

Original Research Paper

New insights on the Late Miocene (Early Tortonian) paleogeography based on paleocurrent analysis of clastic deposits in the North Tabriz area

Enayatallah Haghfarshi¹, Seyyed Reza Moussavi Harami^{2*}, Peyman Rezaee¹, 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 and Mineral Exploration of Iran, Tabriz Center, Tabriz, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2025 March 09

Accepted: 2025 May 24

Available online: 2025 September 23

Keywords:

Tortonian
Late Miocene
Paleocurrent
Paratethys
Tabriz

ABSTRACT

The siliciclastic sediments studied are exposed in the northwest of Iran, northeast of Tabriz city. These deposits are lithologically composed of sedimentary beds of sandstone, pebbly sandstone, mudstone, claystone, conglomerate and shale. Sedimentary structures include trough and planar, herring bone and hummocky cross stratification, ripple mark, slump fold, parting lineation, gutter structure and flute mark. Microscopic petrological study of sandstones in these deposits reveals petrofacies of Chert arenite, Calcarenite, Feldspathic litharenite, Sub-litharenite, and Lithic arkose. In this study, a thickness of more than 200 meters was studied. The rock facies were identified based on sedimentary features and structures. The study of the facies indicates the shallow marine environment with low energy and storm-induced impacts at time intervals and relevant subenvironments. In order to analyze the paleocurrent, 123 planar and linear structures indicating the direction of current were measured. Related software was used to correct measurements made in inclined beds and a calculation method was used for measurements related to reversed beds. Rose diagrams were drawn using GeoRose software to show the direction of paleocurrent. Analysis of the paleocurrent in the presented diagrams shows a dominant direction of north to northeast, which, along with the age of the sediments and interpretation of the depositional environment, confirms the possible presence of the Paratethys Sea in the Late Miocene in this area. Also, using the available data, diagrams were drawn to show changes in the direction of paleocurrent in a vertical sequence, which, while showing changes in the direction of paleocurrent over time, reveal anomalous time intervals that indicate tectonic events in the area.

1. Introduction

The study area is located in northwestern Iran, north and northeast of the city of Tabriz. These deposits are estimated to be 700 meters thick and, based on previous studies, belong to the Upper Red Formation. These sediments include beds of sandstone, pebbly


sandstone, mudstone, claystone, conglomerate, and shale. The age of these deposits is Lower Tortonian, based on the dating performed by the Fission track method on the tuff bed that is present as an interlayer within these sediments. The sedimentary units of this

* Corresponding author: Seyyed Reza Moussavi Harami; E-mail: moussavi@um.ac.ir

Citation:

Haghfarshi, E., Moussavi Harami, S.R., Rezaee, P., and Faridi, M., 2025. New insights on the Late Miocene (Early Tortonian) paleogeography based on paleocurrent analysis of clastic deposits in the North Tabriz area. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 35(3), 137, 1-18. <https://doi.org/10.22071/gsj.2025.511298.2184>.

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

 doi: 10.22071/gsj.2025.511298.2184

 dor: 20.1001.1.10237429.1404.35.3.1.6



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

area include: the Upper Red Formation, the Tabriz Lignite Beds, the Tabriz Fish Beds, the Maragheh Bone Beds, and the volcanoclastic sediments resulting from the activity of the Sahand volcano. In terms of relationship with adjacent formations, the studied sediments are placed with a gradual boundary below the Tabriz Lignite Beds and with an angular unconformity on the Upper Red Formation. Based on the dating by the Fission track method and also the biostratigraphic method, the Late Tortonian and Early Tortonian ages have been proposed for the Lignite Beds and Fish Beds deposits, respectively. The most important tectonic structure of the region is the Tabriz strike-slip fault. This fault coincides with the collision site of the Arabian and Eurasian plates on the Neo-Tethys arc-arc collision zone. Geological evidence shows intense tectonic activities in the region during the Upper Miocene. The tectonic movements of the Tabriz fault, following the Alpine orogenic movements during the Late Miocene, played a fundamental role in the formation of the Neogene sedimentary basins of the Tabriz region. The main goal of this study is to determine the paleogeography and the Paratethys Sea during the Early Tortonian in the northwestern region of Iran using facies data and sedimentary environment, and especially paleocurrent data.

2. Research methodology

To study the facies and measure the sedimentary structures, a 200-meter-thick section was studied in the northeast of Tabriz. The lithology of the sandstones was studied based on the Folk (1980) classification. The studies of Einsele (2013) and Reading (2009) were used to study the facies and determine the sedimentary environment. To determine the direction of the paleocurrent, 124 sedimentary structures were measured, of which 94 were related to plate structures and 30 were related to linear structures. Sedlog software was used to display the measured stratigraphic column. Stereonet and FaultKin software were used to analyze the direction of the paleocurrent and to correct the inclined palnar-type strata. For rettiling the inclined and reversed beds related to the lineament measurements, the formulas presented by TETÁK (2018) were used. In this method, the formula $L=P_n-R+90^\circ$ was used for normal strata containing lineaments and the formula $L=P_i-R-90^\circ$ was used for reversed strata containing lineaments, where P_n and P_i are the dip (Dip D.) of the plane and R is the angle of the lineament with the strike of the strata. GeoRose and Excel software were used to present Rose diagrams and vertical sequence diagrams, respectively. The stereonet drawing method was also used to verify the accuracy of the calculations.

3. Results and discussions

In the first part of this research, the facies and sedimentary environment of siliceous detrital sequences in the study area were

investigated. The Upper Red Formation in this area, from oldest to newest, includes the geological units M^{sm} , M^e , M^l , and M^{sm} . The section studied in this research is related to the highest part of this sequence (M^{sm} unit) that has been studied. This unit consists of medium to very thick layers of sandstone, pebbly sandstone, marl, siltstone, claystone, conglomerate, and shale, and is mostly brown, reddish brown, gray, greenish gray, and cream in color. The siltstone layers are generally reddish brown in color, but the coarser-grained sandstone and conglomerate clasts are light gray to white and sometimes brown. The sedimentary structures in these deposits are Trough and Planar crossbedding, Herringbone and hummocky cross St., flute cast, wave and current ripple marks, parallel laminations cross laminations, groove cast, parting lineation, and gutter cast. Microscopic study of thin sections of these sandstones shows petrofacies of chertarenite, calcarenite, feldspathic litharenite, sublitharenite, and lithic arkose.

The identified facies and associated subenvironments in these sediments are summarized below: 1- Sandstones with wavy ripple marks or cross laminations are formed in the Foreshore, Shoreface and Backshore sub-environments in the shallow marine environment (Nearshore). 2- Sandstones containing current ripples are also formed above the base of wave action. 3- Sandstones containing parallel laminations are formed in the shallow marine environment and in the Backshore to Upper shoreface and Upper offshore sub-environments and in shallow environments with stormy conditions in the Proximal & distal tempestites area. 4- Sandstones with Hummocky cross-stratification are formed in shallow marine environments with stormy conditions on the shoreface and lesser in the distal tempestites (offshore). 5- Sand deposits containing Herring bone structure are formed on the tidal flat, in the intertidal zone and within tidal channels. 6- Sandstone to pebbly sandstone deposits containing Planar-type crossbedding are formed in the foreshore and shoreface in shallow marine environments. 7- Siltstone in alternation with sandstone layers, which are sometimes bioturbation is formed in under the Lower Shoreface to Inner Shelf environment. The rest of the facies are explained in the main text.

In general, according to the identified facies and sedimentary structures, in addition to the formation of glauconite mineral, it was a shallow marine environment with relatively low energy and related subenvironments. Reasons why these deposits can be related to the Paratethys Basin: 1- The shallow marine facies of these deposits 2- The absolute age obtained from these sediments is consistent with the period of expansion and advance of the Paratethys Sea in the northwestern region of Iran. 3- The presence of marine fossils known from the Paratethys Basin, including Fish and Diatoms fossils, in the Lignite Beds and fish Beds deposits of Tabriz, So that the Lignite Beds immediately above these strata

are gradually transformed. In the second part of this study, using measured paleocurrent direction data, rose diagrams were drawn, and according to these diagrams, the dominant paleocurrent direction in this basin was from south to northeast and east.

In this study, a diagram was drawn to show the changes in the direction of the paleocurrent on the vertical axis of the sedimentary sequence. According to this diagram, intervals with sudden changes in the conditions of the sedimentary basin are observed, which occurred in at least four time, and other parts of the diagram have stable conditions or gentle changes in the direction of the current. These stages can show the time intervals of the tectonic events of the region and the activity of the Tabriz fault that caused changes in the conditions of the sedimentary basin.

The study of the direction of paleocurrents indicates that a sedimentary basin was present in the north to northeast of this area, which, along with facies evidence and the depositional environment, confirms the possible expansion and presence of the Paratethys Sea in the Early Tortonian in this area.

4. Conclusion

Microscopic petrographic analysis of the sandstones in these deposits reveals the presence of petrofacies including chert arenite, calcarenite, feldspathic litharenite, sub-litharenite, and lithic

arkose. The study of sedimentary facies and structures of the lower Tortonian deposits in the northern Tabriz region indicates a shallow marine depositional environment with low energy conditions that was intermittently influenced by storm events. Various sub-environments, including shoreface, foreshore, and offshore, are interpreted for these deposits. The sediments lack foraminiferal microfossils, which can be attributed to the high-energy conditions of the depositional setting, its clastic nature, and the chemical characteristics of the sedimentary basin. Analysis of paleocurrent directions based on measurements of planar and linear sedimentary structures indicative of flow orientation shows that the dominant current direction was towards the north and northeast. This result, in combination with the identified depositional environment, suggests the presence of a marine sedimentary basin to the north and northeast of the region during the Late Miocene. This supports the hypothesis of a probable expansion of the Eastern Paratethys Sea during this time as far south as the Tabriz region, representing a key finding of this research. Additionally, this study introduces a novel method for enhancing the visualization of paleocurrent directional changes within a vertical sequence, which can illustrate the temporal variability of flow directions. The diagram plotted for the studied sediments highlights time intervals marked by anomalies or tectonic activity within the region.

یافته‌های نو پیرامون جغرافیای دیرینه میوسن پسین (تورتونین پیشین) بر اساس آنالیز جریان دیرینه در نهشته‌های آواری ناحیه شمال تبریز

عنایت‌الله حق‌فرشی^۱، سید رضا موسوی حرمی^{۲*}، پیمان رضایی^۱ و محمد فریدی^۳

^۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
^۲ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
^۳ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مرکز شمال باختری، تبریز، ایران

چکیده

رسوبات سیلیسی آواری مورد مطالعه در ناحیه شمال باختری ایران، شمال خاوری شهر تبریز رخنمون دارند. این نهشته‌ها از نظر سنگ‌شناسی، متشکل از طبقات رسوبی ماسه‌سنگ، ماسه‌سنگ پبلی، گل‌سنگ، رس سنگ، کنگلومرا و شیل می‌باشند. ساخت‌های رسوبی شامل طبقه‌بندی مورب عدسی و مسطح، مورب جناخی و پشته‌ای، موج‌نقش (ریپل‌مارک)، چین اسلامپ، جدایی خطی، ساخت ناودانی و فلوت کست می‌باشند. مطالعه سنگ‌شناسی میکروسکوپی بر روی ماسه‌سنگ‌های این رسوبات رخساره‌سنگی‌های (پتروفاسیس‌های) چرت آرنایت، کالک آرنایت، فلدسپاتیک لیتارنایت، ساب لیتارنایت و لیتیک آرکوز را نشان داد. در این مطالعه، ستبرای حدود ۲۰۰ متر مورد مطالعه قرار گرفت. رخساره‌های سنگی بر اساس ویژگی‌ها و ساخت‌های رسوبی مورد شناسایی قرار گرفتند. مطالعه رخساره‌ها نشان‌دهنده محیط دریایی کم‌ژرفا با انرژی کم و تاثیرات ناشی از طوفان در فواصل زمانی و زیرمحیط‌های مربوطه می‌باشد. برای آنالیز جهت جریان دیرینه تعداد ۱۲۳ ساخت صفحه‌ای و خطی نشان‌دهنده جهت جریان مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. از نرم‌افزارهای مرتبط برای تصحیح اندازه‌گیری‌های انجام شده در طبقات شیب‌دار و از روش محاسبه‌ای برای اندازه‌گیری‌های مرتبط با طبقات برگشته کمک گرفته شد. برای نمایش جهت جریان دیرینه نمودارهای گل‌سرخ توسط نرم‌افزار GeoRose رسم شدند. تحلیل جهت جریان دیرینه در نمودارهای ارائه شده نشان‌دهنده جهت چیره شمال تا شمال خاوری دارد که در کنار سن رسوبات و تفسیر محیط رسوب‌گذاری تایید کننده حضور به احتمال زیاد دریایی پاراتیس در این ناحیه در زمان میوسن پسین می‌باشد که به عنوان دستاورد این پژوهش به‌شمار می‌رود. همچنین با استفاده از داده‌های موجود، نمودارهایی برای نشان دادن تغییرات جهت جریان دیرینه در یک توالی قائم رسم شدند که ضمن نمایش تغییرات جهت جریان در طول زمان، بازه‌های زمانی دارای ناهنجاری را آشکار می‌نماید که گویای حادثه‌های زمین‌ساختی در ناحیه می‌باشند.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:

تورتونین

میوسن پسین

جریان دیرینه

پاراتیس

تبریز

۱- پیش‌نوشتار

و رسوبات آتشفشانی-آواری (ولکانو کلاستیک) حاصل از فعالیت آتشفشان سهند می‌باشند. از میان این واحدهای رسوبی، سازند قرمز بالایی سازند رسمی به‌شمار می‌رود (آق‌نابتی، ۱۳۸۳). سازند قرمز بالایی به سن میوسن میانی تا بالایی و دارای گستره و ستبرای نسبتاً زیادی حدود ۲۰۰۰ متر در ناحیه شمال باختر ایران می‌باشد. نهشته‌های استخوان‌دار مراغه در دامنه‌های جنوبی و جنوب خاوری آتشفشان سهند رخنمون دارند. این رسوبات با داشتن مجموعه فسیل پستانداران بزرگ دارای جایگاه بسیار بااهمیتی در تحقیقات فسیل‌شناسی پستانداران میوسن می‌باشند. (Kamei et al., 1977).

ناحیه مورد مطالعه در شمال باختری ایران، شمال و شمال خاوری شهر تبریز قرار دارد (شکل ۱). نهشته‌های آواری میوسن پسین در این ناحیه به ستبرای تخمینی ۷۰۰ متر بوده و بر اساس مطالعات پیشین، جزو سازند قرمز بالایی می‌باشند (افتخارنژاد و همکاران، ۱۳۷۰؛ اسدیان، ۱۳۷۲؛ فریدی و خدابنده، ۱۳۹۰ الف و ب؛ Davoudzadeh et al., 1997; Ghorbani, 2019). واحدهای رسوبی ناحیه تبریز شامل: سازند قرمز بالایی (Upper Red Formation)، طبقات لیگنیت‌دار تبریز (Lignite Beds)، طبقات ماهی‌دار تبریز (Fish Beds)، طبقات استخوان‌دار مراغه (Maragheh Bone Beds)

* نویسنده مسئول: سید رضا موسوی حرمی؛ E-mail: moussavi@um.ac.ir

ماخذنگاری:

حق‌فرشی، ع.، موسوی حرمی، س.ر.، رضایی، پ.، فریدی، م.، ۱۴۰۴، یافته‌های نو پیرامون جغرافیای دیرینه میوسن پسین (تورتونین پیشین) بر اساس آنالیز جریان دیرینه در نهشته‌های آواری ناحیه شمال تبریز. فصلنامه علمی علوم زمین، ۳۵(۳)، ۱۳۷-۱۸۱. <https://doi.org/10.22071/gsj.2025.511298.2184>

doi: 10.22071/gsj.2025.511298.2184



doi: 20.1001.1.10237429.1404.35.3.1.6

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

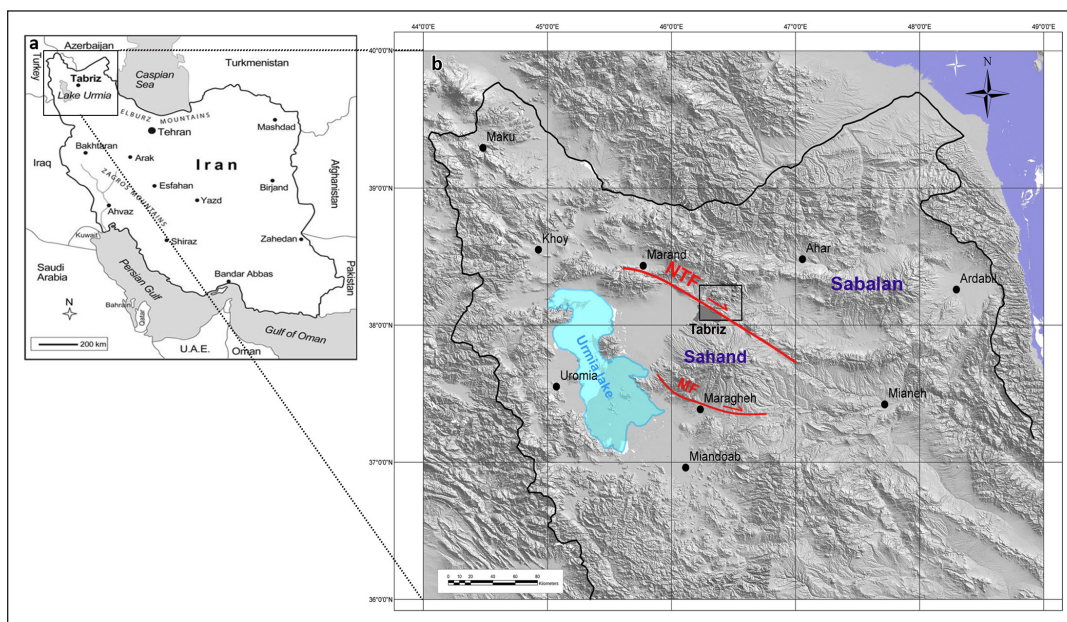


This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

تیس جوان منطبق می‌باشد (Alavi, 2007; Faridi et al., 2017). شواهد زمین‌شناسی، فعالیت‌های زمین‌ساختی شدیدی را در زمان میوسن پسین در منطقه نشان می‌دهد (McKenzie, 1972; Allen et al., 2004). حرکات زمین‌ساختی گسل تبریز در ادامه حرکات کوه‌زایی آلپین در زمان میوسن پسین نقش اساسی در تشکیل حوضه‌های رسوبی نئوژن ناحیه تبریز داشته است (Kelts and Shahrabi, 1986; Axen et al., 2001; Faridi et al., 2023). این گسل در ناحیه شمال تبریز جدا کننده طبقات این مطالعه از نهشته‌های سازند قرمز بالایی و در بخش شمال خاوری تبریز مرز طبقات لیگنیت‌دار تبریز با قرمز بالایی را تعریف می‌کند (فریدی و خدابنده، ۱۳۹۰، الف و ب) (شکل ۳). در این مطالعه برای بررسی حوضه رسوبی این نهشته‌ها و جغرافیای دیرینه ناحیه در زمان تورنونین پیشین، از مطالعه و اندازه‌گیری‌های «جهت جریان دیرینه بهره برده شد که در کنار بررسی رخساره‌ها و تفسیر محیط رسوبی، نتایج مطلوبی در این ارتباط به دست آمد. اندازه‌گیری جهت جریان دیرینه در مطالعه حوضه‌های رسوبی و تفسیر محیط‌های رسوبی بنیادی می‌باشد، چنانچه در تعیین امتداد رسوبی، جهت شیب دیرینه، تفسیر روند و مکان حاشیه حوضه رسوبی، تامین رسوب و هندسه واحد ماسه‌ای در اکتشافات مواد هیدروکربنی مفید می‌باشد (Dasgupta, 2005; Korus and Fielding, 2017). نشان‌دهنده‌های جریان دیرینه مهم شامل: ساخت‌های رسوبی صفحه‌ای و خطی، طبقه‌بندی و لامیناسیون مورب، فلوت کست، گرو کست، جدایی خطی، ریپل مارک جریان، چین اسلامپ، ایمریکاسیون و گاترکست می‌باشد که معمولاً با نمودارهای گل سرخی نمایش داده شده و تحلیل می‌شوند (Potter and Pettijohn, 2012; Davies et al., 2018). پژوهشگران مطالعات زیادی بر روی نحوه اندازه‌گیری، محاسبه و ارائه بهینه جهت جریان دیرینه ارائه نموده‌اند، از این میان تتاک (TETÁK, 2018) روشی برای تصحیح اندازه‌گیری‌های خطی جریان دیرینه در طبقات برگشته ارائه کرده و چیارالا و جیویا (Chiarella and Gioia, 2021) شیوه‌ای برای ارائه تغییرات جهت جریان در جهت قائم یک توالی و در طول زمان ارائه نموده‌اند.

Campbell et al., 1980; Sawada et al., 2016; Sakai et al., 2016؛ حق فرشی، سن این رسوبات ۷-۹/۵ میلیون سال معادل تورنونین پسین (Late Tortonian) (۱۴۰۳). از میوسن بالایی می‌باشد (Bernor, 1986). طبقات لیگنیت‌دار در حومه خاوری تبریز در حاشیه جنوبی گسل تبریز و نهشته‌های سازند ماهی‌دار (Fish Beds) در نواحی جنوب تبریز و شمال-شمال باختری آتشفشان سهند رخمون دارند. این رسوبات از نظر داشتن فسیل ماهی و دیاتومیت مشهور می‌باشند و به صورت ناهمشبب نهشته‌های لیگنیت‌دار را می‌پوشانند (Rieben, 1935; Stöcklin, 1977؛ حق فرشی، ۱۳۸۹ و ۱۴۰۲). ستبرای زیادی از رسوبات آتشفشانی-آواری و سنگ‌های آتشفشانی (ولکانیکی) حاصل فعالیت آتشفشان سهند (Meso-Sahand، سن یک میلیون سال) نواحی پیرامونی و شمالی سهند را می‌پوشانند (Ghalamghash et al., 2019). رسوبات مورد مطالعه از نظر ارتباط با سازندهای مجاور، با مرز تدریجی در زیر طبقات لیگنیت‌دار تبریز و با ناپوستگی زاویه‌دار بر روی سازند قرمز بالایی قرار می‌گیرند. بر پایه سن سنجی به روش Fission track و نیز روش زیست‌چینه‌نگاری، سن تورنونین پسین و تورنونین پیشین به ترتیب برای نهشته‌های لیگنیت‌دار و ماهی‌دار ارائه شده است (Reichenbacher et al., 2011; Carnevale et al., 2011). این رسوبات بر اساس بررسی‌های صحرائی و به ترتیب فراوانی، شامل سنگ رخساره‌های ماسه‌سنگ، گل‌سنگ، کنگلومرا، ماسه‌سنگ پبلی و رس سنگ می‌باشند (شکل ۲). سن این نهشته‌ها بر اساس سن سنجی انجام شده به روش Fission track بر روی طبقه توفی که به صورت میان‌لایه در داخل این رسوبات حضور دارد، تورنونین پیشین (Early Tortonian) می‌باشد (Reichenbacher et al., 2011). شایان ذکر است ریچنباخر و همکاران در مطالعه خود طبقات لیگنیت‌دار و طبقات ماهی‌دار تبریز را داخل یک مجموعه به نام «حوضه تبریز» تعریف نموده‌اند (Reichenbacher et al., 2011).

مهم‌ترین ساختار زمین‌ساختی ناحیه، گسل امتداد لغز تبریز می‌باشد. این گسل با محل برخورد صفحات عربی و اوراسیا بر پهنه برخوردی کمان-کمان



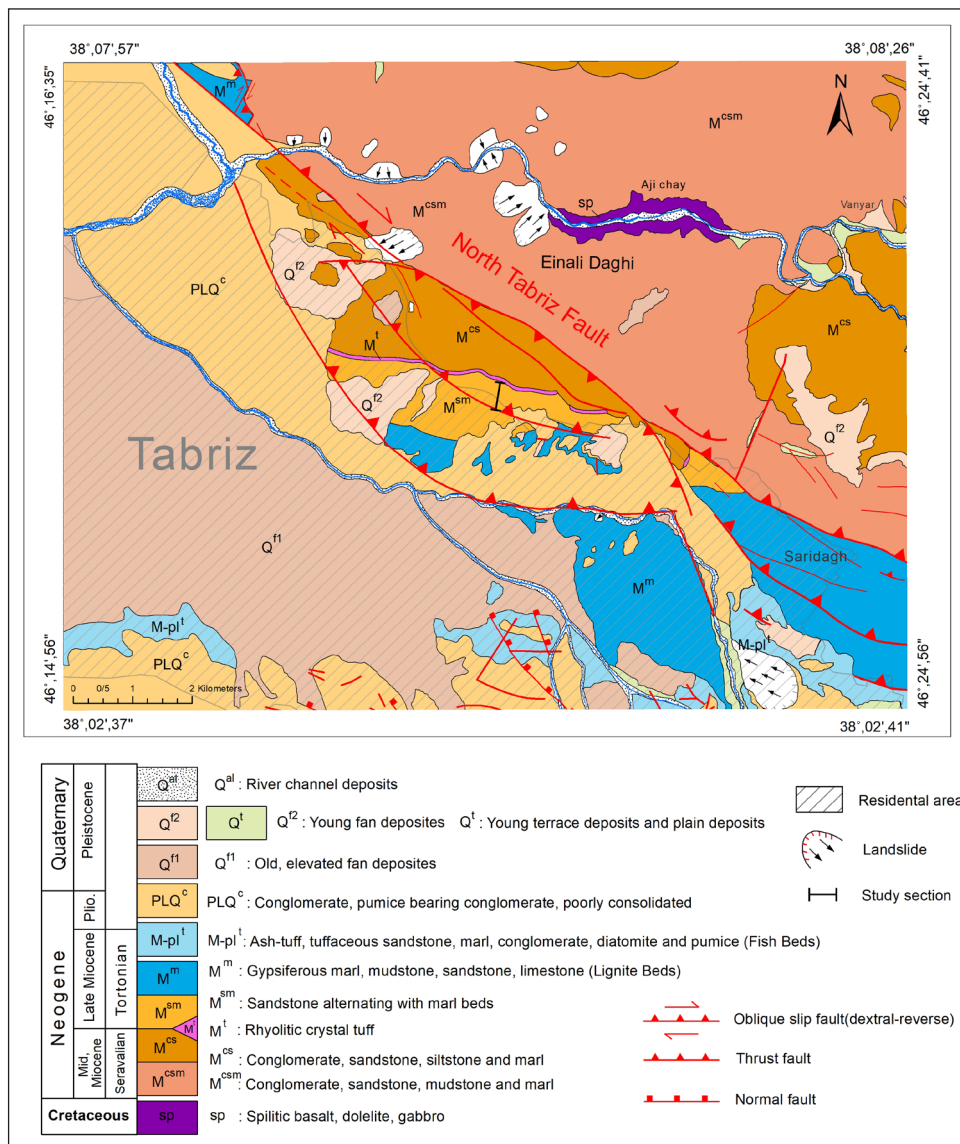
شکل ۱- a) ناحیه مورد مطالعه در نقشه ایران؛ b) تصویر ماهواره‌ای راقمی ارتفاعی از ناحیه شمال باختری ایران، ناحیه مورد مطالعه به صورت مستطیل تیره نمایش داده شده است. NTF: گسل شمال تبریز، MF: گسل مراغه.

Figure 1- a) Study area in the map of Iran, b) Digital elevation satellite image of the northwestern region of Iran, the study area is shown as a dark rectangle. NTF: North Tabriz Fault MF: Maragheh Fault.



شکل ۲- نمای توالی‌های رسوبی مورد مطالعه، دید به سمت شمال باختری، ناحیه شمال تبریز.

Figure 2. View of the studied sedimentary sequences, view towards the northwest, northern Tabriz area.



شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه و موقعیت برش چینه‌شناسی مورد مطالعه بر روی واحد Msm، (اصلاح شده از فریدی و خدابخنده، ۱۳۹۰، الف و ب).

Figure 3. Geological map of the study area and the location of the studied stratigraphic section on the Msm unit, (modified after Faridi and Khodabandeh, 2011, a and b)

۲- روش پژوهش

استفاده شد. با توجه به شیب‌دار بودن و گاه برگشته بودن طبقات، لازم بود فرایند اصلاح (retilting) بر روی اندازه‌گیری‌ها انجام شوند. برای افقی نمودن طبقات شیب‌دار و برگشته مربوط به اندازه‌گیری‌های خطواره‌ای از فرمول‌های ارائه شده تتاک (TEŤÁK, 2018) استفاده گردید. در این روش از فرمول $L=Pn-R+90^\circ$ برای طبقات عادی حاوی خطواره و از فرمول $L=Pi-R-90^\circ$ برای طبقات برگشته حاوی خطواره استفاده شد که نیاز به استفاده از روش ترسیمی استریونت را برطرف می‌کند. در این فرمول‌ها Pn و Pi شیب (Dip D.) صفحه و R زاویه خطواره با امتداد (Strike) طبقه می‌باشند. با محاسبه مقدار L ، اگر مقدار آن منفی باشد، با 360° جمع بسته می‌شود و در صورتی که L بالای 360° درجه باشد، 360° درجه از آن کم می‌شود (TEŤÁK, 2018). همچنین برای تصحیح ساخت‌های صفحه‌ای اندازه‌گیری شده در طبقات برگشته از روش ترسیمی شبکه استریونت استفاده گردید و برای اطمینان و تایید محاسبه‌های نرم‌افزاری و فرمولی، مقادیر به دست آمده بیشتر اندازه‌گیری‌ها به وسیله روش ترسیمی بر روی شبکه استریونت تست شدند. برای ارائه نمودارهای گل‌سرخ و نمودارهای توالی قائم به ترتیب از نرم‌افزارهای GeoRose و Excel استفاده گردید. همچنین از روش ترسیمی استریونت برای تایید درستی محاسبه‌های انجام شده استفاده شد.

برای مطالعه رخساره‌ها و اندازه‌گیری ساخت‌های رسوبی، برشی به سبترای ۲۰۰ متر در شمال خاوری شهر تبریز، بر روی واحد M^{sm} از توالی میوسن ناحیه، مورد برداشت صحرایی و اندازه‌گیری قرار گرفت (شکل ۱). مطالعه سنگ‌شناسی ماسه‌سنگ‌ها بر اساس طبقه‌بندی فولک (Folk, 1980) انجام گرفت. برای بررسی رخساره‌ها و تعیین محیط رسوبی از مطالعات ریدینگ (Reading, 2009)، اینسل (Einsele, 2013)، رینک و سینگ (Reineck and Singh, 2012) استفاده شد. برای نمایش ستون چینه‌شناسی اندازه‌گیری شده از نرم‌افزار Sedlog استفاده شد. ساخت‌های رسوبی در عملیات صحرایی از نظر جهت شیب (Dip direction) یا آزیموت و مقدار شیب (Dip)، و جهت و مقدار شیب هر طبقه مربوطه توسط کمپاس زمین‌شناسی اندازه‌گیری گردیدند. بدین ترتیب برای تعیین جهت جریان دیرینه تعداد ۱۲۴ ساخت رسوبی مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند که از این تعداد ۹۴ عدد مربوط به ساخت‌های صفحه‌ای و ۳۰ عدد مرتبط با ساخت‌های خطی بودند (جدول‌های ۱ و ۲). در مورد ساخت‌های خطی مانند فلوت کست‌ها و جدایی خطی، پیچ (Pitch) خطواره به همراه جهت و شیب طبقه مربوطه در صحرا اندازه‌گیری و برداشت گردیدند (Tucker and Jones, 2023). به منظور تجزیه و تحلیل جهت جریان دیرینه و برای اصلاح طبقات شیب‌دار نوع صفحه‌ای از نرم‌افزارهای Stereonet و FaultKin

جدول ۱- داده‌های اندازه‌گیری و محاسبه شده مولفه‌های ساخت صفحه‌ای و طبقات رسوبی دربردارنده و نوع ساخت رسوبی.

Table 1. Measured and calculated data of the plate structure components and the sedimentary strata containing them and the type of sedimentary structure.

| Z_1 | Bedding (D.D/D) | Cross bedding (Apparent D.D/D) | Cross bedding (D.D/D) (True) | Bedding | Sedimentary structure | Z_2 | Bedding (D.D/D) | Cross bedding (Apparent D.D/D) | Cross bedding (D.D/D) (True) | Bedding | Sedimentary structure |
|-------|-----------------|--------------------------------|------------------------------|-----------|-----------------------|-------|-----------------|--------------------------------|------------------------------|---------|-----------------------|
| 1 | 180/55 | 180/45 | 360/10 | Normal | Planar | 48 | 177/64 | 65\184 | 259/6 | Normal | Trough |
| 2 | 180/55 | 178/70 | 173/15 | Normal | Planar | 49 | 175/50 | 190/53 | 255/12 | Normal | Trough |
| 3 | 181/70 | 195/75 | 253/14 | Normal | Trough | 50 | 175/50 | 152/40 | 45/19 | Normal | Planar |
| 4 | 181/70 | 168/87 | 143/21 | Normal | Trough | 51 | 165/45 | 140/22 | 6/26 | Normal | Planar |
| 5 | 25/65 | 215/88 | 8/28 | Overtuned | Planar | 52 | 150/42 | 140/30 | 352/13 | Normal | Planar |
| 6 | 25/51 | 00/68 | 85/25 | Overtuned | Planar | 53 | 150/42 | 173/67 | 194/31 | Normal | Trough |
| 7 | 5/72 | 345/80 | 78/22 | Overtuned | Planar | 54 | 150/42 | 160/65 | 172/24 | Normal | Trough |
| 8 | 18/75 | 34/90 | 330/10 | Overtuned | Cross lam. | 55 | 155/72 | 125/40 | 5/40 | Normal | Planar |
| 9 | 05/52 | 350/40 | 158/15 | Overtuned | Trough | 56 | 155/72 | 148/50 | 348/23 | Normal | Planar |
| 10 | 05/52 | 357/58 | 345/8 | Overtuned | Planar | 57 | 155/72 | 171/58 | 292/20 | Normal | Planar |
| 11 | 10/70 | 185/80 | 22/30 | Overtuned | Cross lam. | 58 | 179/51 | 175/71 | 168/20 | Normal | Trough |
| 12 | 12/75 | 10/60 | 187/16 | Overtuned | Trough | 59 | 179/51 | 164/43 | 48/13 | Normal | Trough |
| 13 | 185/85 | 355/80 | 67/11 | Normal | Planar | 60 | 179/51 | 160/75 | 139/29 | Normal | Trough |
| 14 | 185/85 | 194/65 | 343/22 | Normal | Trough | 61 | 186/55 | 133/40 | 58/41 | Normal | Planar |
| 15 | 12/85 | 205/75 | 335/25 | Overtuned | Cross lam. | 62 | 168/50 | 180/70 | 198/22 | Normal | Trough |
| 16 | 12/82 | 190/80 | 20/18 | Overtuned | Trough | 63 | 168/50 | 155/30 | 6/22 | Normal | Planar |
| 17 | 12/82 | 355/75 | 120/16 | Overtuned | Trough | 64 | 196/70 | 180/55 | 56/21 | Normal | Planar |
| 18 | 198/83 | 185/60 | 44/26 | Normal | Planar | 65 | 190/45 | 173/56 | 134/17 | Normal | Planar |
| 19 | 180/59 | 166/60 | 91/12 | Normal | Planar | 66 | 181/71 | 170/69 | 78/10 | Normal | Planar |
| 20 | 156/61 | 175/73 | 216/21 | Normal | Planar | 67 | 181/71 | 173/65 | 50/9 | Normal | Planar |
| 21 | 170/60 | 184/64 | 245/13 | Normal | Planar | 68 | 165/69 | 179/41 | 327/30 | Normal | Trough |
| 22 | 170/60 | 177/75 | 195/16 | Normal | Planar | 69 | 165/69 | 162/28 | 347/41 | Normal | Trough |
| 23 | 174/59 | 190/53 | 293/15 | Normal | Planar | 70 | 165/48 | 170/33 | 334/15 | Normal | Planar |

ادامه جدول ۱- داده‌های اندازه‌گیری و محاسبه شده مولفه‌های ساخت صفحه‌ای و طبقات رسوبی دربردارنده و نوع ساخت رسوبی.

Continued from Table 1. Measured and calculated data of the plate structure components and the sedimentary strata containing them and the type of sedimentary structure.

| No. | Bedding (D.D/D) | Cross bedding (Apparent D.D/D) | Cross bedding (D.D/D) (True) | Bedding | Sedimentary structure | No. | Bedding (D.D/D) | Cross bedding (Apparent D.D/D) | Cross bedding (D.D/D) (True) | Bedding | Sedimentary structure |
|-----|-----------------|--------------------------------|------------------------------|---------|-----------------------|-----|-----------------|--------------------------------|------------------------------|-----------|-----------------------|
| 24 | 155/65 | 178/35 | 311/34 | Normal | Trough | 71 | 165/48 | 115/23 | 15/37 | Normal | Planar |
| 25 | 172/81 | 195/66 | 299/26 | Normal | Planar | 72 | 162/46 | 150/50 | 92/10 | Normal | Planar |
| 26 | 175/71 | 178/70 | 285/3 | Normal | Planar | 73 | 158/42 | 148/58 | 130/18 | Normal | Trough |
| 27 | 183/60 | 143/56 | 76/34 | Normal | Planar | 74 | 168/43 | 115/55 | 75/41 | Normal | Planar |
| 28 | 184/61 | 175/50 | 36/13 | Normal | Planar | 75 | 192/45 | 225/38 | 312/23 | Normal | Trough |
| 29 | 174/65 | 155/60 | 63/18 | Normal | Planar | 76 | 182/40 | 160/47 | 108/17 | Normal | Planar |
| 30 | 174/65 | 182/40 | 342/25 | Normal | Planar | 77 | 182/40 | 155/50 | 109/21 | Normal | Planar |
| 31 | 176/76 | 160/56 | 29/25 | Normal | Planar | 78 | 170/30 | 224/28 | 288/25 | Normal | Planar |
| 32 | 185/55 | 130/43 | 61/42 | Normal | Planar | 79 | 170/30 | 188/40 | 224/14 | Normal | Planar |
| 33 | 183/70 | 205/51 | 323/27 | Normal | Planar | 80 | 170/30 | 86/24 | 34/36 | Normal | Planar |
| 34 | 185/40 | 153/40 | 83/20 | Normal | Planar | 81 | 155/35 | 165/51 | 182/17 | Normal | Trough |
| 35 | 169/39 | 168/51 | 165/12 | Normal | Trough | 82 | 10/50 | 23/56 | 302/13 | Overtuned | Planar |
| 36 | 169/39 | 165/46 | 146/7 | Normal | Trough | 83 | 0/34 | 340/35 | 95/10 | Overtuned | Trough |
| 37 | 165/45 | 125/55 | 79/32 | Normal | Planar | 84 | 20/45 | 353/25 | 177/25 | Overtuned | Planar |
| 38 | 125/40 | 155/36 | 239/19 | Normal | Trough | 85 | 20/45 | 45/75 | 340/40 | Overtuned | Planar |
| 39 | 170/51 | 186/30 | 329/23 | Normal | Trough | 86 | 08/60 | 22/69 | 306/16 | Overtuned | Planar |
| 40 | 180/65 | 172/75 | 142/12 | Normal | Trough | 87 | 07/59 | 30/61 | 273/20 | Overtuned | Trough |
| 41 | 180/65 | 170/75 | 135/14 | Normal | Trough | 88 | 25/51 | 355/52 | 120/24 | Overtuned | Planar |
| 42 | 174/65 | 157/70 | 98/16 | Normal | Trough | 89 | 05/59 | 30/40 | 221/28 | Overtuned | Planar |
| 43 | 174/65 | 180/23 | 350/42 | Normal | Trough | 90 | 175/29 | 210/74 | 220/51 | Normal | Trough |
| 44 | 170/70 | 156/42 | 8/30 | Normal | Planar | 91 | 160/36 | 150/49 | 129/15 | Normal | Planar |
| 45 | 170/70 | 180/75 | 234/11 | Normal | Trough | 92 | 160/36 | 130/24 | 19/19 | Normal | Planar |
| 46 | 170/70 | 160/65 | 49/10 | Normal | Planar | 93 | 160/36 | 172/65 | 182/30 | Normal | Planar |
| 47 | 170/70 | 170/61 | 350/9 | Normal | Trough | | | | | | |

جدول ۲- داده‌های اندازه‌گیری و محاسبه شده مولفه‌های ساخت خط‌واره‌ای و طبقات رسوبی دربردارنده و نوع ساخت رسوبی.

Table 2. Measured and calculated data of the linear structure components and sedimentary strata containing them and the type of sedimentary structure.

| No. | Bedding (D.D/D) | Pitch | Direction azimuth (True) | Bedding | Structure level-2 | No. | Bedding (D.D/D) | Pitch | Direction azimuth (True) | Bedding | Structure |
|-----|-----------------|-------|--------------------------|-----------|---------------------------|-----|-----------------|-------|--------------------------|---------|-------------------------|
| 1 | 20/55 | 40E | 150 | Overtuned | Parting lineation | 16 | 185/65 | 15E | 290 | Normal | Flute Cast |
| 2 | 5/65 | 10W | 90 | Overtuned | Parting lineation | 17 | 185/40 | 20E | 105 | Normal | Parting lineation |
| 3 | 185/85 | 10E | 105 | Normal | Flute Cast | 18 | 191/45 | 30w | 71 | Normal | Parting lineation |
| 4 | 08/70 | 40W | 58 | Overtuned | Gutter cast | 19 | 184/40 | 20w | 44 | Normal | Flute Cast |
| 5 | 175/78 | 45E | 130 | Normal | Ripple mark | 20 | 180/45 | 70W | 200 | Normal | Flute Cast & Swash mark |
| 6 | 10/70 | 20W | 80 | Overtuned | Beach cusps and Rill mark | 21 | 179/50 | 65E | 334 | Normal | Parting lineation |
| 7 | 185/85 | 40E | 315 | Normal | Gutter cast | 22 | 179/50 | 60w | 29 | Normal | Flute Cast |
| 8 | 195/85 | 40W | 65 | Normal | Gutter cast | 23 | 175/48 | 38E | 123 | Normal | Parting lineation |
| 9 | 25/70 | 53W | 62 | Overtuned | Parting lineation | 24 | 196/70 | 70w | 36 | Normal | Flute Cast |

ادامه جدول ۲- داده‌های اندازه‌گیری و محاسبه شده مولفه‌های ساخت خطواره‌ای و طبقات رسوبی دربردارنده و نوع ساخت رسوبی.

Continued from Table 2. Measured and calculated data of the linear structure components and sedimentary strata containing them and the type of sedimentary structure.

| No | Bedding (D.D/D) | Pitch | Direction azimuth (True) | Bedding | Structure level-2 | Z | Bedding (D.D/D) | Pitch | Direction azimuth (True) | Bedding | Structure |
|----|-----------------|-------|--------------------------|---------|-------------------|----|-----------------|-------|--------------------------|-----------|---------------------------|
| 10 | 176/85 | 20W | 66 | Normal | Flute Cast | 25 | 168/68 | 30w | 48 | Normal | Gutter cast |
| 11 | 175/60 | 60E | 145 | Normal | Parting lineation | 26 | 165/69 | 10W | 65 | Normal | Beach cusps and Rill mark |
| 12 | 185/70 | 80w | 15 | Normal | Gutter cast | 27 | 170/50 | 0 | 310 | Normal | Imbrication |
| 13 | 176/75 | 80w | 6 | Normal | Parting lineation | 28 | 162/46 | 40E | 112 | Normal | Parting lineation |
| 14 | 183/60 | 70W | 23 | Normal | Parting lineation | 29 | 158/42 | 10S | 238 | Normal | Sole Cast |
| 15 | 185/61 | 85W | 10 | Normal | Parting lineation | 30 | 350/57 | 15w | 65 | Overtuned | Flute Cast |

رسوبات این مشخصات را ارائه می‌دهند: اندازه دانه بسیار ریز دانه تا درشت دانه، درجه بلوغ ساب‌مچور تا ایمچور، سیمان کربناتی عموماً آغشته به اکسید آهن. مطالعه میکروسکوپی مقاطع نازک این ماسه‌سنگ‌ها، نشان‌دهنده رخساره‌های سنگی چرت آرنایت، کالک آرنایت، فلدسپاتیک لیتارنایت، ساب لیتارنایت و لیتیک آرکوز می‌باشد (شکل ۵).

رخساره‌های سنگی شناسایی شده و زیرمحیط‌های مربوطه در این رسوبات به‌طور خلاصه در زیر ارائه شده‌اند: ۱- ماسه‌سنگ‌های با ریپل مارک‌های موجی یا لامیناسیون ریپلی، احتمالاً در زیر محیط Foreshore، Shoreface و Backshore در محیط کم‌ژرفای دریایی (Nearshore) و در زیر سطح قاعده تاثیر امواج Fair-weather در بخش آب‌های نسبتاً ژرف یا این که در شرایط طوفانی نیز در بخش tempstite proximal تشکیل شده‌اند. ۲- ماسه‌سنگ‌های حاوی ریپل‌های جریان‌ی نیز در همان محیط ولی در بالای سطح قاعده تاثیر امواج تشکیل می‌شوند. ۳- ماسه‌سنگ حاوی لامیناسیون موازی در محیط کم‌ژرفای دریایی و در زیر محیط‌های Backshore تا Upper shoreface و Upper offshore در محیط‌های کم‌ژرفا با شرایط طوفانی در ناحیه Proximal & distal tempstites تشکیل می‌شوند. ۴- ماسه‌سنگ‌های با ساخت چینه‌بندی مورب پشته‌ای در محیط کم‌ژرفای دریایی با شرایط طوفانی در بخش (tempstites proximal shoreface) و به میزان کمتر در بخش Distal tempstites (offshore) نیز تشکیل می‌شوند. ۵- نهشته‌های ماسه‌ای حاوی ساخت مورب جناغی، در پهنه کشندی (جزر و مدی) (Tidal flat)، در بخش میان‌کشندی و در داخل کانال‌های کشندی (Tidal channel) تشکیل می‌شوند. ۶- نهشته‌های ماسه‌سنگی تا ماسه‌سنگ پبلی حاوی طبقه‌بندی مورب نوع صفحه‌ای (Planar)، در ناحیه Foreshore و Shoreface در محیط دریایی کم‌ژرفا تشکیل می‌شوند. در مقابل، رسوبات حاوی طبقه‌بندی مورب نوع تراف (Trough)، در ناحیه Upper shoreface و نیز در داخل کانال‌های کشندی تشکیل می‌شوند. نهشته‌های ماسه‌سنگی دارای طبقه‌بندی مورب با زاویه کم، در ناحیه Backshore و Foreshore محیط دریایی کم‌ژرفا تشکیل می‌شوند. ۷- سیلتستون در تناوب با لایه‌های ماسه‌سنگی، که گاهی اوقات دارای آشفستگی زیستی هستند، در زیر محیط Lower Shoreface تا Inner Shelf تشکیل می‌شود. ۸- گل‌سنگ با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگ نازک لایه و رس‌سنگ‌های قرمز توده‌ای که دارای آشفستگی زیستی هستند احتمالاً در ناحیه فراکشندی (بالای جزر و مدی) جایی که انرژی بسیار پایین است و نیز در ناحیه Offshore تشکیل می‌شوند. ۹- کنگلومرا با ماتریکس ماسه‌ای، که اندازه دانه‌های گراول در حد پیل و کابل هستند، با بین‌لایه‌های ماسه‌سنگی تا ماسه‌سنگ پبلی، با ساخت طبقه‌بندی مورب، دانه‌بندی تدریجی، احتمالاً مربوط به رسوبات دهانه رودخانه است که در ناحیه delta-front نهشته شده‌اند.

در روش دوم، تحلیل جهت جریان دیرینه، تغییرات جهت جریان دیرینه در محور قائم توالی و مطالعه تغییرات آن در طول زمان با به‌کارگیری داده‌های موجود مورد مطالعه قرار گرفت. این روش توسط چیارلا و جیویا (Chiarella and Gioia, 2021) برای بررسی تغییرات جهت جریان در طول زمان در یک توالی به‌کار گرفته شد. روش به‌کار رفته در این مطالعه با توجه به متفاوت بودن شرایط و داده‌ها، روشی متفاوت و به عبارتی، روش تکمیل شده نسبت به روش استفاده شده در پژوهش فوق است. در این شیوه، در ۵ مرحله داده‌ها پردازش شدند تا در مرحله نهایی نمودار رسم شده با نمایی واضح‌تر، وضعیت تغییرات جهت جریان را در توالی قائم نشان بدهد. از نرم‌افزار Excel برای ترسیم نمودارها استفاده گردید. از این رو، با داشتن ۱۲۳ اندازه‌گیری از ساخت‌های رسوبی صفحه‌ای و خطواره‌ای در مرحله اول نمودار مبتنی بر همه داده‌ها، با محور قائم نشانگر شماره طبقات مورد اندازه‌گیری از پایین به بالا (ستون زمانی) و محور افقی آزیموت جهت جریان رسم شد.

۳- بحث و نتایج

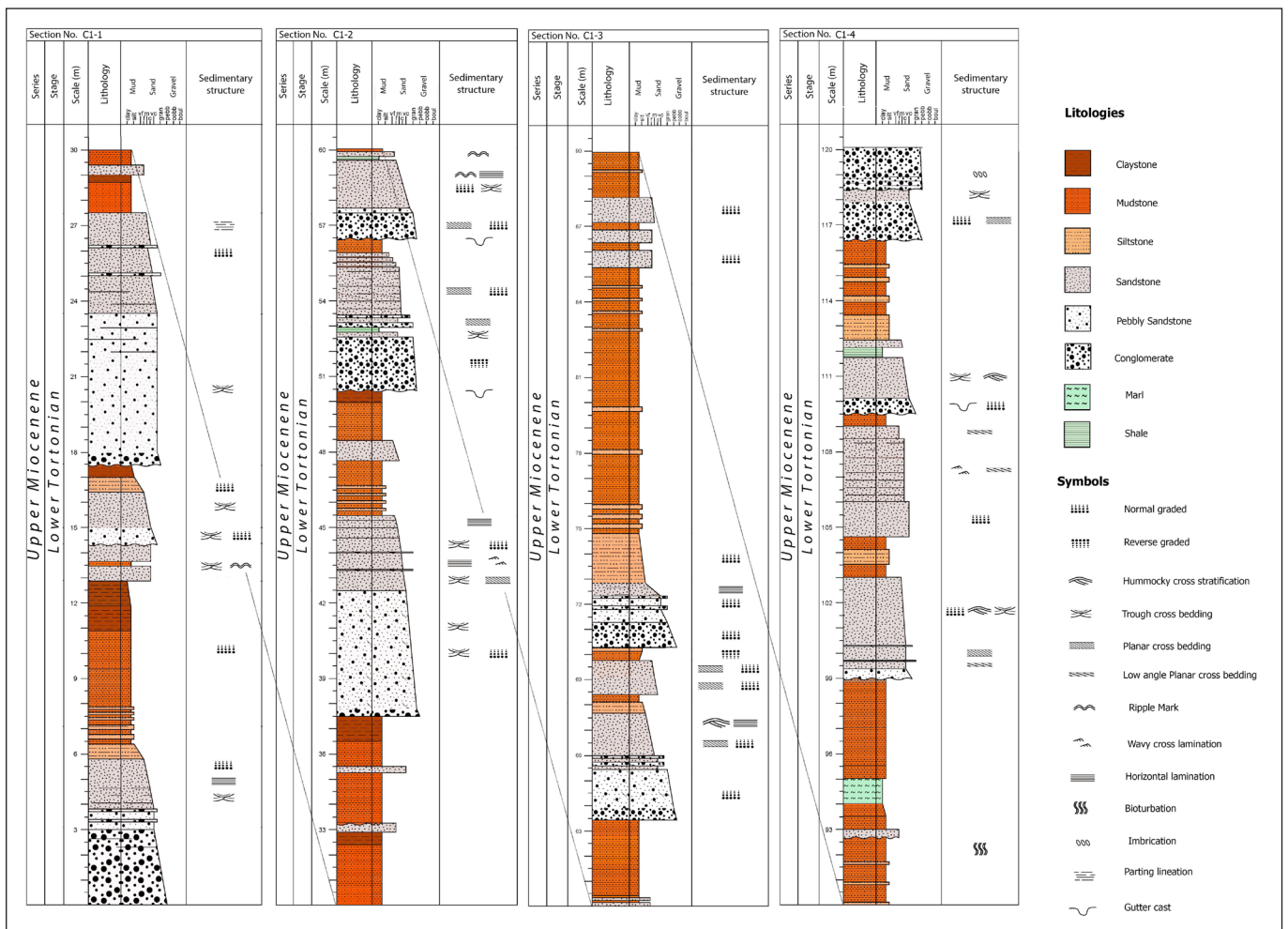
۳-۱- رخساره‌ها و محیط رسوبی

در این بخش در مورد رخساره‌ها و محیط رسوبی توالی‌های سیلیسی آواری مورد مطالعه و نتایج حاصله بحث می‌شود. سازند قرمز بالایی در این ناحیه از قدیم به جدید شامل واحدهای زمین‌شناسی M^{sm} ، M^{sm} ، M^{es} ، M^t توصیف شده‌اند (فریدی و خداندانه، ۱۳۹۰، الف و ب). بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهند که واحد M^{sm} از نظر رخساره‌ای و رنگ ظاهری از واحدهای بالایی قابل تفکیک می‌باشد. از واحد M^{es} به سمت بالا روند کاهش آواری‌های دانه درشت کنگلومرای به حضور بیشتر طبقات دانه‌ریزتر مشاهده می‌شود. برش مورد مطالعه در این پژوهش مربوط به بالاترین بخش این توالی (واحد M^{sm}) بوده که مورد برداشت و اندازه‌گیری قرار گرفته است (شکل ۳). این واحد متشکل از طبقات متوسط تا بسیار ستبرلایه ماسه‌سنگ، ماسه‌سنگ پبلی، مارن، گل‌سنگ، رس‌سنگ، کنگلومرا و شیل بوده و بیشتر به رنگ‌های قهوه‌ای، قهوه‌ای قرمز، خاکستری، خاکستری سبز و کرمی می‌باشند. طبقات گل‌سنگی به‌طور عموم رنگ قهوه‌ای قرمز دارند ولی آواری‌های دانه‌درشت‌تر، ماسه‌سنگ و کنگلومرا رنگ‌های خاکستری روشن تا سفید و گاه قهوه‌ای دارند (شکل ۴). ساخت‌های رسوبی متداول در این رسوبات، طبقه‌بندی مورب انواع عدسی شکل و مسطح، مورب جناغی (Herringbone cross St.) و مورب پشته‌ای (Hummocky cross St.)، فلوت کست (Flute cast)، ریپل مارک‌های موجی و جریان‌ی، لامیناسیون‌های موازی و ریپلی، گروکست (Groove cast)، جدایی خطی (Parting lineation) و ساخت ناودانی (Gutter cast) هستند. مطالعه میکروسکوپی ماسه‌سنگ‌های این

طوفانی محیط ساحلی این نهشته‌ها است. همچنین شرایط بی‌اکسیژنی و آلودگی حوضه پاراتیتیس توسط H_2S عامل فقیر بودن این حوضه از نظر فسیل‌های جانوری بیان شده است (Palcu and Krijgsman, 2023).

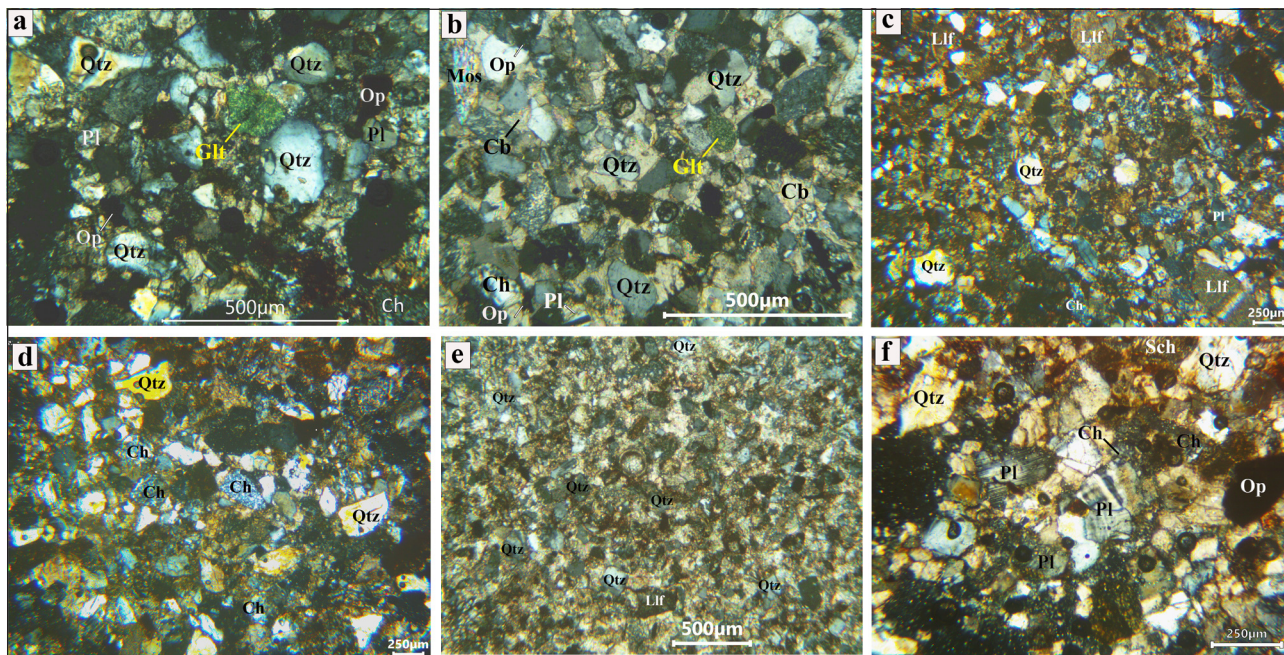
با توجه به حضور قطعات سنگی کربناتی، آتشفشانی و شستی در مطالعات سنگ‌نگاری ماسه‌سنگ‌ها، این ذرات رسوبی به ترتیب از سازندهای آهکی منطقه مانند روته و قم، آتشفشانی‌های ائوسن و دگرگونی‌های سندج-سیرجان و با توجه به جهت جریان دیرینه- که در ادامه بحث خواهد شد- از نواحی جنوبی و جنوب باختری می‌تواند منشا گرفته باشند. حضور اکسید آهن فراوان در میان‌لایه‌های گل‌سنگی این رسوبات می‌تواند عمدتاً حاصل فرسایش سازند قرمز بالایی در ناحیه باشد. البته به دلیل آن که اکسید آهن به میزان کمتری در ماسه‌سنگ‌ها تشکیل شده است، عامل تغییرات آب و هوایی در تشکیل آن موثر بوده است. این رسوبات به سمت بالا با مرز تدریجی به سازند لیگنیت‌دار تبدیل می‌شوند. این انتقال با شواهد تبدیل محیط دریایی به محیط دریاچه‌ای خود را نشان می‌دهد که به صورت آشکار شدن تدریجی مواد آلی- لیگنیت‌دار، احیایی شدن شرایط محیط به صورت تغییر رنگ کلی سازند از رنگ عموماً قهوه‌ای و قرمز به رنگ‌های سبز و سبز خاکستری، ظهور طبقات نازک آهکی و بالا رفتن تنوع رخساره‌ای در محور قائم می‌باشد.

۱۰- کنگلومرا با ماتریکس ماسه ریزدانه، دانه‌ها با گردش‌گی بالا، دانه‌های گراول در اندازه پیل، گاه حاوی ساخت‌کننده شده و پر شده (ساخت ناودانی) در سطح قاعده، در ارتباط با طوفان‌های دریایی و در بخش‌های Lower shoreface تا Middle shoreface تشکیل می‌شوند. ۱۱- کنگلومرا حاوی ماتریکس گلی، جورشدگی ضعیف، بدون ساخت داخلی، مربوط به جریان‌های گلی (debris flow) و در ناحیه جلو دلتا (delta front) یا بخش شیب‌دار سکو (پلت‌فرم) (slope platform) است (Miall, 2000; Singh, 2012; Reineck and Einsele, 2013; Reading, 2009). درکل، با توجه به رخساره‌ها و ساخت‌های رسوبی شناسایی شده، افزون بر تشکیل کانی گلوکونیت، یک محیط دریای کم‌ژرفا با انرژی نسبتاً کم و زیرمحیط‌های مربوطه بوده است. نکته مهم، رخداد طوفان‌های دریایی در فواصل زمانی می‌باشد که سبب افزایش شایان توجه انرژی در محیط رسوبی و تشکیل رسوبات طوفانی Tempstite گردیده است. یادآوری می‌شود کانی گلوکونیت شاخص محیط‌های دریایی کم‌ژرفا و باز می‌باشد که تحت شرایط خاص از جمله ورودی مواد آواری محدود و تحت شرایط شیمیایی متعارف آب دریا تشکیل می‌شود (McRae, 1972; Tribouillard et al., 2023). افزون بر این، این رسوبات خالی از فسیل (از نظر ماکروفسیل جانوری و نیز روزن‌بران دریایی) هستند که دلیل آن شرایط پراثری



شکل ۴- ستون چینه‌شناسی برش مورد مطالعه مربوط به نهشته‌های میوسن بالایی ناحیه شمال خاوری تبریز.

Figure 4. Stratigraphic column of the studied section related to the Upper Miocene deposits of the northeastern region of Tabriz.



شکل ۵- تصاویر میکروسکوپی رخساره‌سنگی‌های (پتروفاسیس) ماسه‌سنگی شناسایی شده شامل: (a و f) لیتارنایت فلدسپاتی، (b) لیتیک آرکوز، (c) کالکارنایت، (d) چرت آرنایت، (e) ساب لیتارنایت، Qtz: کواترتز، Pl: پلاژیو کلاز، Glt: گلوکونیت، Op: کانی کدر (اوپک)، Ch: چرت، Mos: مسکویت، Cb: سیمان کربناتی، Llf: لیتیک آهکی، همه تصاویر نور پلایزان (Xpl) هستند.

Figure 5. Microscopic images of identified sandstone petrofacies including: a and f) feldspathic litharenite, b) lithic arkose, c) calcarenite, d) chertarenite, e) sublitharenite, Qtz: quartz, Pl: plagioclase, Glt: glauconite, Op: opaque mineral, Ch: chert, Mos: muscovite, Cb: carbonate cement, Llf: calcareous lithic, all images are Polarized light (Xpl).

رسوب‌گذاری دلتایی تحت سلطه رودخانه برای این رسوبات است (Amini, 2006). افزون بر این، سنگ‌های تورتونین زیرین (میوسن بالایی) در منطقه مغان که دارای بین‌لایه‌های آهکی و دولومیتی و صدف دوکفه‌ای و شکم‌پایان هستند و نهشته‌های تورتونین بالایی در منطقه مغان که با نام سری خاکستری شناخته می‌شوند، در این حوضه رسوبی نهشته شده‌اند (Ghassemi et al., 2023؛ آقائباتی، ۱۳۸۳؛ رزازی، ۱۳۹۱).

۳-۲- جریان دیرینه

ساخت‌های رسوبی جهت‌دار که نشان‌دهنده جریان دیرینه می‌باشند، شامل انواع ساخت‌های صفحه‌ای و خطواره‌ای هستند. ساخت‌های صفحه‌ای اندازه‌گیری شده در این مطالعه، شامل طبقه‌بندی مورب نوع مسطح (Planar) و عدسی (Trough) و لامیناسیون‌های مورب بودند. ساخت‌های رسوبی خطی اندازه‌گیری شده در این بررسی شامل ساخت‌های فلویت کست، جدایی خطی (Parting lineation)، تول‌مارک (Tool Mark)، ساخت شیاری (Groove mark) و ساخت ناودانی (Gutter cast) بودند (شکل ۶). برخی ساخت‌های نوع خطی مانند جدایی خطی و گاترکست‌ها به تنهایی فقط امتداد جریان را نشان می‌دهند، از این رو، تنها ساخت‌هایی از این نوع برداشت شدند که طبقه دربردارنده، حاوی ساخت نشان‌دهنده جهت نیز باشند. انواع ساخت‌های رسوبی لایه‌بندی مورب نوع تراف‌ها به دلیل آن که می‌توانند جهت‌های متفاوتی از خود نشان دهند، با احتیاط مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند و سعی شد از مواردی اندازه‌گیری شوند که نمایش سه‌بعدی از آن ساخت در طبقه دربردارنده نمایان باشند. بر اساس روش‌های بیان شده در بخش روش پژوهش، جهت جریان دیرینه در صحرا، اندازه‌گیری و تصحیحات دفتری لازم انجام گردیدند. نتیجه نمودار رسم شده برای کل داده‌های جریان دیرینه در شکل ۷- a نمایش داده شده است. برای ارائه نتایج بهتر، نمودارهای گل سرخی (رز دیاگرام) جداگانه‌ای برای دسته‌های

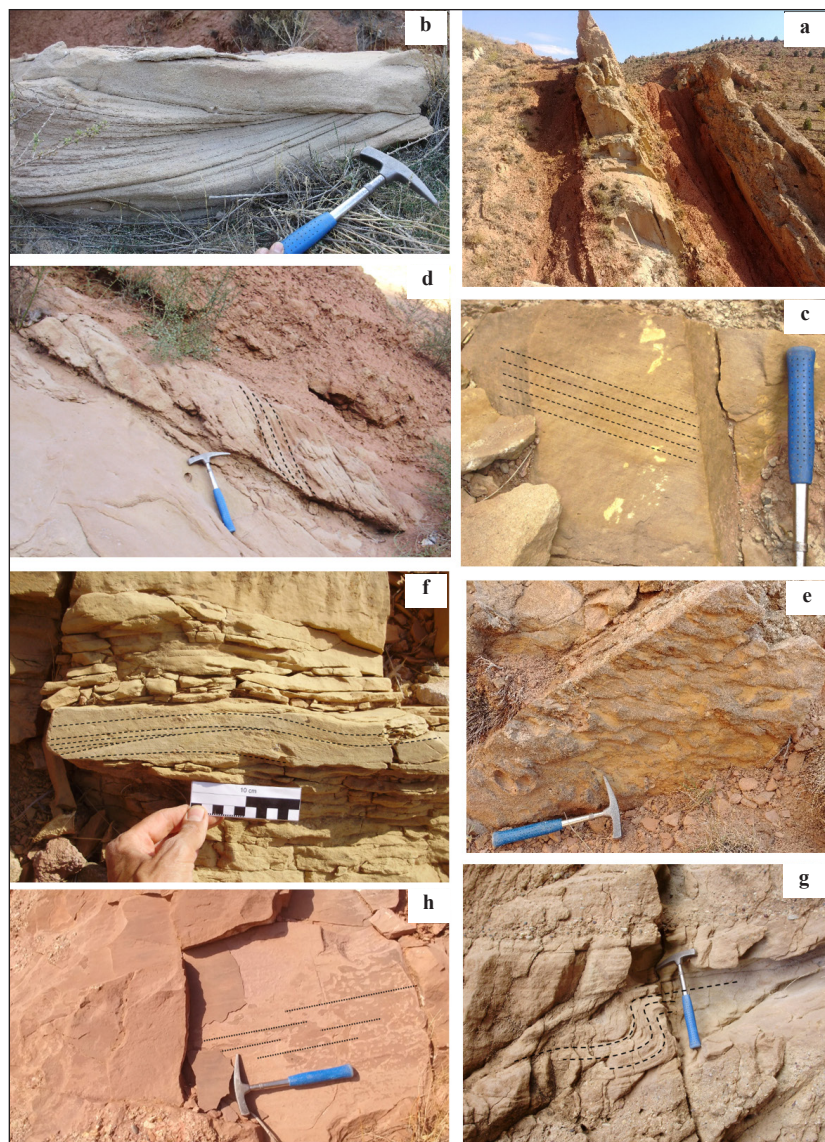
شواهد مطالعه رخساره‌ای و محیط رسوبی در این پژوهش و سن‌سنجی انجام شده توسط ریچنباخر و همکاران (Reichenbacher et al., 2011)، که سن تورتونین پیشین را برای این رسوبات ارائه نموده است، گویای آن هستند که این نهشته‌ها احتمالاً با دریای پاراتیس مرتبط می‌باشند. دلایلی که می‌توان این نهشته‌ها را با حوضه پاراتیس مرتبط دانست: ۱- رخساره دریایی کم‌رُفای این نهشته‌ها ۲- سن مطلق به‌دست آمده از این رسوبات که با دوره گسترش و پیشروی دریای پاراتیس در ناحیه شمال باختری ایران همخوانی دارد (Popov et al., 2004). افزون بر این، بر اساس مباحث زمین‌شناسی ایران پس از عقب‌نشینی دریایی حوضه قم، تنها حوضه دریایی حاضر در ناحیه شمال باختری ایران، دریای پاراتیس بوده است (آقائباتی، ۱۳۸۳). ۳- حضور فسیل‌های دریایی شناخته شده از حوضه پاراتیس از جمله فسیل ماهی *Atherina* و *Aphanis* در نهشته‌های لیگنیت‌دار و ماهی‌دار تبریز که نهشته‌های لیگنیت‌دار بلافاصله بر روی این طبقات با تبدیل تدریجی قرار گرفته است (Reichenbacher et al., 2011). حق فرشی و همکاران، ۱۴۰۲). شایان یادآوری است دریای پاراتیس دریای برقراری گسترده‌ای بوده که در اوایل الیگوسن تشکیل و در طول حیات خود تا انتهای میوسن، گستره آن دستخوش تغییرات زیادی شده است، چنانچه در طول دوره‌هایی با افزایش گسترش از اروپای غربی تا آسیای مرکزی وسعت داشته که سبب ارتباط آن با دریای مدیترانه و اقیانوس اطلس گردیده و زمان‌هایی نیز از این دریاها جدا گردیده است و در دوره‌های زمانی به صورت حوضه دریاچه‌ای مستقل بزرگی (Megalake) بوده است (Rögl, 1999; Popov et al., 2004, 2006; Palcu, et al., 2021; Palcu and Krijgsman, 2023).

رسوبات مرتبط با دریای پاراتیس در ایران غیر از این ناحیه، در نواحی البرز شمالی، دشت گرگان و دشت مغان گسترش دارند. در ناحیه مغان سازند زیور با سنی معادل الیگوسن میانی تا میوسن پیشین می‌باشد و مطالعه رخساره‌های آن گواه یک محیط

Miall, 2000; ۱۳۸۳؛ (موسوی حرمی، ۱۳۸۳). Potter and Pettijohn, 2012). از این رو، با توجه به مطالب بیان شده، شکل ۷- b و c می‌توانند سمت حوضه رسوبی را به ما نشان دهند که در سمت شمال تا شمال خاوری ناحیه قرار داشته است. همچنین با توجه به مطالب بالا، جریانات دریایی عامل تشکیل ساخت‌های مورب نوع تراف عمدتاً به موازات خط ساحلی تغییر جهت می‌دهند، از این رو، امتداد NW-SE نشان داده شده در شکل ۷- c خود می‌تواند روند خط ساحلی را نشان دهد. ساخت‌های خطی که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته‌اند، به دلیل استفاده کمی از سایر ساخت‌های همراه، می‌توانند تصویر دقیق‌تری از جهت جریان دیرینه به صورت امتداد عمود بر خط ساحلی و یا به عبارتی شیب فلات قاره ارائه نمایند (شکل ۷- d). همچنین با استفاده از مجموع دو دسته داده‌های خطی و مورب مسطح، نمودار شکل ۷- e به تصویر کشیده شده است. این نمودار نیز جهت واقعی‌تری از جهت جریان چیره با شکل unimodal خود نشان می‌دهد. در نهایت، با وجود داده‌های با تعداد کمی از ساخت‌های مورب ساحلی با زاویه کمتر از ۱۰ درجه، نمودار شکل ۷- f ترسیم شده است. به باور مِیال (Miall, 2000) ساخت‌های مورب با زاویه کم که در نواحی Backshore تا Foreshore تشکیل می‌شوند، بیشتر به سمت دریا شیب‌دار می‌شوند. از این رو، این نمودار نیز خود با وجود تعداد کم اندازه‌گیری‌ها دارای مفهوم بوده، به گونه‌ای که امتداد عمود بر این روند می‌تواند خط امتداد ساحلی را نشان دهد.

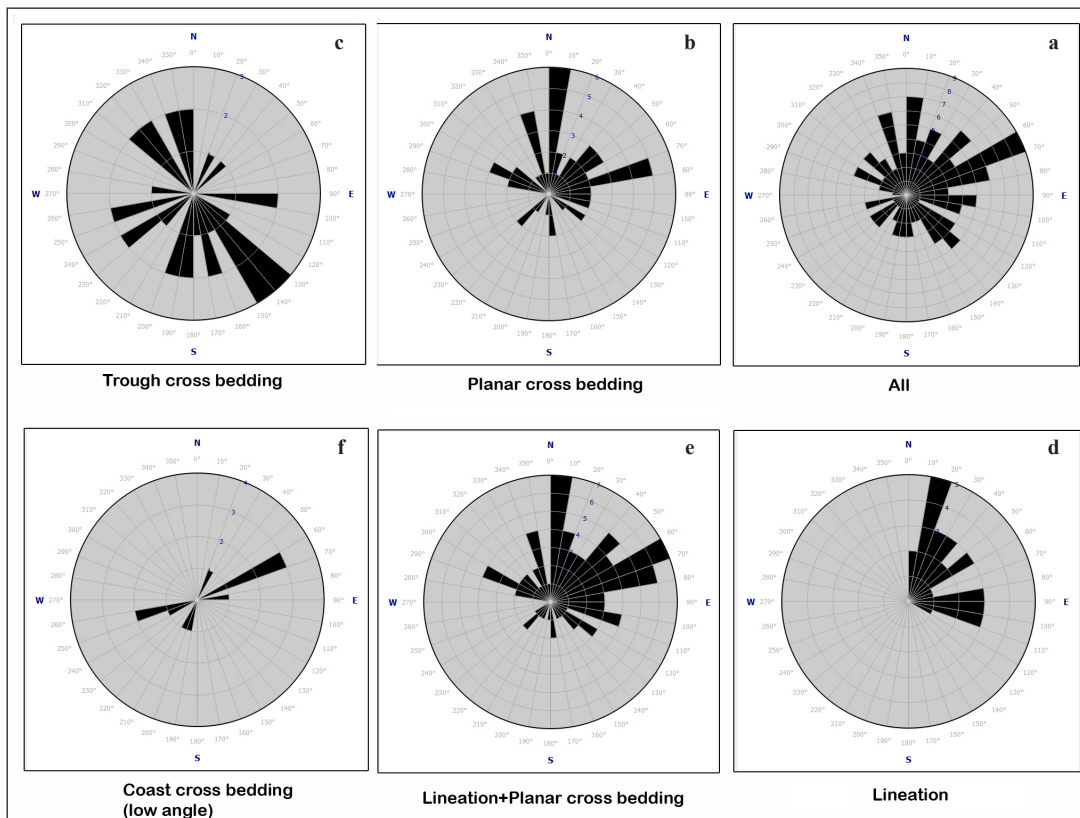
مختلف از ساخت‌ها رسم گردیدند. این دسته‌ها شامل نمودار مربوط به ساخت‌های لایه‌بندی مورب مسطح (شکل ۷- b)، نمودار برای ساخت‌های لایه‌بندی مورب نوع تراف (شکل ۷- c)، نمودار ارائه شده برای ساخت‌های خطی (شکل ۷- d)، نمودار ترسیم شده برای مجموع ساخت‌های لایه‌بندی مورب مسطح و ساخت‌های خطی (شکل ۷- e) و نمودار رسم شده برای ساخت‌های لایه‌بندی مورب با زاویه کم (شکل ۷- f) می‌باشند.

در مورد تفسیر نمودارهای نمایش داده شده، می‌توان چنین بیان نمود که در مورد مجموع کل نتایج، جهت جریان از سمت شمال باختری تا جنوب خاوری متغیر بوده است ولی جریان چیره به سمت شمال خاوری-خاوری می‌باشد (شکل ۷- a). بر اساس شکل ۷- a نمودار در کل polymodal بوده ولی با توجه به نمایش جهت چیره می‌توان آن را unimodal نیز در نظر گرفت. شایان یادآوری است که طبقات موربی که از سمت دریا به سمت ساحل (onshore) توسط جریان‌های دریایی در امتداد ساحل longshore و امواج ایجاد می‌شوند، بیشتر از نوع تراف (trough) هستند و بنابراین شیب‌های ساخت‌های مورب تراف بیشتر به موازات ساحل (longshore) و سمت خشکی می‌باشند. به این نوع ساخت‌های تراف Festoon troughs نیز گفته می‌شود. از سوی دیگر، جریان‌های موسوم به ebb current یا جریانات برگشتی (Backwash) از سمت ساحل به سمت offshore اغلب از نوع مورب مسطح یا پلانار می‌باشند که به آن‌ها مجموعه‌های beach accretion نیز گفته می‌شود و در ناحیه



شکل ۶- a) بخشی از نمای طبقات مورد مطالعه، دید به سمت خاور، b, c, d) ساخت طبقه‌بندی مورب تراف (Trough) و مسطح (Palnar)، e) آثار سطح زیرین فلوت کست (Flute cast)، f) طبقه‌بندی مورب نوع پشته‌ای (Hummocky c.)، g) ساخت اسلامپ (Slump St.)، h) ساخت جدایی خطی (lineation) در سطح یک ماسه‌سنگ.

Figure 6-a) View of the studied strata, view towards the east, b, c, and d) Structures of Trough and Planar cross bedding stratification, e) The Flute cast structure, f) The Hummocky cross stratification, g) Slump Structure, h) Parting lineation structure on the surface of a sandstone.

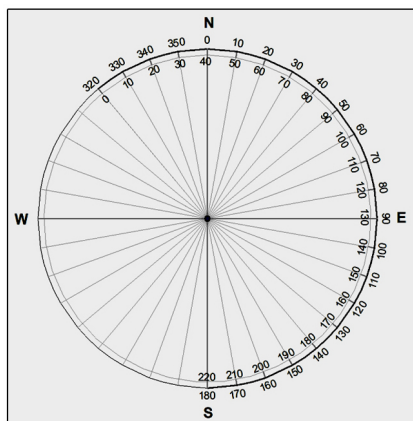


شکل ۷- نمودارهای گل سرخی (Rose diagram) نشان‌دهنده جهت جریان‌های دیرینه بر اساس اندازه‌گیری ساخت‌های رسوبی.

Figure 7. Rose diagrams showing the direction of paleocurrents based on measurements of sedimentary structures.

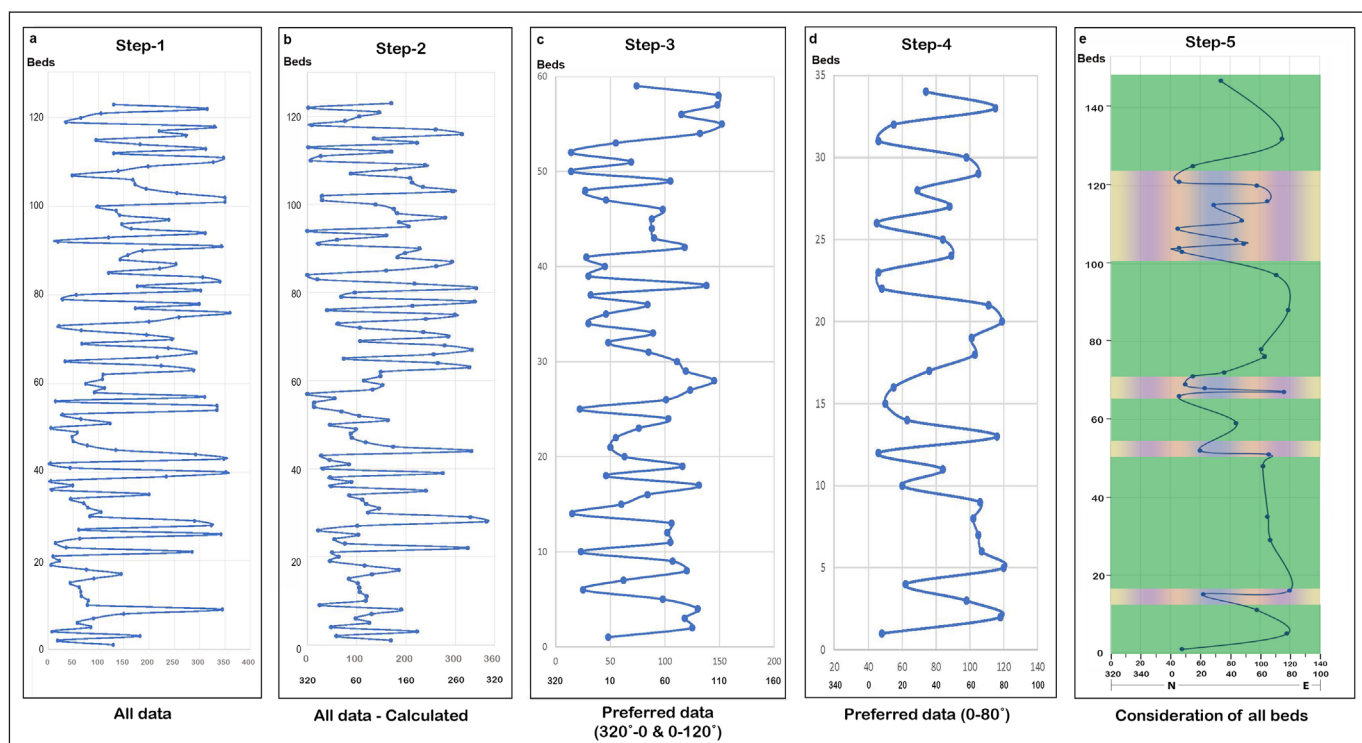
نمایش جهت جریان نمودیم و در آن از نمودار استریونت شکل ۷-e استفاده گردید که جهت جریان چیره را در محدوده N-NE (زاویه ۰ تا ۸۰ درجه) نشان می‌دهد. از این رو، سایر زوایا خارج از این بازه حذف و فقط این محدوده از آزیموت داده برای نمایش جهت جریان دیرینه استفاده گردید که در نمودار شکل ۹-d (Step 4) نشان داده شده است و مشاهده می‌گردد که تصویر واضح‌تری از تغییرات جریان دیرینه را در طول زمان به نمایش می‌گذارد. در مرحله پنجم اصلاح نمودار، داده‌ها به طبقات مربوط به خود مرتبط گردیده و فواصل طبقات بدون داده در رسم نمودار در نظر گرفته شده است. به بیان دیگر، محور قائم تعداد کل واقعی طبقات مورد اندازه‌گیری (۱۴۷ طبقه) را نشان می‌دهد، در حالی که در حالات قبلی محور قائم فقط طبقات «مورد اندازه‌گیری» از پایین به بالا در نظر گرفته شده بود. از این رو، با آن که محور قائم در نمودارهای ۱ تا ۴ هم نشانگر زمان بودند، ولی در مرحله پنجم (Steps 5)، محور قائم نمایش واقعی‌تری از زمان را نشان می‌دهد (شکل ۹-e). بنابراین در این نمودار دید بهتری از مدت زمان باقی ماندن در یک جهت جریان را به نمایش می‌گذارد. با توجه به این نمودار محدوده‌های زمانی ناهنجاری در جهت جریان، یا به عبارت دیگر تغییرات ناگهانی در شرایط حوضه رسوبی مشاهده می‌گردد که این اتفاق دست کم در چهار بازه زمانی روی داده است و سایر بخش‌های نمودار شرایط ثابت یا تغییرات ملایم در جهت جریان را نشان می‌دهند. این بازه‌های زمانی حادثه‌ای با رنگ متفاوتی روی نمودار نشان داده شده است. این مراحل می‌تواند فواصل زمانی رویدادهای زمین‌ساختی منطقه و فعالیت گسل تبریز را که سبب تغییر در شرایط حوضه رسوبی شده‌اند را نشان دهند. در مطالعات آینده با انجام مطالعات سن‌سنجی بر روی این طبقات از جمله اجرای روش مغناطیس‌سنجی دیرینه می‌توان سن این بازه‌های زمانی فعالیت زمین‌ساختی ناحیه یا گسل تبریز را به دست آورد.

در روش دوم، تحلیل جهت جریان دیرینه، تغییرات جهت جریان دیرینه به روش چپارلا و جویوا (Chiarella and Gioia, 2021) و با هدف بررسی تغییرات جهت جریان در یک توالی قائم انجام گردید و نمودارها با به‌کارگیری داده‌های اندازه‌گیری شده رسم شدند. چنانچه در شکل ۷-a مشاهده می‌گردد، نمودار اول تغییرات جهت جریان از صفر تا ۳۶۰ درجه را نمایش می‌دهد. مشکل این نحوه نمایش جهت جریان، در این است که در انتقال دو داده نزدیک به هم به‌طور مثال ۱۰ درجه و ۳۵۵ درجه، در این نوع نمودار این تغییر ناگهانی است، اما در واقعیت این گونه نیست. از این رو، برای رفع این اشکال و ارائه یک نمایش واقعی‌تر از جهت‌های جریان دیرینه، یک انتقال زوایا طبق شکل ۸ انجام شد. برای این کار با در نظر گرفتن زوایای موجود، یک انتقال ۴۰ درجه‌ای در آزیموت‌ها انجام داده شد. چنانچه به عنوان مثال زاویه ۰ درجه معادل با زاویه ۴۰ و زاویه ۹۰ درجه معادل ۱۳۰ درجه و به همان ترتیب این چرخش در همه زوایا اعمال گردید. از این رو، با داشتن آزیموت‌های به‌دست آمده جدید، نمودار جدیدی (Step 2) رسم شد که در آن پیک‌های انتقال ناگهانی مربوط به زوایای بالا در نمودار قبلی حذف گردیدند و بنابراین نمایش انتقال ناگهانی مربوط به زوایای ۳۲۰ درجه تا ۳۶۰ درجه در نمودار قبلی حذف شد (شکل ۹-b). در مرحله سوم، به علت پراکندگی گسترده زوایا، آزیموت‌ها را به بازه‌ای که نشان‌دهنده جهت معین و چیره هستند محدود کردیم. این جهت معین یاد شده با توجه به نتایج نمودارهای مرحله قبل (شکل ۷-a) که جهت چیره NW-SE را نمایش می‌دهد، انتخاب گردید. از این رو، با در نظر گرفتن زاویه ۳۲۰ تا ۱۲۰ درجه اصلی، آزیموت‌های خارج از این بازه را حذف و نمودار جدید رسم شد (Step 3) (شکل ۹-c). این نمودار با تعداد ۵۸ داده رسم شده است. چنانچه مشاهده می‌گردد، نمودار تصویر واضح‌تری از جهت جریان دیرینه و تغییرات آن در توالی قائم نشان می‌دهد. در مرحله چهارم، باز اقدام به محدودتر کردن بازه مورد نظر برای



شکل ۸- اصلاح زوایای آزیموت‌های جهت جریان دیرینه برای حذف ناهنجاری‌های موجود در نمودار جهت جریان دیرینه.

Figure 8. Correction of the azimuth angles of the paleocurrent direction to remove anomalies in the paleocurrent direction diagram.



شکل ۹- نمودارهای رسم شده در ۵ مرحله که تغییرات جهت جریان دیرینه در محور قائم توالی رسوبی را نشان می‌دهند. (a) نمودار رسم شده برای کل داده‌های اندازه‌گیری شده، (b) نمودار رسم شده بر اساس داده‌های اصلاح شده مطابق شکل ۸، (c) نمودار ترسیمی بر اساس ۵۸ داده برگزیده، (d) ترسیم بر اساس ۳۴ داده اندازه‌گیری برگزیده، (e) مرحله نهایی با ۳۴ اندازه‌گیری با در نظر گرفتن کل طبقات برش، نشانگر تغییرات جهت جریان و بازه‌های زمانی دارای ناهنجاری، محور افقی نمودارها آزیموت (Azimuth) جهت جریان و محور قائم "تعداد طبقات (Beds)" در توالی مورد مطالعه است که به سمت بالا جوان‌شونده می‌باشند.

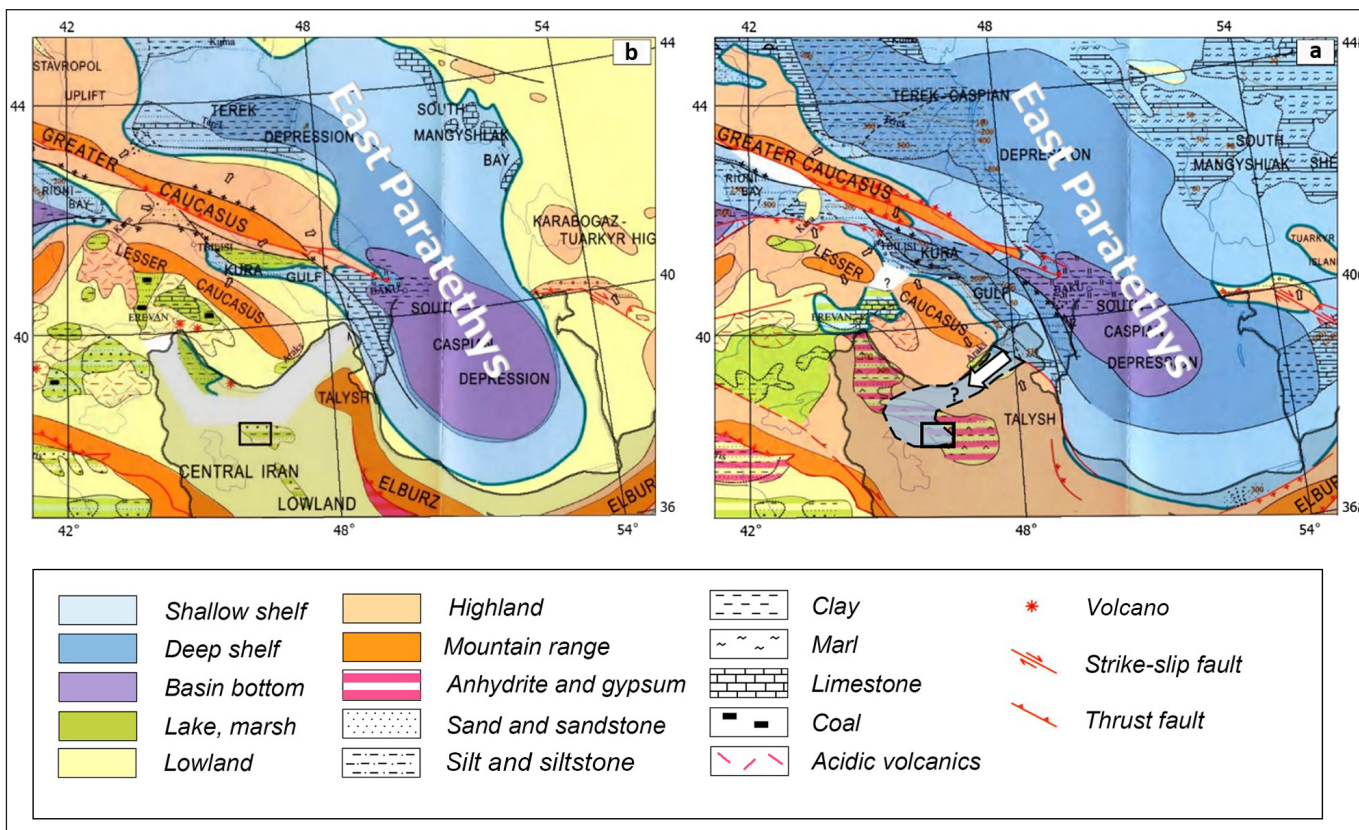
Figure 9. Diagrams drawn in five stages showing changes in the direction of paleocurrent on the vertical axis of the sedimentary sequence. a) Diagram drawn for all measured data; b) Diagram drawn based on the corrected data according to Figure 8; c) Diagram drawn based on 58 selected data; d) Diagram drawn based on 34 selected measured data; e) Final stage with 34 measurements considering all section beds, indicating changes in flow direction and time intervals with anomalies, the horizontal axis of the diagrams is the azimuth of the flow direction and the vertical axis is the number of beds in the studied sequence, which are younger upwards.

پژوهشگران از جمله پاپا و روگل، گسترش پاراتتیس در این زمان در ناحیه شمال باختری ایران همواره مبهم بوده است (Rögl, 1999; Popov et al., 2004, 2006). طبق نقشه جغرافیای دیرینه دریای پاراتتیس پاپا و همکاران (Popov et al., 2004) در زمان سراوالین پسین (Late Serravallian) دریای پاراتتیس بیشترین گسترش خود

بررسی جهت جریان دیرینه نشان‌دهنده آن است که حوضه رسوبی در ناحیه شمال تا شمال خاوری این ناحیه حضور داشته است. در کنار شواهد رخساره‌ای و محیط رسوب‌گذاری، گسترش و حضور احتمالی دریای پاراتتیس در زمان تورتونین پیشین در این ناحیه را تایید می‌کند (شکل ۱۰). با توجه به نقشه‌های رسم شده توسط

عقب‌نشینی آن از نواحی زیادی از جمله این ناحیه شده است. از این رو، نتایج این پژوهش تصویری روشن‌تری از جغرافیای دیرینه پاراتیس خاوری در ناحیه شمال باختری ایران ارائه می‌نماید.

را داشته است، به گونه‌ای که در این زمان این دریا تا بخش‌هایی از نواحی قفقاز ناحیه مابین قفقاز کوچک و قفقاز بزرگ (Trans-Caucasus) پیشروی داشته است. پس از آن در شروع تورنونین پسین، پسروی و خشک‌شدگی گسترده این دریا سبب



شکل ۱۰- نقشه جغرافیای دیرینه دریای پاراتیس در زمان میوسن میانی تا پسین (۷-۱۳ میلیون سال): (a) سراوالین پسین (Late Serravallian)، (b) تورنونین پسین (Late Tortonian)، (a) مرحله گسترش و پیشروی دریای پاراتیس در زمان سراوالین پسین، علامت پیکان سفید مسیر احتمالی نفوذ دریای پاراتیس از طریق معبر دره رودخانه ارس (Araks river passage) را نشان می‌دهد. این مسیر توسط ریچنباخر و همکاران (Reichenbacher et al., 2011) پیشنهاد گردیده است. (b) پسروی گسترده دریای پاراتیس در زمان تورنونین پسین. نقشه اصلی با تغییراتی برگرفته از پاپو و همکاران (Popov et al., 2004)، مستطیل تیره در هر دو شکل ناحیه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

Figure 10. Paleogeographic map of the Paratethys Sea - Middle to Late Miocene (7-13 million years ago), a) Late Serravallian; b) Late Tortonian. The dark rectangle is the study area, in map (a) the expansion stage of the Paratethys Sea during the Late Serravallian, the white arrow shows the possible path of intrusion and expansion of the Paratethys Sea through the Araks river passage. This path has been proposed by Reichenbacher et al. (2011). Map (b) showing the extensive retreat and drying of the Paratethys during the Late Tortonian. The original map is taken from Popov et al. (2004).

۴- نتیجه‌گیری

روی ساخت‌های رسوبی صفحه‌ای و خطی شاخص جهت جریان، نشان داد که جهت جریان چیره به سمت شمال و شمال خاوری بوده است. این نتیجه در کنار محیط رسوب‌گذاری شناسایی شده، نشان‌دهنده حضور حوضه رسوبی دریایی در سمت شمال تا شمال خاوری این ناحیه در زمان میوسن پسین می‌باشد که گویای گسترش به احتمال زیاد دریای پاراتیس در این زمان تا ناحیه تبریز می‌باشد و به عنوان یافته مهم این پژوهش بوده است. در این مطالعه، همچنین روشی نو برای بالا بردن کیفیت نمایش تغییرات جهت جریان دیرینه در یک توالی قائم ارائه گردید که می‌تواند تغییرات جهت جریان در طول زمان را نشان بدهد. رسم این نمودار برای رسوبات مورد مطالعه، نمایانگر فواصل زمانی دارای ناهنجاری یا فعالیت‌های زمین‌ساختی در ناحیه می‌باشد.

مطالعه سنگ‌شناسی میکروسکوپی بر روی ماسه‌سنگ‌های این رسوبات نشان‌دهنده رخساره‌های سنگی چرت‌آرنایت، کالک‌آرنایت، فلدسپاتیک لیتارنایت، ساب‌لیتارنایت و لیتیک آراکوز می‌باشند. بررسی انجام شده بر روی رخساره‌ها و ساخت‌های رسوبی نهشته‌های با سن تورنونین زیرین در ناحیه شمال تبریز نشان‌دهنده محیط رسوب‌گذاری دریایی کم‌ژرفا با انرژی کم، که به طور متناوب تحت تاثیر طوفان قرار گرفته است. همچنین زیرمحیط‌های مختلف از جمله Shoreface، Foreshore تا Offshore برای این نهشته‌ها تفسیر می‌شود. این رسوبات فاقد میکروفسیل روزن‌بر هستند که علت آن ناشی از شرایط پراثری محیط رسوبی، آواری بودن محیط و نیز شرایط شیمیایی حوضه رسوبی است. تحلیل جهت جریان حوضه رسوبی با استفاده از اندازه‌گیری‌های انجام گرفته بر

کتابنگاری

- آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۵۸۶ ص.
- اسدیان، ع.، ۱۳۷۲، نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تبریز، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- افتخارنژاد، ج.، قرشی، م.، مهرپرتو، م.، ارشادی، س.، زهره بخش، آ.، ۱۳۷۰، نقشه زمین‌شناسی تبریز- پلدشت، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- حق‌فرشی، ع.، ۱۳۸۹، مطالعه توالی‌ها، رخساره‌ها و محیط رسوبی تشکیلات پلیوسن زیرین در ناحیه تبریز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد گرایش رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ۲۱۳ ص.
- حق‌فرشی، ع.، رضایی، پ.، موسوی حرمی، س. ر.، فریدی، م.، ۱۴۰۲، سنگ‌چینه‌نگاری، رخساره‌ها و ارزیابی شرایط ته‌نشینی طبقات لیگنیت دار میوسن پسین بر مبنای شواهد فسیل‌شناسی و رسوب‌شناختی، در گستره خاوری تبریز، فصلنامه علمی علوم زمین، ۳۳ (۱)، ۱۲۷ ص. ۳-۲۶. <https://doi.org/10.22071/gsj.2022.343773.2001>
- حق‌فرشی، ع.، ۱۴۰۳، نقشه و گزارش زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ مراغه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور-در دست چاپ.
- رزازی بروجنی، م.، ۱۳۹۱، بررسی مشخصات سنگ‌شناسی محیط رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی سازند زیور در برش آتش‌آه احمد و تغییرات ضخامت آن در منطقه مغان، پایان‌نامه گرایش رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- فریدی، م.، خداینده، ع.، ۱۳۹۰ الف، نقشه و گزارش نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ کرگه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- فریدی، م.، خداینده، ع.، ۱۳۹۰ ب، نقشه و گزارش نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ تبریز ۱، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- موسوی حرمی، س. ر.، ۱۳۸۳، رسوب‌شناسی، موسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی.

References

- Agha Nabati, A., 2004. *Geology of Iran, Publications of the Geology Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran, 586 pp. (In Persian)*.
- 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>.
- Amini, A., 2006. Oligo-Miocene fluvial-dominated deltas on the shelf of the South Caspian Sea (Paratethys). *Facies*, 52(4), 579-597.
- Asadian, O., 1993. *Geological map of Tabriz, scale 1:100,000, Publications of the Geology Survey of Iran. (In Persian)*.
- 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).
- Bernor, R. L., 1986. Mammalian biostratigraphy, geochronology, and zoogeographic relationships of the Late Miocene Maragheh fauna, Iran. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 6(1), 76-95. <https://doi.org/10.1080/02724634.1986.10011600>.
- Campbell, B. G., Amini, M. H., Bernor, R. L., Dickinson, W., Drake, R., Morris, R., and Van Couvering, J. A. H., 1980. Maragheh: a classical late Miocene vertebrate locality in northwestern Iran. *Nature*, 287(5785), 837-841. <https://doi.org/10.1038/287837a0>.
- 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>.
- Chiarella, D., and Gioia, D., 2021. A graphic method for depicting basin evolution and changes in the dominant hydrodynamic process from paleocurrent data. *Geosphere*, 17(6), 1861-1868.
- Dasgupta, P., 2005. Facies pattern of the middle Permian Barren Measures Formation, Jharia basin, India: The sedimentary response to basin tectonics: *Journal of Earth System Science*, v. 114, p. 287-302, <https://doi.org/10.1007/BF02702951>.
- Davies, N.S., McMahon, W.J., and Shillito, A.P., 2018. A graphic method for depicting horizontal direction data on vertical outcrop photographs: *Journal of Sedimentary Research*, v. 88, p. 516-521, <https://doi.org/10.2110/jsr.2018.27>.
- Davoudzadeh, M., Lammerer, B., Weber-Diefenbach, K., 1997. Paleogeography, Stratigraphy, and tectonics of the tertiary of Iran. *Neues Jahrbuch Geologie Paläontologie Abhandlungen* 205, 33-67.
- Eftekhari Nezhad, J., Ghorashi, M., Mehrparto, M., Arshadi, S., Zohrebakhsh, A., 1991. *Geological Map of Tabriz-Poldasht, Scale 1:250000, Publications of the Geology Survey of Iran. (In Persian)*.
- Einsele, G., 2013. *Sedimentary basins: evolution, facies, and sediment budget*. 2nd edition, Springer.
- Faridi, M., Burg, J. P., Nazari, H., Haghypour, N., and Faridi, M., 2023. Neotectonics and paleoseismology of the North Tabriz Fault, Azerbaijan Region, Northwest Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 254, 105727.
- Faridi, M., Burg, J.-P., Nazari, H., Talebian, M., Ghorashi, M., 2017. Active faults pattern and interplay in the Azerbaijan region (NW Iran). *Geotectonics* 51 (4), 428-437.
- Faridi, M., Khodabandeh, A.A., 2011a. *Geological Map of Karga Quadrangle (Sheet No. 5266II SE, Scale 1:25,000), Geology Survey and Mineral Exploration of Iran. (In Persian)*.
- Faridi, M., Khodabandeh, A.A., 2011b. *Geological Map of Tabriz I Quadrangle (Sheet No. 5266II SW, Scale 1:25000), Geology Survey and Mineral Exploration of Iran. (In Persian)*.

- Folk, R. L., 1980. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing Co., Austin, Texas, 182 pp.
- Ghahamghash, J., Schmitt, A.K., Chaharlang, R., 2019. Age and compositional evolution of Sahand Volcano in the context of post-collisional magmatism in northwestern Iran: evidence for time- transgressive magmatism away from the collisional suture. *Lithos* 344–345, 265–279. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2019.06.031>.
- Ghassemi, M. R., Allen, M. B., and Motamedi, H., 2023. a Synthesis of the Geology and Petroleum Geology of the Iranian Portion of the South Caspian Basin and Surrounding Areas. *Journal of Petroleum Geology*, 46(4), 487-512.
- Ghorbani, M., 2019. *Lithostratigraphy of Iran*. Springer.
- Haghfarshi, E., 2009. *Study of facies, sedimentary facies and environments of lower Pliocene deposits in the Tabriz area*. M.Sc. Thesis, Azad University, Sciences and Research Branch, Tehran-Iran, 213 pp. (In Persian).
- Haghfarshi, E., 2024. *Geological Map and Report 1:25000 Maragheh, Geology Survey and Mineral Exploration of Iran - (In Persian)*. In press.
- Haghfarshi, E., Rezaee, P., Moosavi-Harami, SR., 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. P. 3-26. (In Persian). <https://doi.org/10.22071/gsj.2022.343773.2001>.
- Kamei, T., Ikeda, J., Ishida, H., Ishida, S., Onishi, I., Partoazar, H., Sasajima, S., and Nishimura, S., 1977. A general report of the geological and palaeontological survey in Maragheh area, North-West Iran. *Memories of the Faculty of Science, Kyoto University, SERIES of G.EoL. & MINERAL*, Vol. XLIII, No. 1/2, pp. 131-164, Pls. 7-9.
- 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).
- Korus, J.T., and Fielding, C.R., 2017. Hierarchical architecture of sequences and bounding surfaces in a depositional-dip transect of the fluvio-deltaic Ferron Sandstone (Turonian), southeastern Utah, U.S.A.: *Journal of Sedimentary Research*, v. 87, p. 897–920, <https://doi.org/10.2110/jsr.2017.50>.
- McKenzie, D., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, 30(2), 109-185.
- McRae, S. G., 1972. Glauconite. *Earth-Science Reviews*, 8(4), 397-440.
- Miall, A. D., 2000. *Principles of sedimentary basin analysis*: Springer, 616 p.
- Moosavi Harami, S., R., 2004. *Sedimentology*. Astan Quds Razavi Printing and Publishing Institute. (In Persian).
- Palcu, D. V., and Krijgsman, W., 2023. The dire straits of Paratethys: Gateways to the anoxic giant of Eurasia.
- Palcu, D. V., Patina, I. S., Şandric, I., Lazarev, S., Vasiliev, I., Stoica, M., and Krijgsman, W., 2021. Late Miocene megalake regressions in Eurasia. *Scientific Reports*, 11(1), 11471.
- 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.
- Popov, S. V., Shcherba, I. G., Ilyina, L. B., Nevesskaya, L. A., Paramonova, N. P., Khondkarian, S. O., and Magyar, I., 2006. Late Miocene to Pliocene palaeogeography of the Paratethys and its relation to the Mediterranean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 238(1-4), 91-106. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.03.020>.
- Potter, P. E., and Pettijohn, F. J., 2012. *Paleocurrents and basin analysis*. Springer Science & Business Media.
- Razazi Borujeni, M., 2012. *Investigation of the lithological characteristics of the sedimentary environment and sequence stratigraphy of the Zivar Formation in the Abesh Ahmad section and its thickness changes in the Moghan region, thesis in the field of sedimentology and sedimentary petrology, MSc, University of Tehran*. (In Persian).
- 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>.
- Reineck, H. E., and Singh, I. B., 2012. *Depositional sedimentary environments: with reference to terrigenous clastics*. Springer Science & Business Media.
- Rieben, H., 1935. Contribution à la géologie de l'Azerbeïdjan Persan. *Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles* 59 (1934), 19–144.
- Rögl, F., 1999. Mediterranean and Paratethys: facts and hypotheses of an Oligocene to Miocene paleogeography: short overview. *Geologica carpathica: international geological journal*, 50(4), 339.
- Sakai, T., Zaree, G., Sawada, Y., Ataabadi, M. M., and Fortelius, M., 2016. Depositional environment reconstruction of the Maragheh Formation, East Azarbaijan, Northwestern Iran. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 96(3), 383-398. <https://doi.org/10.1007/s12549-016-0238-z>.

- Sawada, Y., Zaree, G. R., Sakai, T., Itaya, T., Yagi, K., Imaizumi, M., Mirzaie Ataabadi, M., and Fortelius, M., 2016. K–Ar ages and petrology of the late Miocene pumices from the Maragheh Formation, northwest Iran. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 96(3), 399-431.
- Stöcklin, J., 1977. Stratigraphic lexicon of Iran. Geological Survey of Iran Report No. 18. Ministry of Industry and Mines, Teheran. 376 pp.
- TEŤÁK, F., 2018. Simple processing and retilting of the oriented lineations and its application in paleocurrent analysis. *Mineralia Slovaca*, 50(1).
- Tribovillard, N., Bout-Roumazelles, V., Abraham, R., Ventalon, S., Delattre, M., and Baudin, F., 2023. The contrasting origins of glauconite in the shallow marine environment highlight this mineral as a marker of paleoenvironmental conditions. *Comptes Rendus. Géoscience*, 355(S2), 1-16.
- Tucker, M. E., and Jones, S. J., 2023. *Sedimentary petrology*. John Wiley & Sons.