پونسین تا پلیوسن پیشین را نشان

* نویسنده مسئول: پیمان رضایی؛ E-mail: p.rezaee@hormozgan.ac.ir

ماخذنگاری:

حق فرشی، ع.، رضایی، پ.، موسوی حرمی، س.، ر.، و فریدی، م.، ۱۴۰۲، سنگ چینه نگاری، رخساره ها و ارزیابی شرایط ته نشینی طبقات لیگنیت دار میوسن پسین بر مبنای شواهد فسیل شناسی و رسوب شناختی، در گستره خاوری تبریز. فصلنامه علمی علوم زمین، ۳۳(۱)، ۱۲۷-۲۶. <https://doi.org/10.22071/gsj.2022.343773>

doi: 10.22071/gsj.2022.343773.2001

doi: 10.22071/gsj.2022.343773.2001

doi: 10.22071/gsj.2022.343773.2001

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

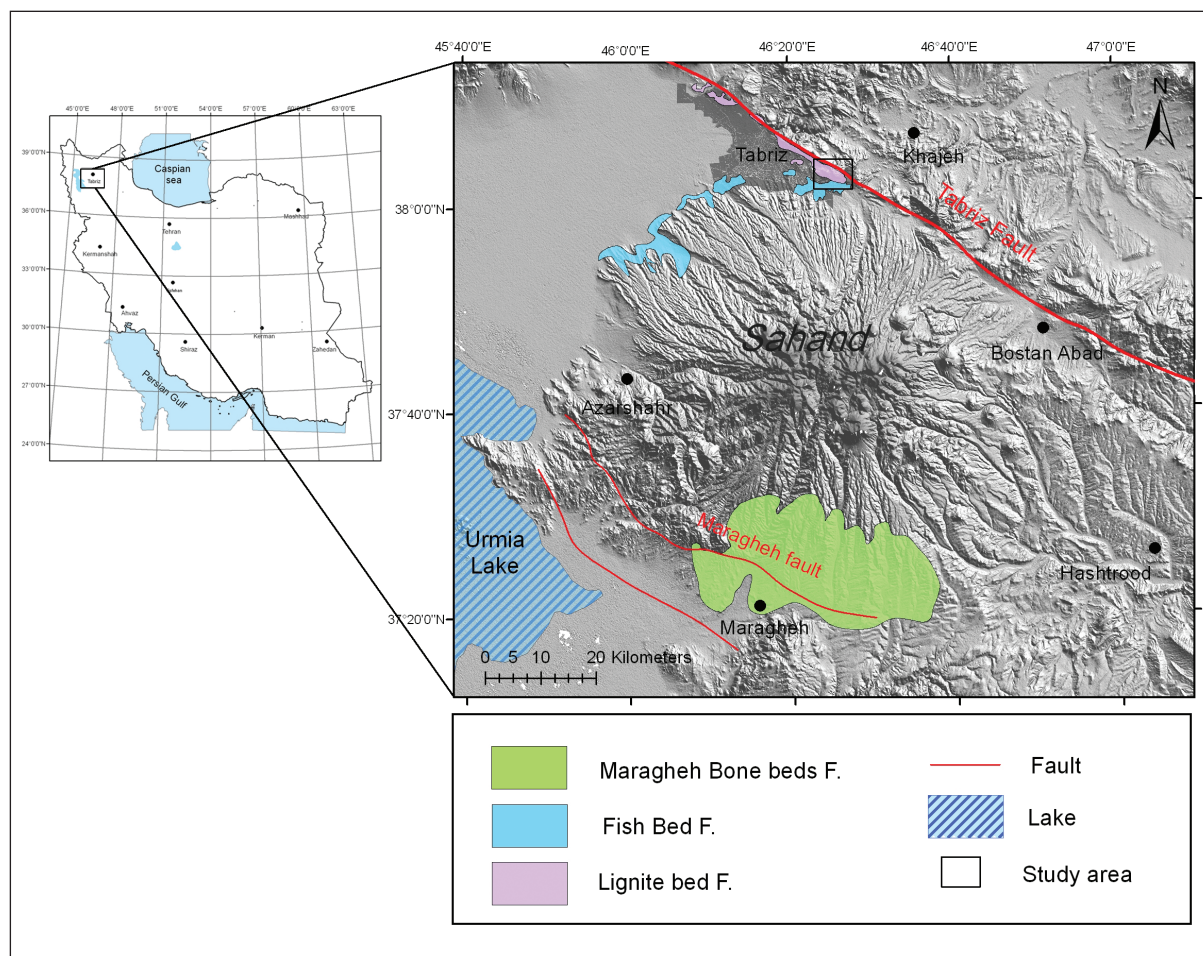


This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

سن‌سنجی و زیست‌چینه‌نگاری و نیز تحلیلی بر محیط رسوبی و جغرافیای دیرینه این حوضه‌های رسوبی انجام داده‌اند. کارنوال و همکاران (Carnevale et al., 2011) در پژوهش خود، با مطالعه آثار و بقایای فسیل‌های ماهی پیدا شده در این رسوبات، گونه جدیدی از ماهی جنس *Atherina* را توصیف و نام‌گذاری نموده‌اند. گابریلین و همکاران (Gabrielyan, 2012) در مطالعه خود بر روی فسیل گیاهی به دست آمده از این رسوبات، جنس و گونه آن را شناسایی کردند. حق‌فرشی (۱۳۸۹ الف، ب، پ؛ ۱۳۹۲، ۱۳۹۳، ۱۳۹۵) پیرامون موضوعات مختلف مانند: تشکیل کانی‌های ژئوس و انیدریت و مراحل دیاژنزی آنها، رخساره کالکریت و ویژگی‌های آن، تفکیک سازند لیگنیت‌دار تبریز به دو عضو، تشکیل کنکرسین‌های آهن‌دار و سرانجام، آثار زیستی گیاهی و جانوری در این نهشته‌ها به مطالعه پرداخته است.

بر اساس یافته‌های پیشین برای این طبقات، سنی معادل پونسین یا میوسن پسین تا پلیوسن زیرین تعیین شده است (Rieben, 1935). سن‌سنجی انجام شده جدید (Reichenbacher et al., 2011) که بر روی هر دو طبقات لیگنیت‌دار و طبقات ماهی‌دار به روش‌های پراش آپاتیت و زیرکن (Apatite and Zircon Fission track) و مطالعه زیست‌چینه‌نگاری انجام شد، سبب بازنگری در سن این نهشته‌ها گردید. بر اساس یافته‌های این پژوهش، طبقات لیگنیت‌دار و طبقات ماهی‌دار تبریز به ترتیب دارای سن تورئونین زیرین تا تورئونین بالایی از میوسن بالایی می‌باشند (شکل ۳).

می‌داد. رِبِن (Rieben, 1935) نتیجه مطالعات خود را پیرامون زمین‌شناسی منطقه آذربایجان شامل طبقات لیگنیت‌دار و طبقات ماهی‌دار تبریز منتشر ساخت. معین‌وزیری و سبحانی (۱۳۵۶) مارن‌های سبز زغال‌دار و رسوبات ماهی‌دار در منطقه خلعت‌پوشان تبریز را به صورت توصیفی ارائه کردند. افتخارنژاد و همکاران (۱۳۷۰) نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، اسدیان (۱۳۷۲) نقشه و گزارش با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، فریدی و خداپنده (۱۳۹۰ الف و ب) نقشه‌های زمین‌شناسی کرگه و تبریز ۱ به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ مربوط به این ناحیه را منتشر کردند. حق‌فرشی (۱۳۸۹ الف) در پژوهشی با مطالعه رخساره‌ها و معیارهای رسوب‌شناختی و دیرینه‌شناسی، محیط رسوبی این حوضه را تعیین و مدل رسوبی برای تشکیل رسوبات ارائه کرد. شیر (۱۳۹۳) با مطالعه رسوبات لیگنیتی این سازند، ضمن شناسایی آثار گیاهی یافته شده در این رسوبات، نهشته‌های لیگنیتی را از نظر زیست‌شاخص‌ها (بایومارکرها) مورد مطالعه قرار داده است. صبوری و همکاران (Sabouri et al., 2012) در پژوهش خود ضمن شناسایی تعدادی فسیل نرم‌تنان، مطالعه پالینولوژی (گرده شناسی) بر روی این نهشته‌ها انجام داد که به شناسایی تعدادی از فسیل‌های نرم‌تن و نوع پوشش گیاهی ناحیه در زمان میوسن بالایی انجامید. ریش‌باخر و همکاران (Reichenbacher et al., 2011) در پژوهش خود ضمن شناسایی تعدادی آثار فسیلی نرم‌تنان، ماهی، دیاتومه و استراکود در این طبقات و نیز طبقات ماهی‌دار تبریز، آنالیز



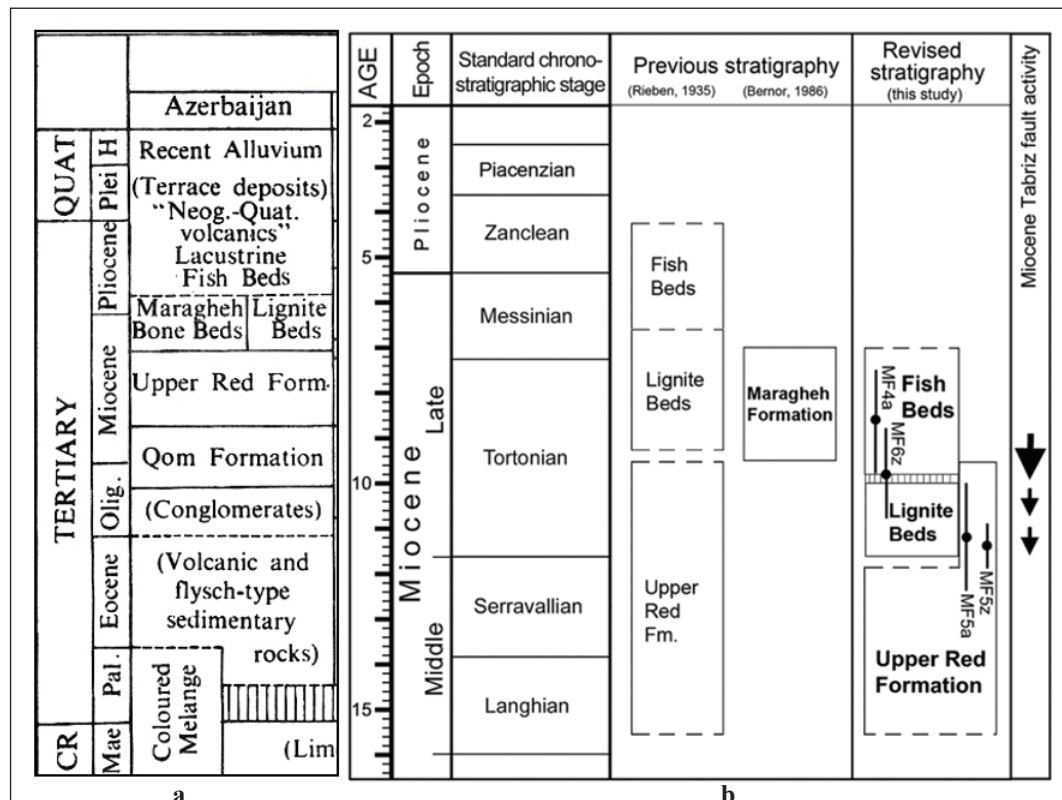
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در شمال باختر ایران، (مستطیل تیره).

Figure 1. The location of the study area in the northwest of Iran, (dark rectangle).



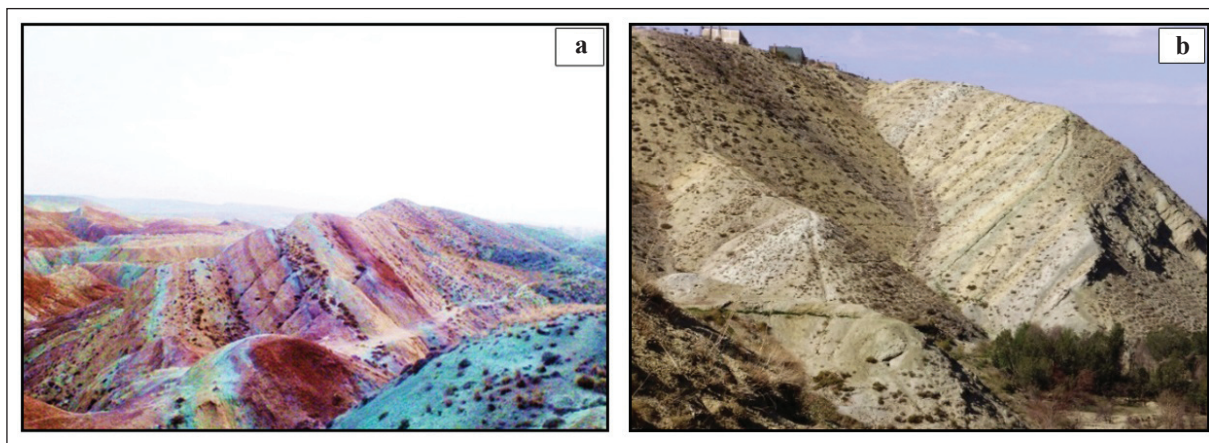
شکل ۲- تصویر ماهواره‌ای ناحیه تبریز و محدوده رخنمون طبقات لیگنیت‌دار تبریز، نگاه به سوی شمال خاوری.

Figure 2. Satellite image of Tabriz area and the area of lignite Beds outcrop, looking towards the NE.



طبقات ماسه‌سنگی و کنگلومرای بیشتری در مقایسه با بخش بالایی هستند، گسترش جانبی لایه‌ها کمتر بوده و تنوع رخساره‌ها کمتر از بخش بالایی می‌باشد. همچنین بخش بالایی دارای لایه‌های نازک‌تری نسبت به بخش زیرین بوده و بنابراین تغییرات رخساره‌ای در جهت قائم در آن سریع‌تر است. افزون بر آن، بخش بالایی دارای لیگنیت بیشتر بوده و ساخت‌های لامیناسیون‌های افقی فراوان، فسیل‌های ماهی، دو کفه‌ای و شکم‌پا و استراکود در این بخش تقریباً به‌طور فراوان دیده می‌شوند و رگه‌های ژپسی ثانویه در این طبقات گسترش بیشتری دارند (شکل‌های ۴، ۵ و ۶).

بررسی‌های صحرایی و چینه‌شناسی طبقات لیگنیت‌دار تبریز در این پژوهش نشان می‌دهند که این نهشته‌ها را می‌توان به دو بخش یا عضو (member) تفکیک نمود که با یکدیگر همبندی ناهم‌شیب دارند. وجود تفاوت‌های عمده در رنگ ظاهری و رخساره‌های بخش زیرین (یا قدیمی‌تر) نسبت به بخش بالایی عامل این تفکیک طبقات لیگنیت‌دار است. طبقات عضو زیرین دارای رنگ‌های زرد، قهوه‌ای تا قرمز می‌باشد، ولی بخش بالایی این طبقات دارای رنگ‌های چیره سبز و خاکستری است (حق فرشی، ۱۳۸۹ الف؛ شکل ۴). رخساره‌های سیلیسی آواری بخش زیرین دارای



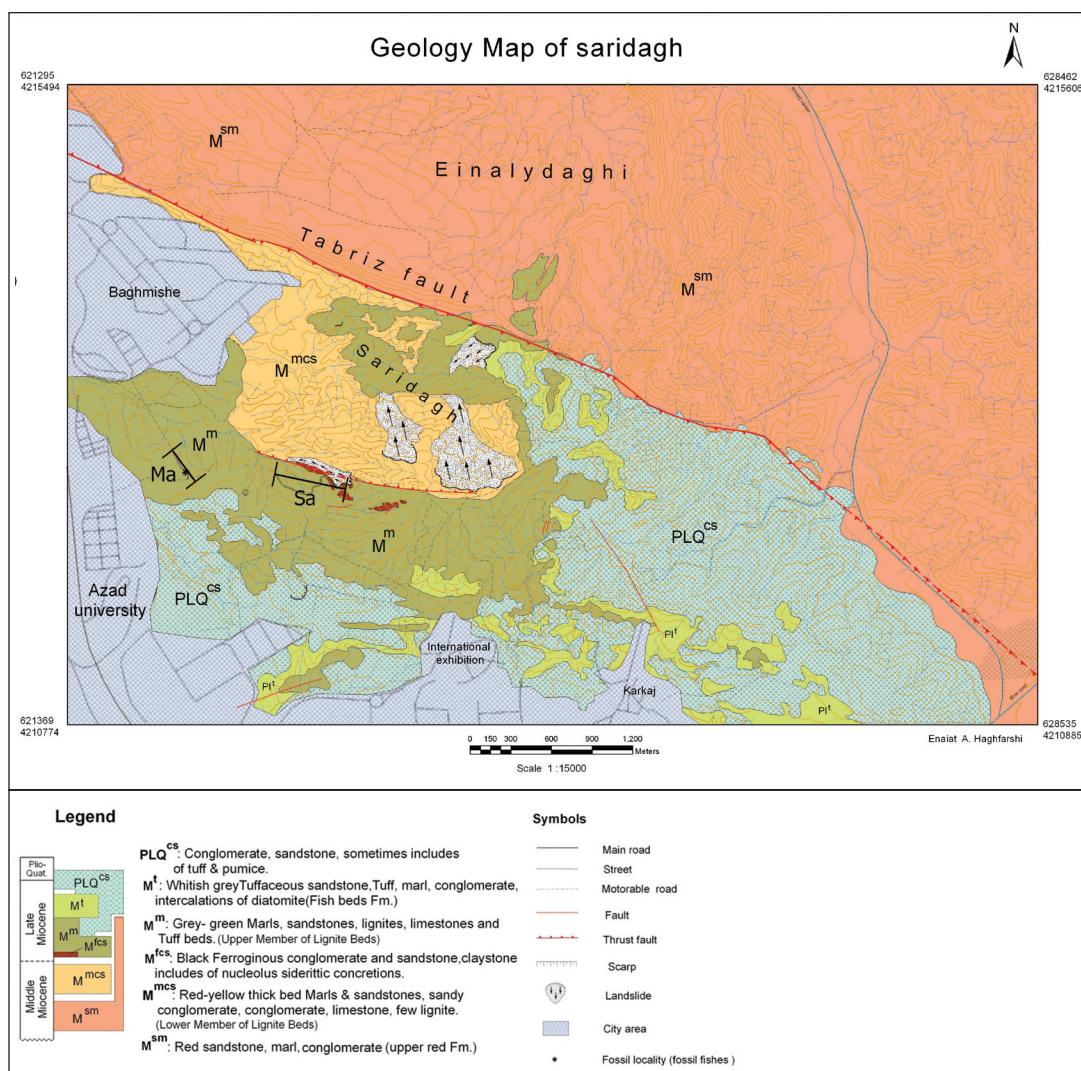
شکل ۴- (a) نمای بخش زیرین طبقات لیگنیت‌دار تبریز- نگاه به سوی جنوب خاوری، (b) نمای بخش بالایی طبقات لیگنیت‌دار تبریز ناحیه نگین پارک - نگاه به سوی سمت باختر.

Figure 4. a) The view of the lower part of the lignite Beds, looking towards the SE; b) The view of the upper part of the lignite Beds, Negin Park area - looking towards the west.



شکل ۵- طبقات لیگنیت‌دار تبریز در ناحیه خاوری شهر تبریز - نگاه به سوی خاور.

Figure 5. The lignite Beds in the eastern area of Tabriz city - looking towards the east.



شکل ۶- نقشه زمین‌شناسی حومه خاوری تبریز و گستره نهشته‌های مورد مطالعه، موقعیت برش‌های چینه‌شناسی مورد مطالعه (Ma و Sa) در نقشه مشخص شده‌اند (حق فرشی، ۱۳۸۹ الف).

Figure 6. The geological map of the eastern suburbs of Tabriz and the extent of the studied deposits, the position of the studied stratigraphic sections (Sa and Ma) are specified in the map (HaqFarshi, 2011).

Ma نسبت به برش Sa دارای طول ستبرای مطالعه کمتری می‌باشد. تعداد نمونه‌های برداشت شده ۱۷۱ عدد و تعداد مقاطع نازک ۴۲ عدد می‌باشد. جهت تصویربرداری از دو نمونه حاوی دیاتومه از دستگاه میکروسکوپ الکترونی مدل دستگاه ZEISS SIGMA VP مرکز پژوهش‌های کاربردی کرج، استفاده شد. از آنالیز دیفرانسیلی اشعه ایکس (XRD) سازمان زمین‌شناسی تبریز برای آنالیز کانی‌شناسی یک نمونه کربنات آهن دار استفاده گردید (شکل ۹).

برای مطالعات سنگ‌نگاری از میکروسکوپ پلاریزان استفاده گردید. برای نام‌گذاری ماسه‌سنگ‌ها از رده‌بندی فولک (Folk, 1980) و برای نام‌گذاری سنگ‌های کربناته از رده‌بندی دانه‌ام (Dunham, 1962) و امبری و کلوان (Embry and Klovan, 1971) استفاده شده است. جهت تفسیر شرایط دیرین‌بوم‌شناسی (پالئو اکولوژی) حوضه رسوبی، فسیل‌ها از نظر جنس و گونه مورد مطالعه و شناسایی قرار گرفتند و از اطلاعات فسیل‌های شناسایی شده در مطالعات پیشین استفاده شده است. ستون چینه‌نگاری رسم شده برداشت شده از بخش بالایی نهشته‌ها در شکل ۸ ارائه گردیده است.

این پژوهش بر روی بخش بالایی طبقات لیگنیت‌دار تبریز متمرکز است. دستاوردهای آن، معرفی سنگ‌چینه‌نگاری، رخساره‌ها و زیررخساره‌های مربوط به این نهشته‌ها، مجموعه فسیل‌های شناسایی شده و تحلیل محیط رسوبی این نهشته‌ها است. همچنین در بخش تحلیل محیط رسوبی، پیرامون حضور فسیل‌های سازگار با محیط دریایی در این نهشته‌ها بحث و بررسی قرار می‌گیرد. این مطالعه می‌تواند به شناخت و بازسازی جغرافیای دیرینه در طی میوسن بالایی در منطقه کمک نماید.

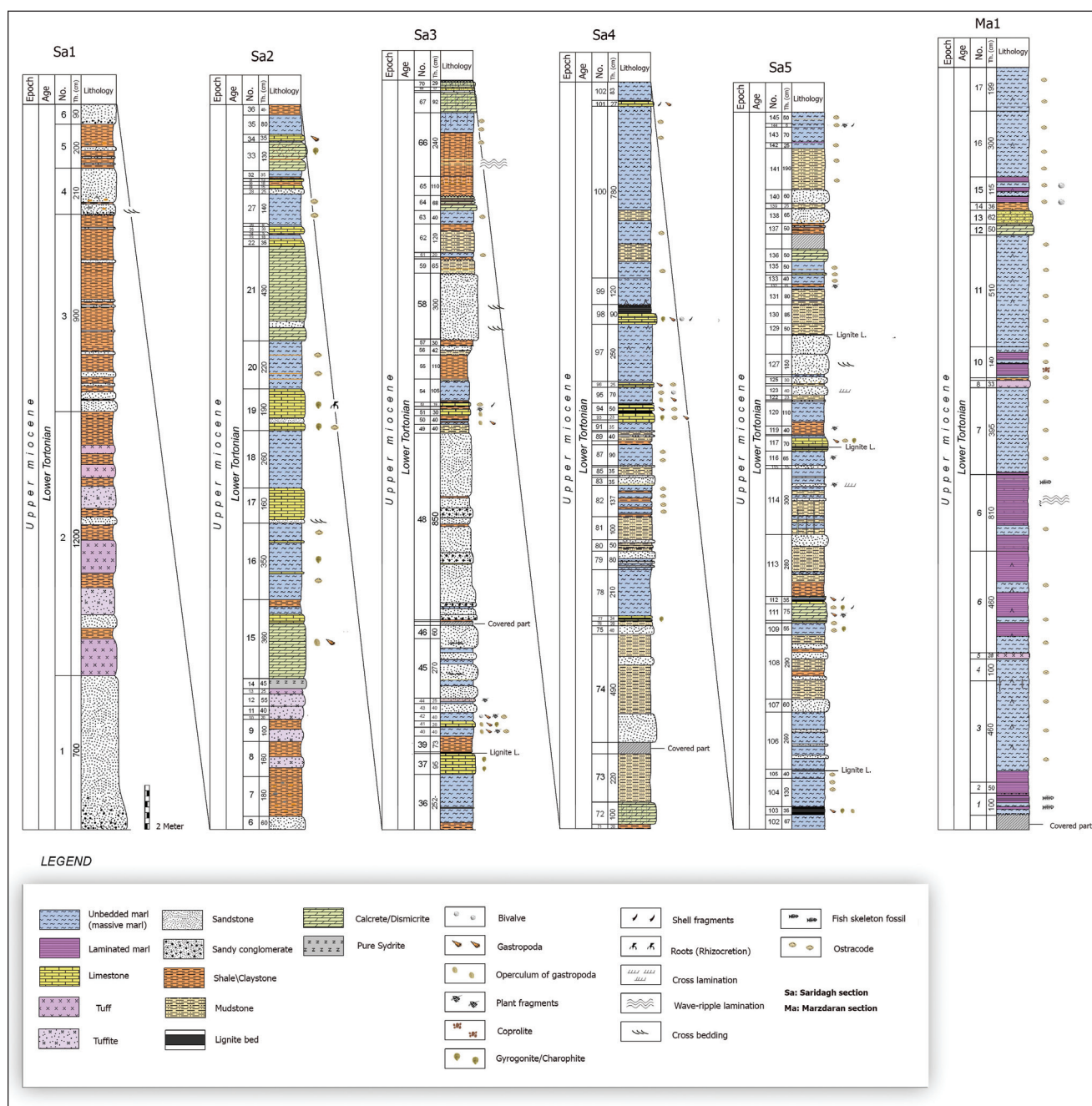
۳- روش پژوهش

در این پژوهش، دو برش چینه‌شناسی مورد مطالعه قرار گرفتند. برش ساری‌داغ (Sa) واقع در ارتفاعات ساری‌داغ با ستبرای ۱۸۸ متر و برش مرزداران (Ma) در شهرک مرزداران با ستبرای ۳۴ متر، هر دو برش واقع در ناحیه خاور شهر تبریز مورد مطالعه قرار گرفتند (شکل‌های ۷ و ۸). به سبب فرسایش‌پذیری زیاد این نهشته‌ها و وجود ستبرای حدود ۱ متری خاک سطحی بر روی سنگ بستر در بیشتر مکان‌ها، استفاده از برش‌های موجود پیشین کنار راه‌ها و جاده‌ها گریزناپذیر بود، از این رو، برش



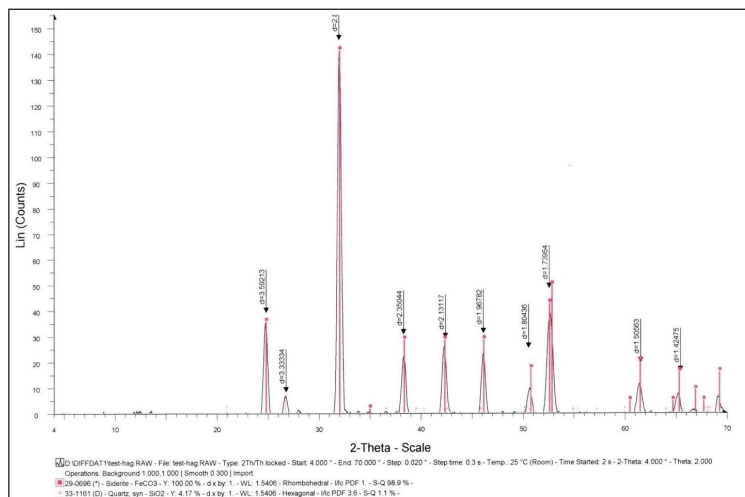
شکل ۷- بخشی از برش مورد مطالعه ساری‌داغ مربوط به بخش بالایی سازند، ناحیه خاور تبریز - نگاه به سوی جنوب خاوری.

Figure 7. A part of the studied section of Sari Dagh related to the upper part of the formation, Area of east of Tabriz, looking towards the SE.



شکل ۸- ستون سنگ‌چینه‌نگاری دو برش مورد مطالعه طبقات لیگنیت‌دار تبریز، توجه شود که برش‌های Sa1 تا Sa5 به ترتیب از پایین به بالا طبقات و پیوسته هستند. موقعیت دو برش در نقشه زمین‌شناسی (شکل ۷) آورده شده‌اند.

Figure 8. The stratigraphic column of the two studied sections of Tabriz lignite Beds, it should be noted that the sections Sa1 to Sa5 are continuous from the bottom to the top respectively. The location of the two sections are shown in the geological map (Figure 7).



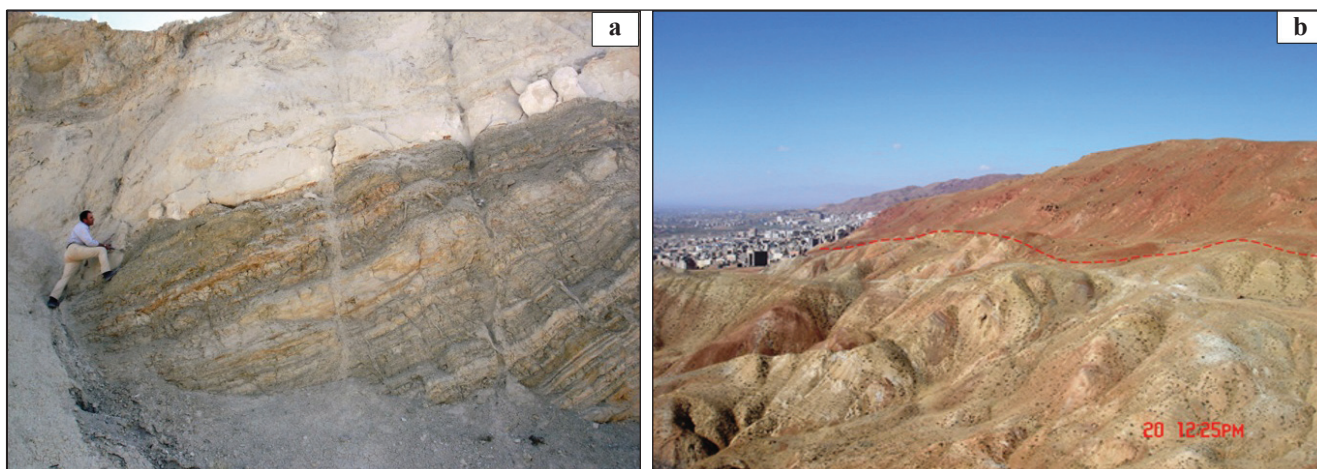
شکل ۹- آنالیز XRD نمونه کربنات آهن (سیدریت).

Figure 9. XRD analysis of iron carbonate (siderite).

۴- چینه‌نگاری طبقات لیگنیت‌دار تبریز

ماسه‌سنگ‌ها، آواری ریزدانه و رخساره‌های لیگنیت و توف و زیرمجموعه‌های آنها می‌باشند. گروه رخساره‌ای سنگ‌های آهکی شامل سه گروه ریزرخساره مادستون- وکستون، فنسترال مادستون و استروماتولیت باندستون و ریزرخساره‌های مربوطه، گروه رخساره‌ای ماسه‌سنگ‌ها شامل دو گروه رخساره‌سنگی ماسه‌سنگ‌های ورقه‌ای (Sheet s.s.) و ماسه‌سنگ جلو دلتا (Delta front) و گروه رخساره‌ای آواری‌های ریزدانه دربردارنده رخساره‌های مارن توده‌ای، مارن لایمینه‌ای، رس سنگ و گل‌سنگ آهن‌دار می‌باشد (جدول ۱). تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از رخساره‌ها، ریزرخساره‌ها و رخساره‌سنگی‌های مورد مطالعه در شکل های ۱۱ و ۱۲ آورده شده‌اند.

طبقات لیگنیت‌دار واقع در حومه خاوری شهر تبریز به گونه یک ساختار بالاجسته (Pop-up structure)، در بخش زیرین خود مرز گسلی با سازند قرمز فوقانی و در بخش بالایی خود مرز غیرهم‌شیب (با زاویه کم) با طبقات ماهی‌دار (Fish Beds) و در بخش‌هایی، مرز هم‌شیب با نهشته‌های آبرفتی رودخانه‌ای دارند (شکل ۱۰). ستبرای طبقات لیگنیت‌دار واقع در حومه خاوری شهر تبریز ۴۰۰ متر برآورد می‌شود. چنانچه در پیش‌گفتار نیز بیان شد، این سازند به دو بخش زیرین و بالایی قابل تقسیم است. بررسی و برداشت صحرایی طبقات لیگنیت‌دار تبریز و مطالعات میکروسکوپی به طبقه‌بندی و نام‌گذاری گروه‌های رخساره‌ای، رخساره‌ها، ریزرخساره‌ها و رخساره‌سنگی‌های مختلفی انجامید که شامل: گروه رخساره‌ای سنگ‌های آهکی،



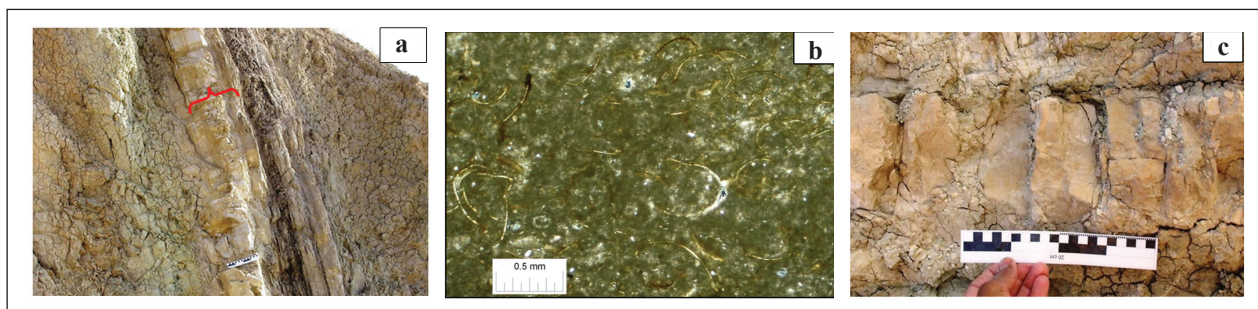
شکل ۱۰- (a) مرز بالایی غیرهم‌شیب طبقات لیگنیت‌دار با طبقات ماهی‌دار تبریز، ناحیه کرگه در خاور تبریز، نگاه به سوی شمال خاوری، (b) مرز گسلی طبقات لیگنیت‌دار با سازند قرمز فوقانی، ارتفاعات ساری‌داغ خاور تبریز، نگاه به سوی شمال باختری.

Figure 10. a) The upper unconformity boundary of the lignite Beds with the fish Beds in Karga area in the east of Tabriz, looking towards the northeast, b) The fault boundary of the lignite Beds and the upper Red Formation, Sari Daghighlands in east of Tabriz, looking towards the northwest.

جدول ۱- طبقه‌بندی رخساره‌ها و شرایط تشکیل آنها در گستره مورد مطالعه.

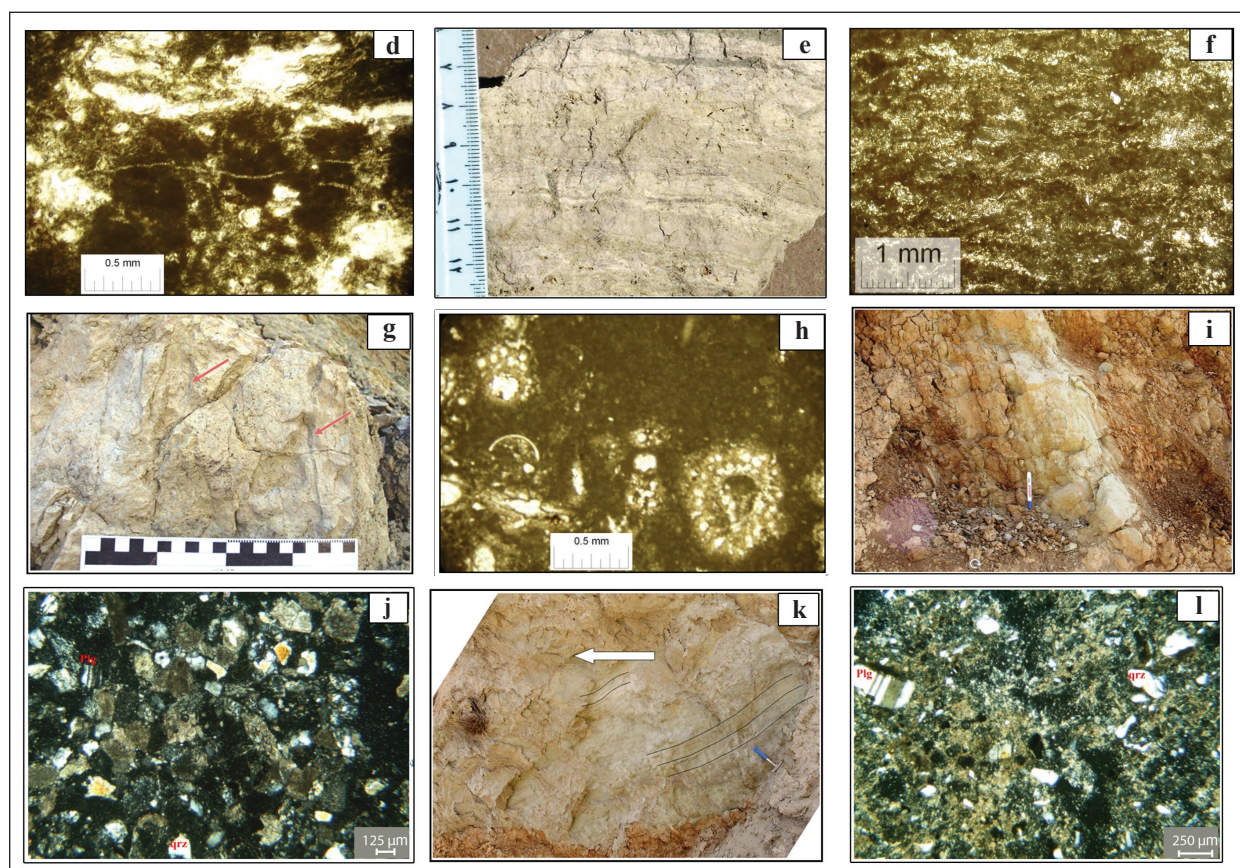
Table 1. Classification of facies and conditions of their formation in the studied area.

	Facies group, Facies, Microfacies, Petrofacies			Sedimentary environment, Creation condition, Chemical conditions of water		
1	Facies group of Limestones	Microfacies group of Type A (Mudstone-Wackestone)	Mudstone microfacies	Shallow beach Area and photic zone of open and deep lakes		
			Bivalve bioclast wackestone microfacies			
			Ostracod bioclast wackestone microfacies			
			Bivalve ostracod bioclast packstone microfacies			
			Chara packstone microfacies			
		Microfacies group of Type B (Fenestral mudstone)	Fenestral bioclast mudstone microfacies	The initial deposit has a lake origin, Emerging of the sediments from the water at the edge of the lake and exposing to the air (Intensity or emerging time less than calcrite)		
			Fenestral mudstone microfacies			
Microfacies group of Type C (Stromatolite Boundstone)	Stromatolite Boundstone microfacies	Shallow beach Area and Freshwater environment				
Microfacies group of Type D (Calcrete)	Microfacies of peloid mudstone, Fenestral root mudstone, peloid Fenestral mudstone, Fenestral bioclast root wackestone, Fenestral bioclast chara wackestone, Sand packstone	The initial deposit has a lake origin, Emerging of the sediments from the water and exposing to air at the margin of a shallow lake with low energy conditions, indicative of semi-arid climate periods.				
2	Facies group of Sandstones	Petrofacies group of Type E (Sheet Sandstones)	Petrofacies of Quartz arenite, Arkose, Subarkose, lithic arkose	Subgroup E1 (Sandstone-Claystone)	Shallow and marginal environment (Shoreface), progress and retreat of the lake due to climate changes	
				Subgroup E2 (Individual sheet Sandstone)	Subgroup E2-1	The flow of turbidity current, the rise of the lake water level
		Petrofacies group of Type F (Delta front Sandstone)	Quartz arenite Petrofacies		Subgroup E2-2	The progressing of the delta towards the basin, the lowering of the lake water level
				Subarkose Petrofacies	Sedimentation inside ditributary channels	
3	Facies group of fine grain clastics	Massive marl facies		In both offshore and shallow marginal areas	The production of carbonate materials with the Inflowing of fine-grained debris	Oxic conditions
		Laminated marl facies			Inflow of more debris into the basin	Anoxic conditions
		Mudstone facies				
		Claystone facies				
		Ferruginous mudstone facies		Delta and swamp environment	High carbonate and low sulfide activity	
4	Lignite facies			Marginal and inter-delta lake environments, humid weather, lack of clastics, stable conditions of the lake surface, the presence of large amounts of macrophytes in the marginal swamps.		
5	Tuff facies	Crystal lithic tuff petrofacies		Sedimentation inside the basin through the transfer of volcanic and detrital materials by turbidity flow and falling from the air.		



شکل ۱۱- (a) تناوب رخساره‌های کربناتی، لیگنیتی و ماری در برش ساری داغ، سوی نگاه به سوی جنوب؛ (b) ریز رخساره بای‌والو (bivalve) بایو کلاست و کستون در دید میکروسکوپی، (نور PPL)؛ (c) نمای رخساره سنگ آهک (ریز رخساره فنسترال مادیستون)، برش ساری داغ نگاه به سوی خاور؛

Figure 11. a) Alternation of carbonate, lignite and marl facies in Sari Dag section, looking towards the south; b) Bivalve bioclast wackestone microfacies in microscopic view, (PPL light); c) View of limestone facies (Fenestral mudstone microfacies), Sari Dag section, looking towards the east;



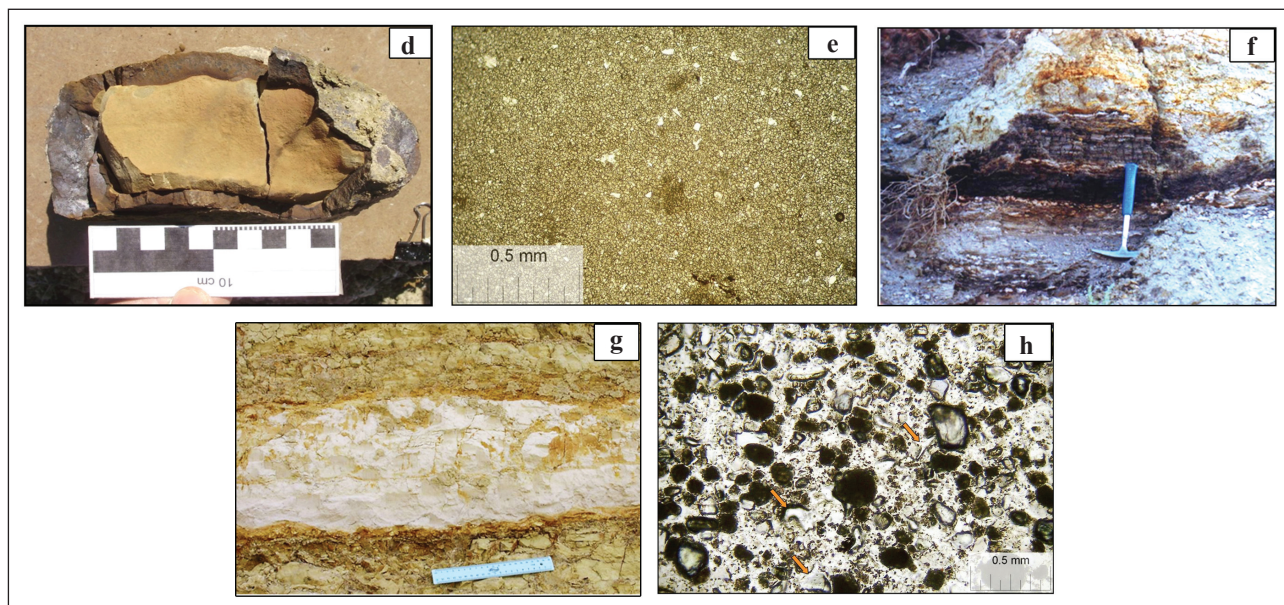
شکل ۱۱- d) ریزرخساره فنسترال مادستون در دید میکروسکوپی، (نور PPL)؛ e) ریزرخساره استروماتولیت باندستون در نمونه دستی؛ f) ریزرخساره استروماتولیت باندستون (نور PPL)؛ g) ریزرخساره فنسترال روت (Root) مادستون، برش مرزداران، سوی نگاه شمال؛ h) ریزرخساره فنسترال بایو کلاست روت و کستون، حاوی مقطع ریشه‌های گیاهی و قطعات صدف، (نور PPL)؛ i) رخساره ماسه‌سنگ گروه رخساره نوع ماسه‌سنگ ورقه‌ای (E) (Sheet S. S.) در بین رخساره گل‌سنگ، برش ساری‌داغ، نگاه به سوی خاور؛ j) رخساره سنگی لیتیک آرکوز، (نور XPL)؛ k) ماسه‌سنگ گروه رخساره نوع جلو دلتا (F)، برش ساری‌داغ (به علت شیب‌دار بودن طبقه در عکس چرخش ایجاد شده است)؛ l) رخساره سنگی ساب آرکوز، (نور XPL).

Figure 11. d) Fenestral mudstone microfacies in microscopic view (PPL light); e) Bondstone stromatolite microfacies in hand sample; f) Bondstone stromatolite microfacies (PPL light); g) Fenestral root mudstone microfacies, Marzadaran section, looking toward north; h) Fenestral bioclast root wackestone, containing sections of plant roots and shell fragments, (PPL light); i) Sandstone facies of type sheet sandstone (E) in between mudstone facies, Sari Dag section, looking towards the east; j) lithic arkose Petrofacies, (XPL light); k) Sandstone facies of type Delta front Sandstone (F), Sari Dag section (due to the slope of the layer, image is rotated); l) Subarkose Petrofacies (XPL light).



شکل ۱۲- a) رخساره مارن توده‌ای در نمونه دستی، حاوی استراکودها، برش ساری‌داغ؛ b) رخساره مارن لامینه‌ای، در برش مرزداران؛ c) رخساره گل‌سنگ آهن‌دار در برش ساری‌داغ، نگاه به سوی جنوب؛

Figure 12. a) Massive marl facies in hand sample, contains ostracods, Sari Dag section; b) Laminated marl facies, Marzadaran section; c) Ferruginous mudstone facies, Sari Dag section, looking toward the south;



شکل ۱۲- d) کنکریون سیدریتی در رخساره گل‌سنگ آهن‌دار، برش ساری‌داغ؛ e) دید میکروسکوپی از کربنات آهن (سیدریت) در رخساره گل‌سنگ آهن‌دار، (نور PPL)؛ f) رخساره لیگنیت، برش ساری‌داغ، نگاه به سوی خاور؛ g) رخساره توف، برش مرزداران، سوی نگاه به سوی شمال؛ h) مقطع میکروسکوپی از رخساره سنگی کریستال لیتیک توف، علامت‌های پیکان در تصویر قطعات شیشه را نشان می‌دهند (نور PPL).

Figure 12. d) Siderite concretion in Ferruginous mudstone facies, Sari Dag section; e) Microscopic view of iron carbonate (siderite) in Ferruginous Mudstone facies, (PPL light); f) Lignite facies, Sari Dag section, looking towards the east; g) Tuff facies, Marzadaran section, looking towards the north; h) Microscopic view of Crystal lithic tuff petrofacies, arrow marks in the image show glass fragments (PPL light).

۵- نتایج و بحث

(ب) پلی‌پوده‌ها: صدف‌های دوکفه‌ای معمولاً به صورت تجمعات صدفی در داخل لایه‌های نازک مارنی دیده می‌شوند ولی گاهی نیز در داخل رسوبات مارنی توده‌ای به صورت پراکنده یافت می‌شوند. (جدول ۲ و شکل ۱۳) تاکسای شناسایی شده سازگار با محیط آب شیرین و لب شور هستند.

(ج) استراکودها: از جمله دیگر فسیل‌های قابل مشاهده که به فراوانی در این رسوبات یافت می‌شوند، استراکودها (Ostracod tests) می‌باشند. تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی و مطالعات انجام گرفته بر روی این استراکودها توسط ریشن باخر و همکاران (Reichenbacher et al., 2011)، به شناسایی ۳ جنس و گونه انجامیده است (جدول ۲ و شکل ۱۴). تاکسای شناسایی شده سازگار با محیط آب شیرین و لب شور هستند (Gliozzi et al., 2017; Choi et al., 2020).

(د) روزن‌بران: طی مطالعات میکروسکوپی توسط صبوری و همکاران (Sabouri et al., 2012) بر روی این رسوبات، روزن‌بر کفزی جنس *Ammoniatapida* یافته شد. این روزن‌بر کفزی (Bentic) بوده و سازگار با شرایط لب شور محیط دریایی می‌باشد (Lintner et al., 2020) (جدول ۲ و شکل ۱۵).

(ه) اسکلت ماهی: حضور فسیل ماهی در رسوبات ماهی‌دار تبریز از دیرباز مورد شناسایی قرار گرفته بود. مکوم (Mequenem, 1906) از داخل این رسوبات، بقایای ماهی‌هایی را پیدا کرد که *Brachylebias persicus* نامیده شد. مطالعات بعدی بر روی این فسیل‌های ماهی به تشخیص گونه *Leucicus* انجامید (معین‌وزیری و امین‌سبحانی، ۱۳۵۶). همچنین گادانت (Gaudant, 2011) با مطالعه بررسی‌های انجام شده توسط پریم (Prim, 1908)، پیشنهاد کرد که نام این فسیل‌ها به نام جدید *Aphanius persicus* اصلاح شود. در مطالعات صحرایی از داخل رسوبات سازند لیگنیت‌دار برای نخستین بار فسیل‌های ماهی پیدا شد که با مطالعه توسط کارنوال و همکاران (Carnevale et al., 2011)

برای بررسی و تحلیل محیط رسوبی طبقات لیگنیت‌دار تبریز از دو نوع شواهد فسیل‌شناسی و رسوب‌شناختی استفاده شده است. در شواهد فسیل‌شناسی، از بقایای فسیلی جانوری و گیاهی و سازگاری آنها با میزان شوری آب استفاده گردیده و در شواهد رسوب‌شناختی، از آثار ساخت‌های رسوبی، کانی‌شناسی و چینه‌شناسی بهره گرفته شده است.

۵-۱- شواهد فسیل‌شناسی در طبقات لیگنیت‌دار

مطالعات صحرایی و میکروسکوپی در رسوبات لیگنیت‌دار تبریز به شناسایی آثار فسیلی متنوعی در داخل این رسوبات انجامید. این آثار را به دو گروه جانوری (Fauna) و گیاهی (Flora) طبقه‌بندی می‌کنیم. فسیل‌های جانوری شامل: صدف‌های شکم‌پایان، صدف‌های دوکفه‌ای، استراکود، فسیل ماهی و روزن‌بران و فسیل‌های گیاهی شامل: دیاتومه‌ها، آثار جلبک کاروفیت و آثار برگ گیاهی می‌باشند که در زیر به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرند:

— آثار زیستی جانوری (Fauna)

(الف) شکم‌پایان (گاستروپودها): صدف‌های شکم‌پایان از آثار فسیلی فراوان در این نهشته‌ها می‌باشند. بیشترین تجمعات این صدف‌ها در داخل طبقات لیگنیت‌دار همراه با سنگ آهک‌ها می‌باشند و گاه به صورت پراکنده در داخل سایر رسوبات از جمله لایه‌های مارن توده‌ای دیده می‌شوند. مطالعه این صدف‌ها به شناسایی تعداد ۱۰ جنس و گونه انجامیده است (جدول ۲ و شکل ۱۳). لازم به یادآوری می‌باشد که سه جنس انتهایی جدول توسط صبوری و همکاران (Sabouri et al., 2012) مورد شناسایی قرار گرفته‌اند. تاکسای شناسایی شده در کل سازگار با محیط‌های آب شیرین، لب شور و خشکی هستند که در ادامه مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

بر روی این نمونه‌ها، گونه جدیدی از ماهی جنس *Atherina* مورد شناسایی قرار گرفت و *Atherina atropatiensis* نام‌گذاری گردید (شکل ۱۶). همچنین در جدول ۳ مجموعه ماهی‌های شناسایی شده در طبقات لیگنیت‌دار آمده است.

جدول ۲- مجموعه فسیل‌های شناسایی شده در طبقات لیگنیت‌دار و شرایط بوم‌شناسی (اکولوژی) زیست آنها.

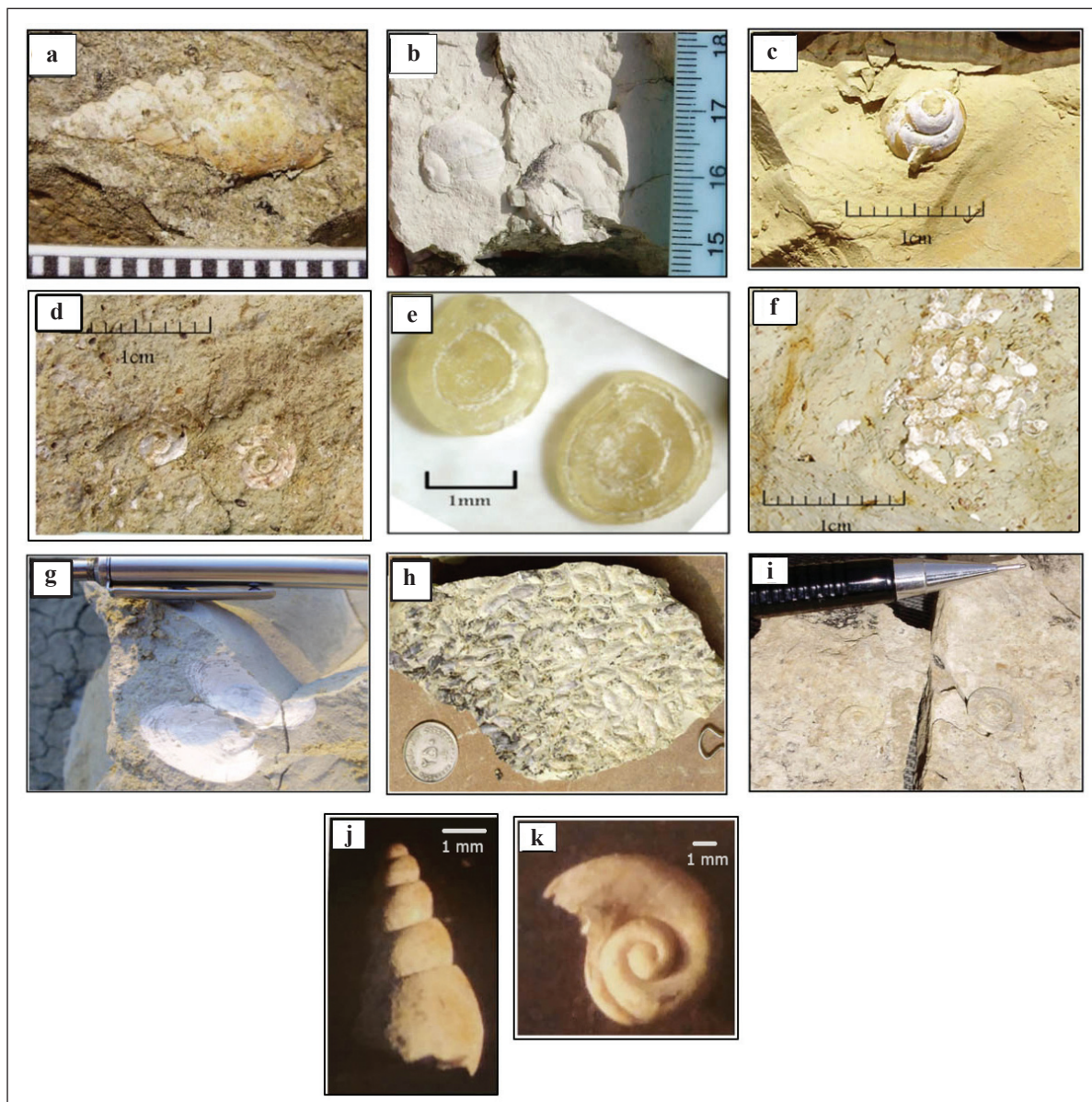
Table 2. Collection of fossils identified in lignite Beds and their ecological conditions.

Fauna/Flora	Genus /Species	Ecology
Bivalves	<i>Dreissenidae Mytilopsis cf. leucophaeata</i>	Brackish
	<i>Unionidae Anodonta sp.</i>	Freshwater
Gastropoda	<i>Valvatidae Borysthenia naticina</i>	Freshwater
	<i>Hydrobiidae sp.</i>	Freshwater
	<i>Planorbidae Gyraulus sp.</i>	Freshwater (brackish)
	<i>Planorbidae Planorbarius cf. comeus</i>	Freshwater (brackish)
	<i>Lymnaeidae Lymnaea cf. peregra</i>	Freshwater (brackish)
	<i>Lymnaeidae Lymnaea cf. longiscata</i>	Freshwater (brackish)
	<i>Bithyniidea Bithynia sp. (Operculum)</i>	Freshwater (brackish)
	<i>Lymnaeidae Radix sp.</i>	Freshwater (brackish)
	<i>Zonitidae cf. Zonites sp.</i>	Terrestrial
	<i>Pristilomatidae Gyralina sp.</i>	Terrestrial
Ostracods	<i>Candona cf. iliensis</i>	Freshwater
	<i>Ilyocypris gibba</i>	Freshwater- brackish
	<i>Cyprideissublittoralis adentata</i>	Brackish
Diatoms	<i>Biddulphia sp.</i>	marine
	<i>Surirella sp.</i>	euryhaline
	<i>Coscinodiscus cf. gigas</i>	marine
	<i>Melosira sp.</i>	euryhaline
Foraminifer	<i>Ammonia tepida</i>	Brackish

جدول ۳- مجموعه فسیل‌های ماهی شناسایی شده در طبقات لیگنیت‌دار و شرایط بوم‌شناسی (اکولوژی) زیست آنها.

Table 3. Collection of fish fossils identified in lignite layers and their ecological conditions.

Fishes			
Family	Genus	Species	Ecology
Cyprinidae	<i>Leuciscus</i>	aff. <i>Leuciscus</i> sp.	Freshwater (brackish)
	<i>Scardinius</i>	aff. <i>Scardinius</i> sp.	Freshwater(brackish)
Atherinidae	<i>Atherina</i>	<i>Atherina atropatiensis</i>	Marine-euryhaline
Cyprinodontidae	<i>Aphanius</i>	<i>Aphanius persicus</i>	euryhaline

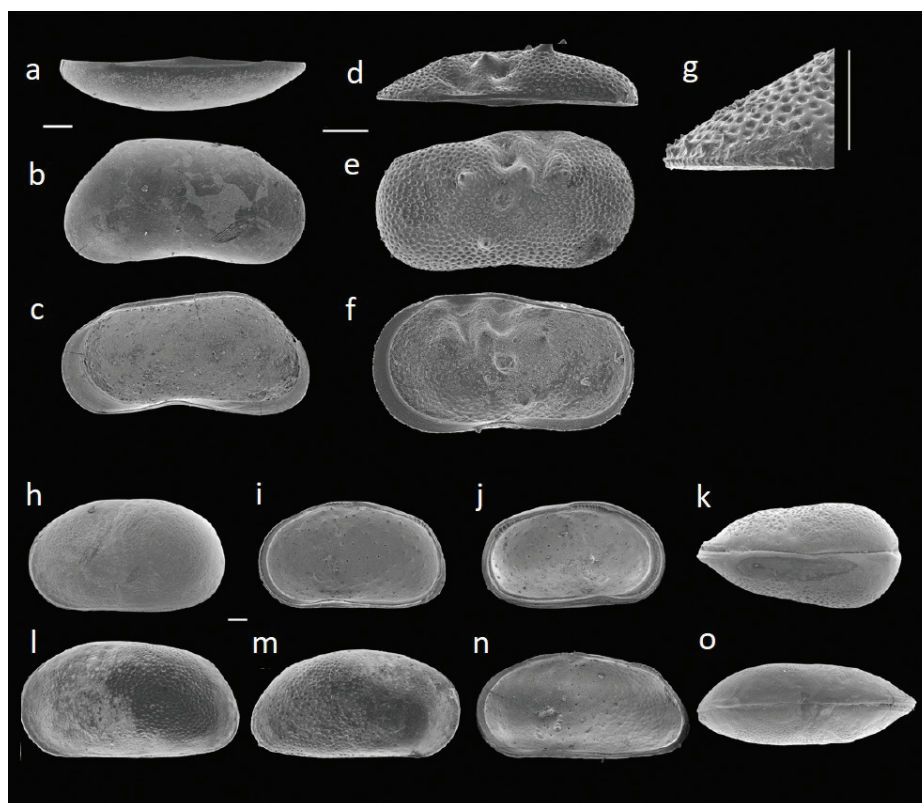


شکل ۱۳- شکم‌پایان و دوکفه‌ای‌های شناسایی شده در رسوبات از هر دو برش ساری‌داغ و مرزداران.

a) *Lymnaea* cf. *longiscata*; b) *Lymnaea* cf. *peregra*; c) *Valvatidae* *borysthenea*; d) *Planorbidae* *gyraulus*; e) Operculum of *Bithyniidea* *Bithynia*; f) *Hydrobiidae*; g) *Unionidae* *anodonta*; h) *Dreissenidae* *Mytilopsis* cf. *leucophaeata*; i) *Planorbarius* cf. *comeus*; j) *Zonitidae* cf. *Zonites* sp.; K) *Pristilomatidae* *Gyralina* sp.

Figure 13. Gastropods and Bivalves identified in sediments from both Sari Dag and Marzadaran sections.

a) *Lymnaea* cf. *longiscata*; b) *Lymnaea* cf. *peregra*; c) *Valvatidae* *borysthenea*; d) *Planorbidae* *gyraulus*; e) Operculum of *Bithyniidea* *Bithynia*; f) *Hydrobiidae*; g) *Unionidae* *anodonta*; h) *Dreissenidae* *Mytilopsis* cf. *leucophaeata*; i) *Planorbarius* cf. *comeus*; j) *Zonitidae* cf. *Zonites* sp.; K) *Pristilomatidae* *Gyralina* sp.

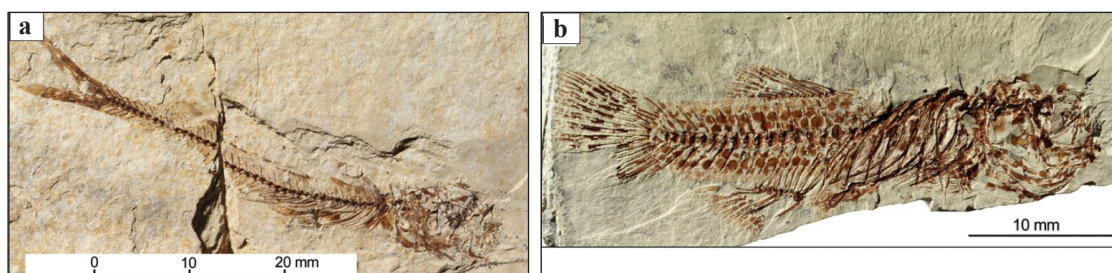
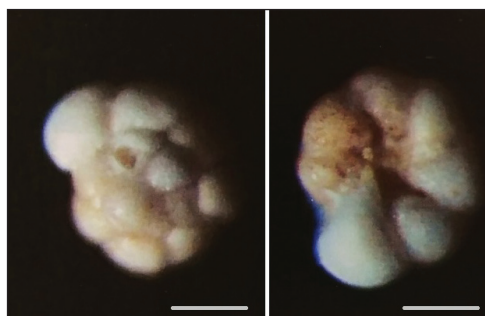


شکل ۱۴- استراکدهای مطالعه شده از طبقات لیگنیت‌دار در برش ساری داغ (نوار مقیاس ۱۰۰ میکرون است):
a-c) *Candona* cf. *iliensis*; d-g) *Ilyocypris gibba*; h-o) *Cyprideis sublittoralis adentata*, (Reichenbacher et al., 2011) (Scale bar is 100 microns).

Figure 14. The studied ostracods from the lignite Beds in Sari Dagħ section: a-c) *Candona* cf. *iliensis*
d-g) *Ilyocypris gibba*; h-o) *Cyprideis sublittoralis adentata*, (Reichenbacher et al., 2011) (Scale bar is 100 microns).

شکل ۱۵- روزن‌بر *Ammonia tepida* برش ساری داغ
(Sabouri et al., 2012) (اندازه نوار مقیاس ۱۰۰ میکرون).

Figure 15. foraminifera *Ammonia tepida* Sari Dagħ section (Sabouri, et al., 2012) (Scale bar is 100 microns).



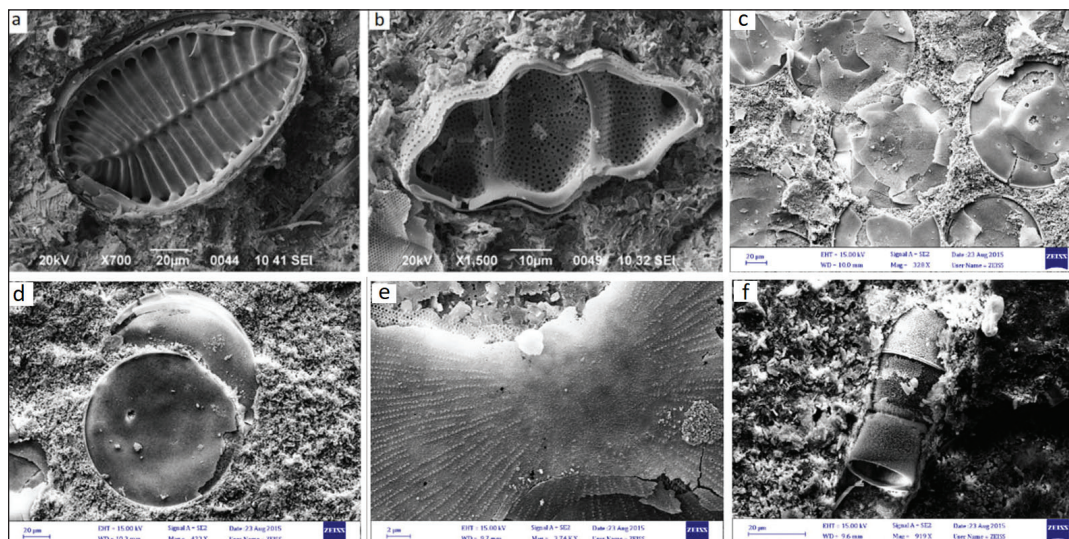
شکل ۱۶- فسیل اسکلت ماهی از طبقات لیگنیت‌دار (برش مطالعه مرزداران، طبقه رسوبی شماره ۱ و ۶)، a) *Atherina atropatiensis*; b) *Aphanis persicus* (Reichenbacher et al., 2011; Carnevale et al., 2011).

Figure 16. Fish skeleton fossils from lignite Beds (Marzdaran study section, sedimentary layers No. 1 and 6), a) *Atherina atropatiensis*; b) *Aphanis persicus* (Reichenbacher et al. 2011; Carnevale et al., 2011).

– آثار زیستی گیاهی (Flora)

تنها تا سطح جنس مورد شناسایی قرار گرفته‌اند. در مطالعات ریشن باخر و همکاران (Reichenbacher et al., 2011) بر روی این رسوبات، دو جنس *Surirella* و *Biddulphia* و دیاتومه‌های *Coscinodiscus cf. gigas* و *Melosira sp.* شناسایی شدند (جدول ۲ و شکل ۱۷).

فسیل‌های گیاهی شامل دیاتومه‌ها، کاروفیت‌ها و فسیل گیاهی برگ می‌باشند. **الف) دیاتومه‌ها:** با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM) نوعی از دیاتومه‌ها (Diatom's frustules) در این نهشته‌ها شناسایی شد. البته به علت عمل تراکم و دیاژنز، بیشتر آنها قطعه قطعه و شکسته شده‌اند، از این رو، بیشتر نمونه‌های موجود،



شکل ۱۷- دیاتومه‌های مطالعه شده از طبقات لیگنیت‌دار، برش مرزداران، a) *Surirella*، b) *Biddulphia*، c) *Coscinodiscus cf. gigas*، d) *Coscinodiscus cf. gigas*، e) *Melosira sp.*، f) *Melosira sp.* (این مطالعه). (Reichenbacher et al. (2011) (e تا c).

Figure 17. Diatoms studied from lignite Beds, Marzadaran section, a) *Surirella*; b) *Biddulphia*, (Reichenbacher et al., 2011). c-e) *Coscinodiscus cf. gigas*; f) *Melosira sp.* (This study).

استراکودها و ماهی‌های معین ممکن است حضور داشته باشند. خرده‌های گیاهی، حشرات، خزندگان، دوزستان، پرندگان و پستانداران نیز از فسیل‌های غیردریایی نام برده شده است. جلبک‌ها از گیاهانی هستند که به میزان زیادی در بازسازی محیطی به کار رفته‌اند، جلبک‌های قرمز تقریباً منحصر در دریایی بوده ولی جلبک *Charophytes* جزو جلبک‌های آب شیرین می‌باشد (Reading, 2009; Rigby and Hamblin, 1972).

در رسوبات مورد مطالعه دو جنس دو کفه‌ای‌ها متعلق به محیط‌های آب شیرین و لب شور مورد شناسایی قرار گرفتند:

Mytilopsis cf. leucophaeata, *Anodonta sp.*

همچنین فسیل‌های صدف بازوپایان سازگار با محیط‌های آب شیرین، لب شور و محیط خشکی شناسایی شدند (جدول ۲):

Borysthenia naticina, *Hydrobiidae sp.*, *Gyraulus sp.*, *Planorbarius cf. comeus*, *Lymnaea cf. peregra*, *Lymnaea cf. longiscata*, *Bithynia sp.*, *Radix sp.*, *Zonitidae cf. Zonites*, *Gyalina sp.*

استراکودهای بررسی شده مخلوطی از گونه‌های آب شیرین و لب شور (Freshwater to Brackish) می‌باشند:

Candona cf. iliensis, *Ilyocypris gibba*, *Cyprideis subblittoralis adentata*

البته گونه *adentata* استراکود مقاوم به شوری (Euryhaline) با سازگاری بیشتر در آب‌های الیگوهالین و مزوهالین زندگی می‌کند. این گونه همچنین از آب‌های با غلظت بسیار بالا (دریاچه‌های سودا) و آب‌های لب شور نیز گزارش شده است (Witt, 2010; Gross et al., 2008; Van Morkhoven, 1963).

ب) کاروفیت (Charophyte): این آثار به‌طور رایج در این رسوبات به‌ویژه در سنگ‌های آهکی با منشأ زیستی در دید ماکروسکوپی و نیز در مقاطع نازک تهیه شده از آنها دیده می‌شوند. دو بخش این گیاه شامل ساقه و اگتیا (*Oogonia*) که در واقع دانه این گیاه آبی می‌باشد، در این رسوبات دیده می‌شوند (شکل ۱۸- a تا d). **ج) برگ و ساقه گیاهی:** آثار گیاهی برگ، ساقه و نیز قطعات تخریبی گیاهی در اندازه‌های مختلف در داخل این رسوبات دیده می‌شوند. از جمله آثار یافت شده فسیل گیاه جنس *Typha* (لونی) متعلق به خانواده *Typhaceae* بوده است که در نهشته‌های مارتی شناسایی شدند. *Typha* از گروه گیاهان تک‌لپه‌ای می‌باشد که امروزه نیز در مناطق باتلاقی حاشیه دریاچه‌ای رشد می‌کنند (شکل ۱۸- e). گابریلین و همکاران (Gabrielyan et al., 2012) موفق به شناسایی گیاه *Nelumbo protospeciosa* (نیلوفر آبی) از طبقات لیگنیت‌دار گردیدند (شکل ۱۸- f). همچنین او در مطالعات خود به کشف آثار سایر گیاهان آب‌زی و نزدیک آبی *Monocotyledones sp.* و *Phragmites sp.* اشاره نموده است.

۵-۲- تحلیل محیطی شواهد فسیلی

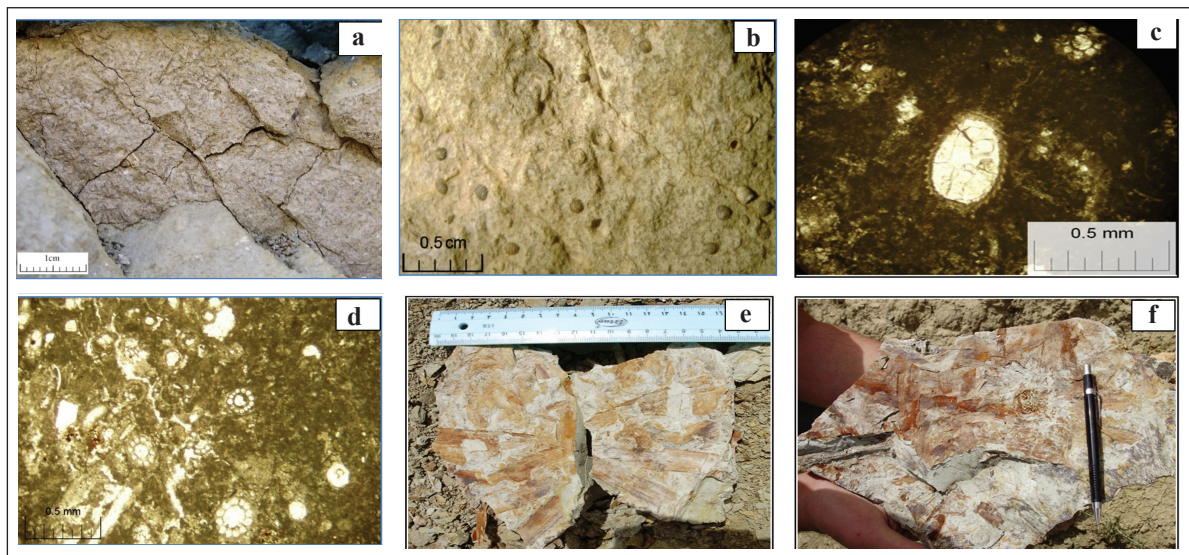
رسوبات دریاچه‌ای به دلیل شرایط استرسی زیاد ناشی از حساس بودن دریاچه‌ها به تغییرات آب و هوایی، تنوع فسیلی بسیار کمتری از رسوبات دریایی دارند. فونای دریایی شامل گروه‌های بی‌مهرگان *Stenohaline* با تحمل تغییرات شوری محدود مانند مرجان‌ها، بازوپایان (براکیوپودها)، اکتینودرم‌ها، سرپایان (سفالوپودها)، بریوزوئین‌ها، تریلوبیت و رادیولرها در رسوبات دریاچه‌ای وجود ندارند. از سوی دیگر، فلورای غیردریایی مانند برخی از جلبک‌ها و فونای بازوپایان، دو کفه‌ای‌ها،

لاگونی یا لب شور اروپا و آسیا و در مواردی در محیط‌های آب شیرین معرفی شده‌اند (Schwarzahns et al., 2020; Reichenbacher and Kowalke, 2009; Carnevale et al., 2006). گونه‌های ماهی *Atherina atropatiensis* و *Aphanius persicus* گونه بومی (endemic) حوضه تبریز می‌باشند، از این رو، نیازهای زیستی آنها به‌طور دقیق شناسایی نشده است. روزنر *Ammonia tepida* یک روزنر کفزی (Bentic) بوده و به‌طور معمول در داخل رسوبات لب شور محیط دریایی زندگی می‌کند و دارای تحمل شرایط دمایی و شوری بالایی می‌باشد (Dupuy et al., 2010). جلبک کاروفیتا (*Charophyte*) به‌ویژه در طبقات آهکی این رسوبات متداول است. این جلبک سازگار با محیط‌های آب شیرین می‌باشد (Soulié-Märsche, 2008; Kröpelin and Soulié-Märsche, 1991).

اثر گیاهی جنس *Typha* و *Nelumbo protospeciosa* که از داخل رسوبات مارنی لیگنیت‌دار یافت شده است، متعلق به مناطق باتلاقی حاشیه دریاچه‌ای می‌باشد (Yavuz-Işık, 2008; Casas-Gallego et al., 2021).

Candona iliensis یک تاقسون متعلق به آب شیرین می‌باشد. این استراکود از رسوبات آب شیرین میوسن تا پلیستوسن ترکیه و پلیوسن قزاقستان گزارش شده است (Mandelstam and Schneider, 1963; Lutz, 1965). دیاتومه‌های شناسایی شده در این رسوبات شامل جنس‌های *Biddulphia*، سازگار با محیط دریایی و *Surirella* که یک دیاتومه مقاوم به شوری (euryhaline) است، می‌باشد (جدول ۲) (Round et al., 1990). دیاتومه گونه *Coscinodiscus gigas* که در این نهشته‌ها تشخیص داده شده است یک دیاتومه دریایی می‌باشد (Hartley et al., 1986). همچنین دیاتومه *Melosira* sp. جنس مقاوم به شوری (euryhaline) است (Fischer, 1986). از آثار اسکلت ماهی مورد مطالعه قرار گرفته، جنس‌های *Scardinius* و *Leuciscus* متعلق به محیط آب شیرین تالاب شور هستند (جدول ۳) (Schulz-Mirbach and Reichenbacher, 2006; Ülkümen and Yigitbaş, 2007; Popescu et al., 2015).

گونه‌های جنس *Atherina* و *Aphanius* یوری‌هالین می‌باشند و اکثراً از آب‌های



شکل ۱۸ - (a, b) آثار ساقه‌های کلسیتی و اگنیا (oogonia) جلبک کاروفیتا در سنگ آهک نوع ریز رخساره کارا پکستون؛ (c) اگنیای کاروفیتا؛ (d) ساقه جلبک کاروفیتا در مقطع میکروسکوپی؛ (e) فسیل ساقه و گل گیاه جنس *Typha* (در رخساره مارن لامینه‌ای)، ناحیه نگین پارک تبریز؛ (f) فسیل گیاه *Nelumbo protospeciosa* یا نیلوفر آبی (در رخساره مارن لامینه‌ای)، ناحیه نگین پارک تبریز.

Figure 18. a,b) Calcite stems and oogonia of Carophyta algae in Chara packstone microfacies; c) Oogonia of Carophyta; d) Carophyta algae stem in microscopic section; e) Fossil stem and flower of *Typha* plant (laminated marl facies), Negin Park, Tabriz; f) Fossil plant *Nelumbo protospeciosa* or lotus (laminated marl facies), Nagin Park, Tabriz.

۵-۳- شواهد رسوب شناختی

نواحی خط ساحلی و ساحلی (nearshore and shore) در این محیط می‌شود. از نظر سکانس‌های رسوبی، به علت آنکه تمام دریاچه‌ها سرانجام پر می‌شوند، سیر قهقرایی در تاریخچه هر دریاچه حاکم است. بنابراین، سکانس دریاچه‌ای ایده‌آل از پایین به بالا شامل سنگ‌های ریزدانه به سمت رسوبات درشت‌دانه‌تر ساحلی و رودخانه‌ای است. سنگ آهک آب شیرین بیشتر دریاچه‌ای است. حضور لامیناسیون نازک در صورتی که وارو (نهشته‌های سالیانه) باشند، دلیل قطعی محیط دریاچه‌ای هستند (Ramisch et al., 2020; Reading, 2009).

همچنین ساخت‌های رسوبی مورب درهم (Herringbone)، مورب‌پشته‌ای (hummocky) و طبقات فلاسر (Flaser bedding) نشان‌دهنده محیط جزر و مدی دریایی می‌باشند (Yang et al., 2006; Lakshminarayana et al., 2020; Tucker, 2001).

نهشته‌های دریاچه‌ای دیرینه اغلب از نظر وسعت محدود هستند، ولی به‌طور میانگین ستبرای زیادی دارند. همچنین دریاچه‌ها برخلاف دریاها دارای رسوبات ساحلی و نزدیک ساحلی کمتر توسعه یافته‌ای هستند. علت این امر ضعیف بودن از نظر تأثیرات جزر و مدی، فراوانی و ارتفاع موج‌ها در دریاچه‌ها است. از سوی دیگر، بزرگی حوضه دریاچه‌ای و یا وجود نوسانات گسترده در سطح آب دریاچه، موجب ایجاد رسوبات ساحلی و دلتایی با گسترش بیشتری می‌شود. معمولاً انتقال رخساره رودخانه‌ای به دور از ساحل در دریاچه‌ها ناگهانی و رسوبات ریز دانه دریاچه‌ای می‌توانند به‌طور مستقیم در مقابل bedrock احاطه‌کننده حوضه قرار بگیرند، بدون آن که نهشته‌های درشت‌دانه‌تر خط ساحلی و ساحل حضور داشته باشند. محدود بودن فعالیت امواج در دریاچه‌ها، زمینه تشکیل پیت‌ها و لجن‌های ارگانیکی در

۸- وجود طبقات کالکریت یا خاک دیرینه (گروه ریز رخساره آهکی نوع B) که نشان‌دهنده بیرون آمدگی رسوب آهکی از آب و طی مرحله خاک‌زایی می‌باشد، در این نهشته‌ها وجود دارند که خود گویای یک محیط قاره‌ای و غیر دریایی می‌باشد (شکل ۱۱- g و h).

۹- تشکیل محدود کانی‌های تبخیری اولیه، درجه پایین شوری محیط تشکیل را نشان می‌دهد (Tucker, 2001). در نهشته‌های مورد مطالعه، هالیت تشکیل نگردیده است. ژپس و انیدریت اولیه به‌صورت کاملاً محدود در این رسوبات تشکیل شده است. ژپس‌های رگه‌ای در این رسوبات حضور دارند. طبق بررسی‌های انجام شده، تشکیل این ژپس‌های ثانویه در ارتباط با حضور کانی‌های پیریت رسوبی و تجزیه آنها می‌باشند (Potter et al., 2005; Meng et al., 2017)؛ حق‌فرشی، ۱۳۸۹ ب).

۱۰- تشکیل کانی‌های آهن، رقیق بودن آب در یک محیط دریاچه‌ای را نشان می‌دهد (Reading, 2009). تجمع پیریت میکروگرانولار یا میکروسکوپی را می‌توان یکی از ویژگی‌های نهشته‌های دریاچه‌ای به‌شمار آورد (Keighley et al., 2018). مطالعات انجام شده بر روی این نهشته‌ها نشان می‌دهند که کانی پیریت میکروگرانولار، هماتیت و لیمونیت در این رسوبات تشکیل شده‌اند. همچنین کانی سیدریت به صورت ندولار و لایه‌ای در رخساره «گل‌سنگ‌های آهن‌دار» شناسایی شدند که در نقشه زمین‌شناسی با علامت M^{fs} نشان داده شده‌اند. انجام آنالیز XRD بر روی نمونه کنکرسون‌ها نشان‌دهنده ترکیب کانی‌شناسی ۹۸/۹ درصدی کانی سیدریت می‌باشد (شکل ۶، شکل ۱۲- c, d, e، و شکل ۹).

از این رو، با توجه به معیارهای گفته شده در بالا، ویژگی‌های زیر مربوط به نهشته‌های مورد مطالعه مد نظر قرار داده شده‌اند.

۱- گسترش محدود این نهشته‌ها در مقابل سبترای نسبتاً زیاد آنها می‌تواند به عنوان نخستین دلیل حوضه دریاچه‌ای مد نظر قرار بگیرد (شکل ۲).

۲- در مطالعات صحرایی این رسوبات عدم توسعه رسوبات ساحلی، انتقال ناگهانی و گاه بین‌انگشتی رسوب دانه‌ریز بخش دور از ساحل به رسوب رودخانه‌ای به دفعات مشاهده می‌گردد (شکل ۱۹).

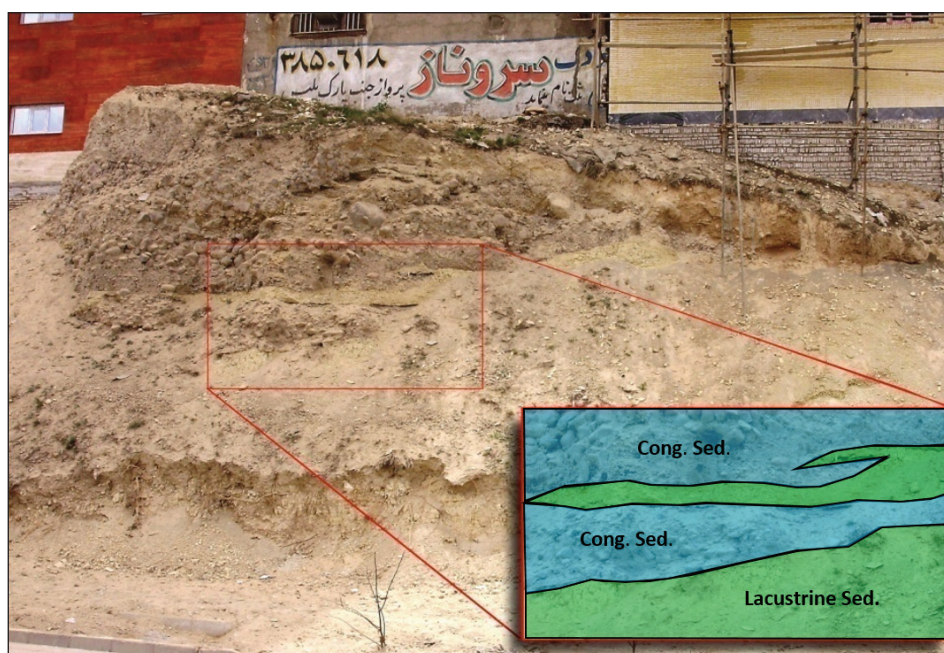
۳- حضور لایه‌های لیگنیتی نسبتاً فراوان در این رسوبات (رخساره لیگنیت)، دلیلی بر یک محیط دریاچه‌ای با سواحل آرام دارد (شکل ۱۲- f).

۴- همچنین احاطه شدن این رسوبات توسط کنگلومرای رودخانه‌ای و در مقطع قائم قرار گیری به‌طور هم‌شیب بر روی آنها روند قهقراپی حاکم بر این رسوبات را نشان داده که در محیط‌های دریاچه‌ای معمول می‌باشد (شکل ۶).

۵- در رسوبات مورد مطالعه حضور لایه‌های سنگ آهک آب شیرین (حاوی جلبک کاروفیت) در گروه رخساره‌های آهکی، به‌ویژه ریز رخساره «کارا پکستون» نشان از یک محیط غیردریایی و دریاچه‌ای دارد (Sanjuan et al., 2020) (شکل ۱۸- d تا e).

۶- حضور ساخت‌های لامیناسیون افقی در «رخساره مارن لامینه‌ای» این نهشته‌ها که در واقع از نوع نهشته‌های فصلی یا واروهای نوع غیربخچالی (Nonglacial varves) بوده و منشأ زیستی و بیوشیمیایی دارند، نشان‌دهنده محیط دریاچه‌ای می‌باشند (شکل ۱۲- b).

۷- ساخت‌های رسوبی نشان‌دهنده محیط جزر و مدی دریایی، در رخساره‌های سازند لیگنیت‌دار تبریز مشاهده نشده‌اند.



شکل ۱۹- انتقال سریع و بین‌انگشتی نهشته کنگلومرای رودخانه‌ای به نهشته‌های دریاچه‌ای.

Figure 19. Rapid and interfinger transfer of fluvial conglomerate deposits to lacustrine deposits.

۴-۵- تحلیل محیط رسوبی و جغرافیای دیرینه

بررسی کلی نهشته‌های دو برش مرزداران و ساری‌داغ نشان می‌دهد که نهشته‌های برش مرزداران دارای رسوبات آواری ریز دانه بیشتر و حضور نهشته‌های واروی می‌باشد. از این رو، این نهشته‌ها در شرایط محیط دریاچه‌ای با ژرفای زیاد تشکیل شده‌اند. در مقابل، نهشته‌های برش ساری‌داغ به دلیل داشتن رخساره‌های آواری دانه‌درشت‌تر و حضور رخساره خاک دیرینه در افق‌های مختلف، که نشانه خروج رسوبات از آب

یافته‌های این پژوهش شامل شواهد دیرینه‌شناسی، رسوب‌شناسی و رخساره‌ای گویای آن هستند که رسوبات سازند لیگنیت‌دار تبریز در یک محیط دریاچه‌ای ته‌نشست شده‌اند. نبود مجموعه فسیل‌های عمده و شاخص دریایی، خود دلیلی بر یک محیط غیردریایی چیره می‌باشد. با پذیرفتن محیط رسوبی غالباً دریاچه‌ای برای این نهشته‌ها،

و یا مقاوم به شوری شاهدهی بر این رویداد خواهد بود. این شواهد تأیید کننده در این نهشته‌ها دیده نمی‌شوند. برای و همکاران (Bright et al., 2018) در پژوهش خود تغییرات آشکار در تاکسای روزن‌بران و سایر فونای حوضه Bouse میوسن در اثر قطع ارتباط با حوضه دریایی در کالیفرنای آمریکا را نشان داده‌اند. در حالت بعدی، می‌توان چنین فرض نمود که حوضه دریایچه‌ای از یک حوضه پیشین دریایی و یا حوضه بزرگ تر مرتبط با حوضه دریایی ایجاد شده است. پایین رفتن سطح اساس آب‌های آزاد و یا فعالیت‌های زمین‌ساختی، عقب‌نشینی دریا و تبدیل حوضه دریایی به حوضه کوچک‌تر دریایچه‌ای بسته را باعث شده است. در این حالت می‌توان گفت فونای دریایی موجود می‌تواند به ارث رسیده از حوضه دریایی پیشین باشد. با قطع ارتباط حوضه از محیط دریایی، تاکسای دریایی که توانایی سازگاری با شرایط شوری پایین‌تر را دارند، باقی مانده و سایر گونه‌های آب شور از بین می‌روند. در این شرایط همچنین می‌توان ایجاد گونه‌های جدید بومی (endemic) از گونه‌های دریایی سازگار با شرایط محیطی جدید را در طول زمان زمین‌شناسی شاهد بود. چنانچه در بالا بیان شد، در نهشته‌های مورد مطالعه دو گونه ماهی جدید به نام‌های *Atherina atropatiensis* و *Aphanius persicus* به عنوان گونه بومی این حوضه شناسایی و معرفی شده‌اند.

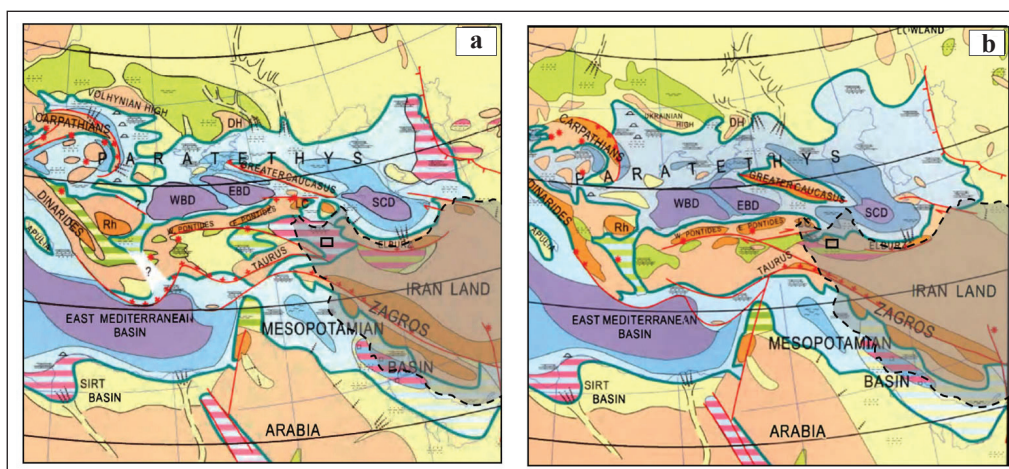
طبق مطالعات و نقشه ارائه شده توسط پوپوف و همکاران (Popov et al., 2004)، در زمان میوسن بالایی (سراوالین)، یک حوضه دریایی کم ژرفایی در ناحیه شمال باختری ایران و خاور ترکیه وجود داشته است. این دریا با دریای پاراتیس در شمال و حوضه مزوپوتامین (زاگرس) در جنوب باختری در ارتباط بوده است. عقب‌نشینی این حوضه دریایی می‌تواند به تشکیل حوضه‌های کوچک‌تر درون قاره‌ای از جمله حوضه دریایچه‌ای لیگنیت‌دار به سن تورتنین در این ناحیه منجر شده باشد (شکل ۲۰). انتقال از سازند لیگنیت‌دار به طبقات ماهی‌دار با تغییر در رخساره‌ها، تغییر مکانی و افزایش مساحت گسترش حوضه همراه شده است. افزون بر آن، شواهد فسیلی نیز گویای تغییر عمده در جنس ماهی‌ها و ایجاد تنوع بیشتر در تاکسای دیاتومه‌ها مربوط به رسوبات ماهی‌دار است (Reichenbacher et al., 2011).

بر اساس این شواهد، اتصال حوضه رسوبی تبریز به محیط دریایی، به احتمال زیاد در مرز انتقال از حوضه لیگنیت‌دار به ماهی‌دار (در زمان تورتنین بالایی) رخ داده است. مدل رسوبی برای حوضه لیگنیت دار طبق شواهد مطالعات انجام شده ترسیم شد (شکل ۲۱).

است، در محیط حاشیه‌های دریایچه‌ای و یا دریایچه کم‌ژرفا نهشته شده‌اند. از نظر میزان شوری آب، در کل، بیشتر شواهد زیستی نشان‌دهنده محیط آب شیرین تالب شور این حوضه رسوبی می‌باشند. حضور اجتماعات جانوری و گیاهی آب شیرین تالب شور، شامل نرم‌تنان، استراکودها، جلبک کاروفیتا و نبود رسوبات تبخیری اولیه عمده دال بر این شرایط می‌باشند. حضور نهشته‌های فصلی (واروی) نشان‌دهنده لایه‌بندی توده آب در شرایط ژرفای زیاد و وجود لیگنیت گویای آب و هوای پربارش و مرطوب می‌باشد که خود پشتیبانی کننده برای شوری پایین آب دریایچه می‌باشند.

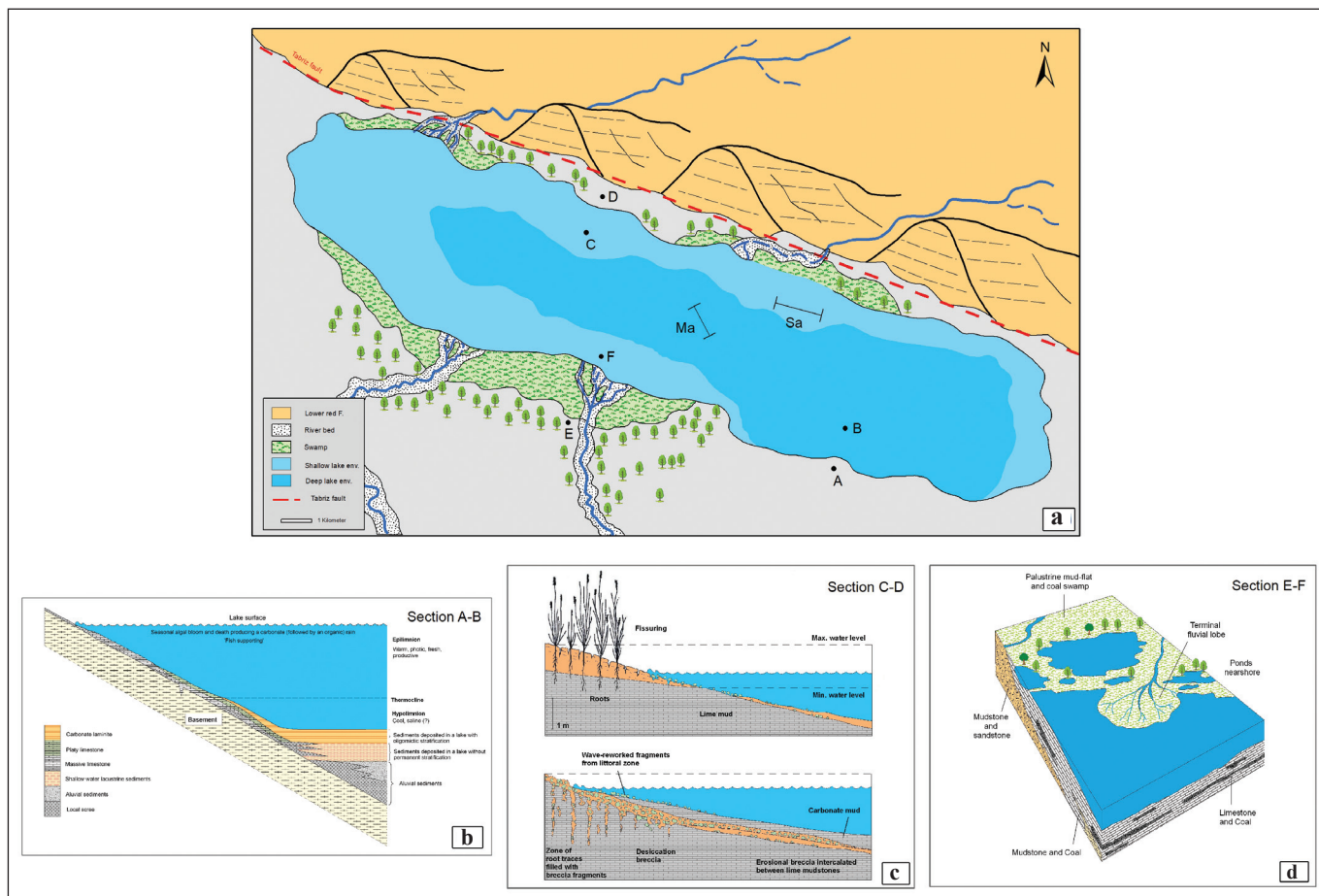
از طرفی، مطالعات انجام شده به شناسایی تعدادی تاکسای دریایی و مقاوم به شوری (euryhaline) در این نهشته انجامیده است. این فسیل‌ها شامل ماهی جنس‌های *Atherina* و *Aphanius*، دیاتومه‌های *Biddulphia* و *Surirella* و روزن‌بر *Ammonia tepida* می‌باشند. همچنین دو دیاتومه شناسایی شده در مطالعه جاری *Coscinodiscus cf. Melosira* و *gigas* نیز به ترتیب دیاتومه‌های دریایی و مقاوم به شوری می‌باشند. به نظر ریشن باخر و همکاران (Reichenbacher et al., 2011)، حضور تاکسای دریایی در این رسوبات می‌تواند ناشی از ایجاد ارتباط‌های موقت بین حوضه تبریز و حوضه پاراتیس در بازه زمانی میوسن پسین باشد. وی این ارتباط را با توجه به مطالعات و نقشه‌های پوپوف و همکاران (Popov et al., 2004) از طریق خلیج Kuru و دره رودخانه ارس و در نهایت اتصال به دریای کاسپین دانسته است. البته شایان ذکر است که مطالعه ریشن باخر و همکاران (Reichenbacher et al., 2011) شامل هر دو سازندهای ماهی‌دار و لیگنیت‌دار با دیدی کلی بر فسیل‌ها در آنها بوده است.

حضور تاکسای دریایی حوضه رسوبی لیگنیت‌دار در کنار تاکسای آب شیرین دریایچه‌ای را می‌توان به دو حالت تفسیر نمود. در حالت اول، حوضه دریایچه‌ای مورد مطالعه در طول حیات خود در اثر فعالیت‌های زمین‌ساختی میوسن بالایی و یا نوسانات پاراتیس با حوضه دریایی یاد شده مرتبط شده است. در این شرایط، لزوماً باید شاهد دو تغییر باشیم. ۱- تغییر در نوع رخساره‌های رسوبی. طبق مطالعات انجام یافته پاولیک (Pavelić, 2022) از شواهد اتصال به یک محیط دریایی ظهور ناگهانی رسوب ماسه‌ای دانه درشت با ستبرای زیاد در بین رسوبات دانه‌ریز دریایچه‌ای است. وی همچنین با مطالعه رسوبات دریایچه‌ای میوسن پیشین در شمال کروواسی جایگزینی رخساره عمدتاً تبخیری با رسوب عمدتاً سیلیسی آواری را در نتیجه تغییر شرایط یک دریایچه بسته به دریایچه باز نشان داده است. ۲- تغییر دیگر در نوع فسیل‌ها می‌باشد. به بیان دیگر، تبدیل تاکسای آب شیرین به تاکسای عمدتاً دریایی



شکل ۲۰- نقشه‌های گسترش حوضه‌های پاراتیس، مدیترانه و زاگرس در زمان میوسن میانی و پسین و موقعیت ایران و ناحیه مورد مطالعه (مستطیل سیاه رنگ)، برگرفته از پایاف و همکاران (Popov et al., 2004). a) Lower Serravallian (۱۳-۱۴ میلیون سال)، b) Lower Tortonian (۱۱-۱۲ میلیون سال).

Figure 20. Maps of the expansion of the Paratethys, Mediterranean and Zagros basins during the middle and late Miocene and the location of Iran and the studied area (black rectangle), (Popov et al., 2004). a) Lower Serravallian (13-14 Ma); b) Lower Tortonian (11-12 Ma).



شکل ۲۱- (a) مدل رسوبی حوضه سازند لیگنیت‌دار، محل تقریبی برش‌های مورد مطالعه Ma و Sa و محل برش‌های تصاویر b, c, d در این تصویر مشخص شده‌اند. (b) شرایط تشکیل رخساره‌های مارن لامینه‌ای و غیرلامینه‌ای (برش A-B در تصویر a)؛ (c) محیط تشکیل رخساره سنگ آهک فنسترال مادستون (کالکرت)، (برش C-D)؛ (d) محیط تشکیل رخساره لیگنیت، (برش E-F)، (شکل‌های b تا d برگرفته از ریدینگ (Reading, 2009)).

Figure 21. a) The sedimentary model of the lignite Beds basin, the approximate location of the studied sections Ma and Sa and the location of the sections of the images b,c,d are specified in this image; b) Formation conditions of laminated and massive marl facies (section A-B in Fig. a); c) The formation environment of Fenestral Mudstone limestone facies (calcrete), (section C-D); d) The formation environment of lignite facies, (section E-F), (Figures b to d redrawn from Reading, 2009).

۶- نتیجه‌گیری

Biddulphia, *Surirella*، دیاتومه‌های *Cyprideis* و *Candona*, *Ilyocypris* و *Leuciscus*, *Scardinius*, *Atherina*، ماهی‌های *Melosira* و *Coscinodiscus* (*Charophyte*) *Ammonia tepida* و فسیل گیاهان کاروفیت *Nelumbo protospeciosa* و *Typha* و محیطی آب شیرین تا لب شور و تعداد معدودی سازگار با شرایط شور دریایی می‌باشند. در نهشته‌های مورد مطالعه با وجود شواهدی فسیلی مبنی بر تأثیرات محیط دریایی، آثار رسوبی مبنی بر اتصال به محیط دریایی در زمان حیات این حوضه مشاهده نمی‌شود. از این رو، چنین نتیجه‌گیری می‌شود که فسیل‌های دریایی موجود، می‌توانند باقی‌مانده و سازگار یافته از یک محیط دریایی پیشین باشند. بازه زمانی و جغرافیای دیرینه ناحیه مورد مطالعه تأیید کننده این نتیجه‌گیری می‌باشند.

رخساره‌ها، ریزرخساره‌ها و رخساره‌سنگی‌های (پتروفاسیس) رسوبی شناسایی شده در برش‌های مورد مطالعه شامل ریزرخساره‌های آهکی، رخساره‌سنگی‌های ماسه‌سنگی، رخساره‌های آواری ریزدانه و رخساره لیگنیت و توف می‌باشند. این رخساره‌ها نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در محیط‌های رسوبی حوضه دریاچه‌ای، ساحل دریاچه‌ای و حاشیه‌ای باتلاقی می‌باشند. از طرفی، شواهد رخساره‌ای و تغییرات سریع آنها در جهت قائم بسته بودن این حوضه را نشان می‌دهند. مقایسه برش مرزداران با برش ساری‌داغ گویای محیط دریاچه‌ای ژرف‌تر در نهشته‌های این برش می‌باشد. جنس‌ها و گونه‌های فسیلی شناسایی شده در این نهشته‌ها، شامل فسیل‌های دوکفه‌ای *Mytilopsis*, *Anodonta*، شکم‌پایان *Borysthenia naticina*, *Hydrobiidae*, *Gyraulus*, *Planorbarius*، استراکودهای *Gyrallina* و *Bithynia longiscata*, *Radix peregra*, *Zonites*

کتابنگاری

- اسدیان، ع.، ۱۳۷۲، نقشه زمین‌شناسی تبریز، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- افتخارنژاد، ج.، قریشی، م.، مهرپرتو، م.، ارشادی، س.، زهره بخش، آ.، ۱۳۷۰، نقشه زمین‌شناسی تبریز- پلدشت، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- حق‌فرشی، ع.، ۱۳۸۹ الف، مطالعه توالی‌ها، رخساره‌ها و محیط رسوبی تشکیلات پلیوسن زیرین در ناحیه تبریز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد گرایش رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران، ۲۱۳ ص. <https://ganj.irandoc.ac.ir/viewer/ddcc05ffd564735165e99190a8f65f8b>.
- حق‌فرشی، ع.، ۱۳۸۹ ب، تشکیل کانی‌های ژئیس و مراحل دیانزی آنها در سازند لیگنیت‌دار، شرق تبریز، فصلنامه رسوب و سنگ رسوبی، سال سوم، شماره هشتم، بهار ۱۳۸۹، ص ۳۳-۴۴. <https://www.researchgate.net/publication/344401414>
- حق‌فرشی، ع.، ۱۳۸۹ پ، رخساره کالکریت، ویژگی‌های آن و تفسیر آب و هوای دیرینه در سازند لیگنیت‌دار، بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین ۲۷-۲۵ شهریور ماه ۱۳۸۹، ارومیه. <https://www.researchgate.net/publication/344401436>
- حق‌فرشی، ع.، ۱۳۹۲، جدایش سازند لیگنیت‌دار تبریز به دو بخش (member) و بررسی سن این سازند بر اساس مطالعات جدید، سی و دومین گردهمایی علوم زمین - ۲۷-۳۰ بهمن ۱۳۹۲، مشهد. <https://www.researchgate.net/publication/344401442>
- حق‌فرشی، ع.، ۱۳۹۳، بررسی ویژگی‌ها و نحوه تشکیل کنکریون‌های آهن‌دار در سازند لیگنیت‌دار ناحیه تبریز، سی و سومین گردهمایی علوم زمین ۵-۳ اسفند ۹۳، تهران. <https://www.researchgate.net/publication/344401635>
- حق‌فرشی، ع.، ۱۳۹۵، مطالعه آثار زیستی گیاهی و جانوری طبقات رسوبی سازند لیگنیت‌دار تبریز جهت تشخیص شرایط شوری آب حوضه رسوبی این سازند، سی و پنجمین گردهمایی علوم زمین ۳-۱ اسفند ۱۳۹۵، تهران. <https://www.researchgate.net/publication/344401564>
- شیری، ر.، ۱۳۹۳، چینه‌شناسی مولکولی و بیومارکرهای لایه‌های لیگنیت‌دار نئوژن منطقه تبریز، شمالغرب ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد گرایش چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی، دانشگاه ارومیه. <https://www.virascience.com/thesis/803026>
- فریدی، م. و خداپنده، ع.، ۱۳۹۰ الف، نقشه و گزارش نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ کرگه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- فریدی، م. و خداپنده، ع.، ۱۳۹۰ ب، نقشه و گزارش نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ تبریز ۱، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- معین وزیری، ح. و امین سبحانی، ا.، ۱۳۵۶، سهند از نظر ولکانولوژی و ولکانوسدیماتولوژی، انتشارات دانشگاه تربیت معلم.

References

- Alavi, M., 1991. Tectonic map of the Middle East, 1: 5000000. Geological survey of Iran.
- Alavi, M., 2007. Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. American Journal of Science, 307(9), 1064-1095. <https://doi.org/10.2475/09.2007.02>.
- Allen, M., Jackson, J., and Walker, R., 2004. Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation rates. Tectonics, 23(2). 1-16. <https://doi.org/10.1029/2003TC001530>.
- Axen, G. J., Lam, P. S., Grove, M., Stockli, D. F., and Hassanzadeh, J., 2001. Exhumation of the west-central Alborz Mountains, Iran, Caspian subsidence, and collision-related tectonics. Geology, 29(6), 559-562. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2001\)029<0559:Eotwca>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2001)029<0559:Eotwca>2.0.CO;2).
- Bright, J., Cohen, A. S., and Starratt, S. W., 2018. Distinguishing brackish lacustrine from brackish marine deposits in the stratigraphic record: A case study from the Late Miocene and Early Pliocene Bouse Formation, Arizona and California, USA. Earth-Science Reviews, 185, 974-1003. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.08.011>.
- Carnevale, G., Haghfarshi, E., Abbasi, S., Alimohammadian, H., and Reichenbacher, B., 2011. A new species of silverside from the Late Miocene of NW Iran. Acta Palaeontologica Polonica, 56(4), 749-756. <http://dx.doi.org/10.4202/app.2011.0003>.
- Carnevale, G., Landini, W., Sarti, G., 2006. Mare versus Lago-mare: marine fishes and the Mediterranean environment at the end of the Messinian Salinity Crisis. Journal of the Geological Society of London 163, 75-80. <https://doi.org/10.1144/0016-764904-158>.
- Casas-Gallego, M., Marza, A., and Tudor, E., 2021. Palaeovegetation and palaeoclimate evolution during the Late Miocene to Early Pliocene of SE Romania. Geological Journal, 56(2), 821-838. <https://doi.org/10.1002/gj.3734>.
- Choi, B. D., Wang, Y., Hu, L., and Huh, M., 2020. Ostracod faunas from the Dalazi and Tongfosi formations (Yanji Basin, northeast China): Biostratigraphic, palaeogeographic and palaeoecological implications. Cretaceous Research, 105, 104018. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2018.11.015>.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Classification of Carbonate Rocks (Ed. W.E. Ham), Am. Assoc. Pet. Geol. Mem., 1, 108-121. <https://doi.org/10.1306/M1357>.
- Dupuy, C., Rossignol, L., Geslin, E., and Pascal, P. Y., 2010. Predation of mudflat meio-macrofaunal metazoans by a calcareous foraminifer, Ammonia tepida (Cushman, 1926). The Journal of Foraminiferal Research, 40(4), 305-312. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01248040>.
- Embry, A. F., and Klován, J. E., 1971. A late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, NWT. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 19(4), 730-781. <https://doi.org/10.35767/gscpgbull.19.4.730>.
- Fischer, H., 1986. Osmotic behaviour of some species of Melosira (Bacillariophyceae) from marine and inland waters. Botanica Marina, Vol. XXIX, pp.373-379. <https://doi.org/10.1515/botm.1986.29.5.373>.

- Folk, R. L., 1980. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Publishing Co., Austin, Texas, 182 pp. <http://hdl.handle.net/2152/22930>.
- Gabrielyan, I., Bruch, A., Alimohammadian, H., Sabouri, J., and Scharrer, S., 2012. A new finding of *Nelumbo protospeciosa* Sap. from the Upper Miocene of Tabriz, NW Iran, and its palaeoecological consequence. In Program and abstracts NECLIME symposium Nanjing, China. May 27-29 2012 (p. 37).
- Gaudant, J., 2011. *Aphanius persicus* (Priem, 1908)(Pisces, Teleostei, Cyprinodontidae): une nouvelle combinaison pour *Brachylebias persicus* Priem, 1908, du Miocène supérieur des environs de Tabriz (Iran). *Geodiversitas*, 33(2), 347-356. <http://dx.doi.org/10.5252/g2011n2a9>.
- Gliozzi, E., Rodriguez-Lazaro, J., and Pipik, R., 2017. The Neogene Mediterranean origin of *Cyprideis torosa* (Jones, 1850). *Journal of Micropalaeontology*, 36(1), 80-93. <https://doi.org/10.1144/jmpaleo2016-029>.
- Gross, M., Minati, K., Danielopol, D., and Piller, W., 2008. Environmental changes and diversification of Cyprideis in the Late Miocene of the Styrian Basin (Lake Pannon, Austria). *Senckenbergiana lethaea* 88, 161–181. <http://dx.doi.org/10.1007/BF03043987>.
- Haghfarshi, E., 2011. *The study of facies, sedimentary cycles and environments of lower Pliocene deposits in Tabriz area, Master's thesis in sedimentology and sedimentary petrology, Islamic azad university, Science and research branch, 213p. https://ganj.iranodoc.ac.ir/viewer/ddcc05ffd564735165e99190a8f65f8b. (In Persian).*
- Hartley, B., Ross, R., and Williams, D.M., 1986. A check-list of the freshwater, brackish and marine diatoms of the British Isles and adjoining coastal waters. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 66(3), 531-610. <https://doi.org/10.1017/S0025315400042235>.
- Keighley, D., McFarlane, C., and Berg, M. V., 2018. Diagenetic sequestration of rare earths and actinides in phosphatic oil shale from the lacustrine Green River Formation (Eocene), Utah, USA: an SEM and LA-ICP-MS study. *Journal of Paleolimnology*, 59(1), 81-102. <https://doi.org/10.1007/s10933-016-9905-3>.
- Kelts, K., and Shahrabi, M., 1986. Holocene sedimentology of hypersaline Lake Urmia, northwestern Iran. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 54(1-4), 105-130. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(86\)90120-3](https://doi.org/10.1016/0031-0182(86)90120-3).
- Kröpelin, S., and Soulié-Märsche, I., 1991. Charophyte remains from Wadi Howar as evidence for deep Mid-Holocene freshwater lakes in the Eastern Sahara of Northwest Sudan. *Quaternary Research*, 36(2), 210-223. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(91\)90026-2](https://doi.org/10.1016/0033-5894(91)90026-2).
- Lakshminarayana, G., Vijay Kumar, D., Kalyan Kumar, S., and Vaidyanadhan, R., 2020. Tidal Flat Sedimentation in Bairenkonda Formation of the Tirumala Hills, Southwestern Part of the Cuddapah Basin, Andhra Pradesh. *Journal of the Geological Society of India*, 96(4), 325-336. <https://doi.org/10.1007/s12594-020-1561-6>.
- Lintner, M., Biedrawa, B., Wukovits, J., Wanek, W., and Heinz, P., 2020. Salinity-dependent algae uptake and subsequent carbon and nitrogen metabolisms of two intertidal foraminifera (*Ammonia tepida* and *Haynesina germanica*). *Biogeosciences*, 17(13), 3723-3732. <https://doi.org/10.5194/bg-17-3723-2020>.
- Lutz, A.K., 1965. Jungtertiäre Süßwasser-Ostracoden aus Süddeutschland. *Geologisches Jahrbuch* 82, 271–330.
- Mandelstam, M.I., Schneider, G.F., 1963. The Fossil Ostracoda of the U.S.S.R.: Family Cypridae. *Trudy VNIGRI* 203, Leningrad, pp. 1–242. Plates I–XLII (In Russian).
- McKenzie, D., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, 30(2), 109-185.
- Mecquenem, R. de, 1906. Les Vertébrés fossiles de Maragha. *La Nature* 24:10. <https://www.doe.ir/portal/file/?408398/a9r6e3f.pdf>.
- Meng, Q., Hooker, J., and Cartwright, J., 2017. Genesis of natural hydraulic fractures as an indicator of basin inversion. *Journal of Structural Geology*, 102, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2017.07.001>.
- Murray, J., 1859. On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for life. <https://www.abebooks.com/book-search/title/origin-of-species/author/darwin/publisher/john-murray/pub-max/1859/>.
- Pavelić, D., Kovačić, M., Tibljaš, D., Galić, I., Marković, F., and Pavičić, I., 2022. The transition from a closed to an open lake in the Pannonian Basin System (Croatia) during the Miocene Climatic Optimum: Sedimentological evidence of Early Miocene regional aridity. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 586, 110786. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2021.110786>.
- Popescu, O., Cojocaru, D., and Ciorpac, M., 2015. Scardinius genus in Molecular studies-a review. *Journal of Experimental and molecular Biology*, 16(4), 139. http://www.jemb.bio.uaic.ro/old_pdfs/2015/4/Anale_GBM_F4_2015_versiuneFinala.pdf#page=5.
- Popov, S. V., Rögl, F., Rozanov, A. Y., Steininger, F. F., Shcherba, I. G., and Kovac, M., 2004. Lithological-paleogeographic maps of Paratethys-10 maps late Eocene to pliocene. ISBN 978-3-510-61370-0.
- Potter, P. E., Maynard, J. B., and Depetris, P. J., 2005. Mud and mudstones: Introduction and overview. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/b138571>.
- Ramisch, A., Brauser, A., Dorn, M., Blanchet, C., Brademann, B., Köppl, M., Mingram, J., Neugebauer, I., Nowaczyk, N., Ott, F., Pinkerneil, S., and Brauer, A., 2020. Varda (Varved sediments Database)—providing and connecting proxy data from annually laminated lake sediments. *Earth System Science Data*, 12(3), 2311-2332. <https://doi.org/10.5880/GFZ.4.3.2019.003>.
- Reading, H.G., 2009. Sedimentary Environments, Process, Facies and Stratigraphy, Third edition, Blackwell Scientific Ltd. Section 4, Lakes, 83-123, P.A. Allen and J.D. Collinson. ISBN: 978-1-118-68763-5.

- Reichenbacher, B., Alimohammadian, H., Sabouri, J., Haghfarshi, E., Faridi, M., Abbasi, S., Matzke-Karasz, R., Fellin, M. G., Carnevale, G., Schiller, W., Vasilyan, D., and Scharrer, S., 2011. Late Miocene stratigraphy, palaeoecology and palaeogeography of the Tabriz Basin (NW Iran, eastern Paratethys). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 311(1-2), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.07.009>.
- Reichenbacher, B., and Kowalke, T., 2009. Neogene and present-day zoogeography of killifishes (*Aphanius* and *Aphanolebias*) in the Mediterranean and Paratethys areas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281, 43–56. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2009.07.008>.
- Rieben, H., 1935. Contribution a l'ageologie de l'Azerbeidjan Persan. *Bull. Soc. Neuchâtoise sc. Natur., Neuchâtel*, 59 (1934): 20-144. <https://doi.org/10.3406/bulmi.1963.5609>.
- Rigby, J. K., and Hamblin, W. K. (Eds.), 1972. Recognition of ancient sedimentary environments (No. 16). Society of Economic Paleontologists and Mineralogists., Chapter of Criteria for Recognizing Lacustrine Rocks, 108-145.
- Round, F.E., Crawford, R.M., and Mann, D.G., 1990. *The Diatoms*. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/S0025315400059245>.
- Sabouri, J., Alimohammadian, H., Haghfarshi, E., Faridi, M., Bruch, A., Scharrer, S., Gabrielyan, I., Khodabande, A., Abasi, F., and Anvari, A., 2012. New Recoveries of The Neogene-Quaternary sedimentary basin of Tabriz city, A Joint Work, Internal report of the Geological Survey of Iran.
- Sanjuan, J., Vicente, A., and Eaton, J. G. 2020. New charophyte flora from the Pine Hollow and Claron formations (southwestern Utah). Taxonomic, biostratigraphic, and paleobiogeographic implications. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 282, 104289. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2020.104289>.
- Schulz-Mirbach, T., and Reichenbacher, B., 2006. Reconstruction of Oligocene and Neogene freshwater fish faunas - an actualistic study on cypriniform otoliths. *Acta Palaeontologica Polonica* 51, 283–304. <http://www.researchgate.net/publication/40663291>.
- Schwarzahns, W., Agiadi, K.O., and Carnevale, G., 2020. Late Miocene–Early Pliocene evolution of Mediterranean gobies and their environmental and biogeographic significance. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 126(3), 657-724. <https://doi.org/10.13130/2039-4942/14185>.
- Soulié-Märsche, I., 2008. Charophytes, indicators for low salinity phases in North African sebkhet. *Journal of African Earth Sciences*, 51(2), 69-76. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2007.12.002>.
- Stehlin, H. A., 1931. Una mandibula de giraffidae de tokoum (perse): *Eclogae Geologicae Helvetiae*, v. 24, no. 2, p. 279-275. https://www.kepco.ir/Content/media/image/2021/04/952_orig.pdf.
- Stöcklin, J., and Setudehnia, A., 1991. *Stratigraphic Lexicon of Iran*, Ministry of Industry and Mines, Geological Survey of Iran, Report No.18: 376p.
- Tucker, M. E. (Ed.), 2001. *Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks*. John Wiley & Sons. ISBN: 978-0-632-05735-1.
- Ülkümen, N. R., and Yiğitbaş, E., 2007. Pharyngeal teeth, lateral ethmoids, and jaw teeth of fishes and additional fossils from the Late Miocene (Late Khersonian/Early Maeotian) of Eastern Paratethys (Yalova, near Istanbul, Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16(2), 211-224. [10.3906/yer-0701-5](https://doi.org/10.3906/yer-0701-5).
- Van Morkhoven, F.P.C.M., 1963. *Post-Palaeozoic Ostracoda*, Vol. II, Generic Descriptions. Elsevier, Amsterdam.
- Witt, W., 2010. Late Miocene non-marine ostracods from the Lake Küçükçekmece region, Thrace (Turkey). *Zitteliana A* 50, 89–101. <https://doi.org/10.5282/ubm/epub.11990>.
- Yang, B., Dalrymple, R. W., and Chun, S., 2006. The significance of hummocky cross-stratification (HCS) wavelengths: evidence from an open-coast tidal flat, South Korea. *Journal of Sedimentary Research*, 76(1), 2-8. <https://doi.org/10.2110/jsr.2006.01>.
- Yavuz-Işık, N., 2008. Vegetational and climatic investigations in the Early Miocene lacustrine deposits of the Güvem basin (Galatean Volcanic Province), NW Central Anatolia, Turkey. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 150(1-4), 130-139. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2008.02.001>.