

Research Article

Neogene-Quaternary strike-slip changes on the Robat Karim fault zone, North of Central Iran

Zohreh Sadat Mehrabian¹, Shahryar Sadeghi^{1*}, Zeinab Davoodi¹

1- Department of Geology, Faculty of Science, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

Keywords: Robat Karim fault, Central Iran, Strike-slip fault, Slip sense inversion

1-Introduction

The Robat Karim Fault (RKF) is an NW-trending structure in the northern part of the Central Iranian block (Fig.1) that has experienced a multiple displacement history reflective of the late Miocene to present tectonic scenario of indentation, tectonic escape, and oroclinal flexure in northern Iran. The proximity of the fault zone to the population centers, such as Robat Karim town (Fig. 1) and Imam Khomeini International Airport, made it one of the most important geological structures in the area. Therefore, identifying geometry and the young kinematic pattern of this fault zone is fundamental.

A few previous studies of the area suggested different kinematics for the RKF (Berberian et al., 1985; Baharfiruzi, 2008). Slip sense change is suggested for the faults in Central Iran, north and south of the RKF (Sadeghi et al., 2022; Khodaparast et al., 2020). However, there is a mismatch between the suggested types of change. In the southern parts of the study area, Sadeghi et al. (2022) suggested strike-slip sense change on an NW strike fault zone cut the Qom sedimentary basin from sinistral to dextral. However, Khodaparast et al. (2020) suggested a quite different inversion for the nearby Kushk-e-Nosrat fault from dextral to sinistral. In this study, we provide kinematic and stratigraphic evidence for slip sense change of the RKF by considering data in the context of tectonic models for northern Central Iran.

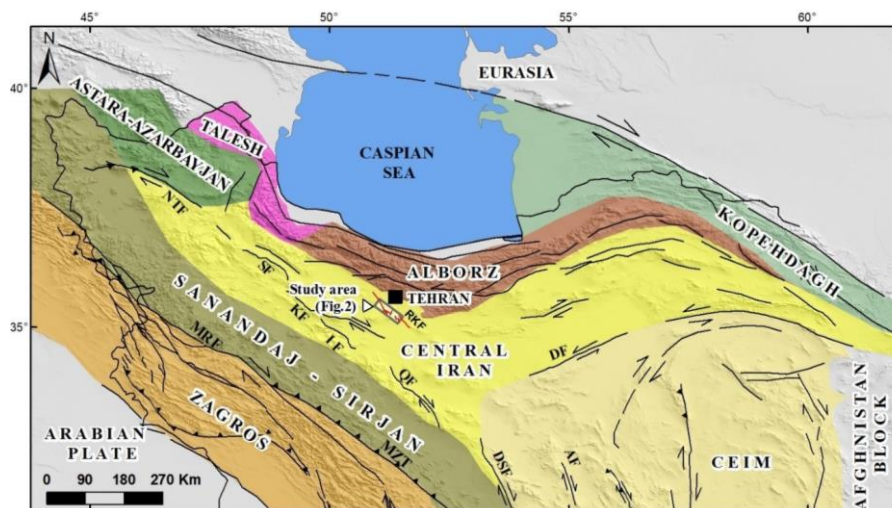


Fig. 1. Location of the study area with a hill shade model as a base for the regional tectonic map. Faults are compiled after Vernant et al. (2004), Hessami and Jamali (2003), and Sadeghi and Yassaghi (2016). Tectonic subdivisions are after Angiolini et al. (2007) with some modifications. CEIM: Central-East Iranian Microcontinent, DF: Darouneh Fault, DSF: Dehshir fault, IF: Indes fault, KF: Kushk-e-Nosrat fault, MRF: Main Recent Fault, MZT: Main Zagros Thrust, NTF: North Tabriz Fault, QF: Qom-Zafreh fault, RKF: Robat Karim fault, SF: Soltanieh fault.

* Corresponding author: shsadeghi@sci.ikiu.ac.ir

DOI:10.22055/aag.2024.46344.2442

Received: 2024-03-11

Accepted: 2024-06-30

2-Material and methods

In this study, detailed structural mapping and kinematic analysis of faults and folds were performed. Field measurements verified the identified fault lineaments to prepare a fault map. Then, field measurements were carried out at suitable outcrops in the Late Miocene-Pliocene rocks, Pliocene-Quaternary and Quaternary sediments. An angular unconformity and growth strata are also documented and used to constrain the timing of deformation.

3-Results and discussions

The RKF is a wide zone comprising several fault segments with different orientations and mesoscopic scale folds. The fault zone is also associated with an NW-trending basement fault inferred by aeromagnetic surveys (Morris, 1977; Nogol-Sadat et al., 1993) (Fm in Fig. 2). Structures are studied in three areas named areas 1 to 3 in Fig. 2.

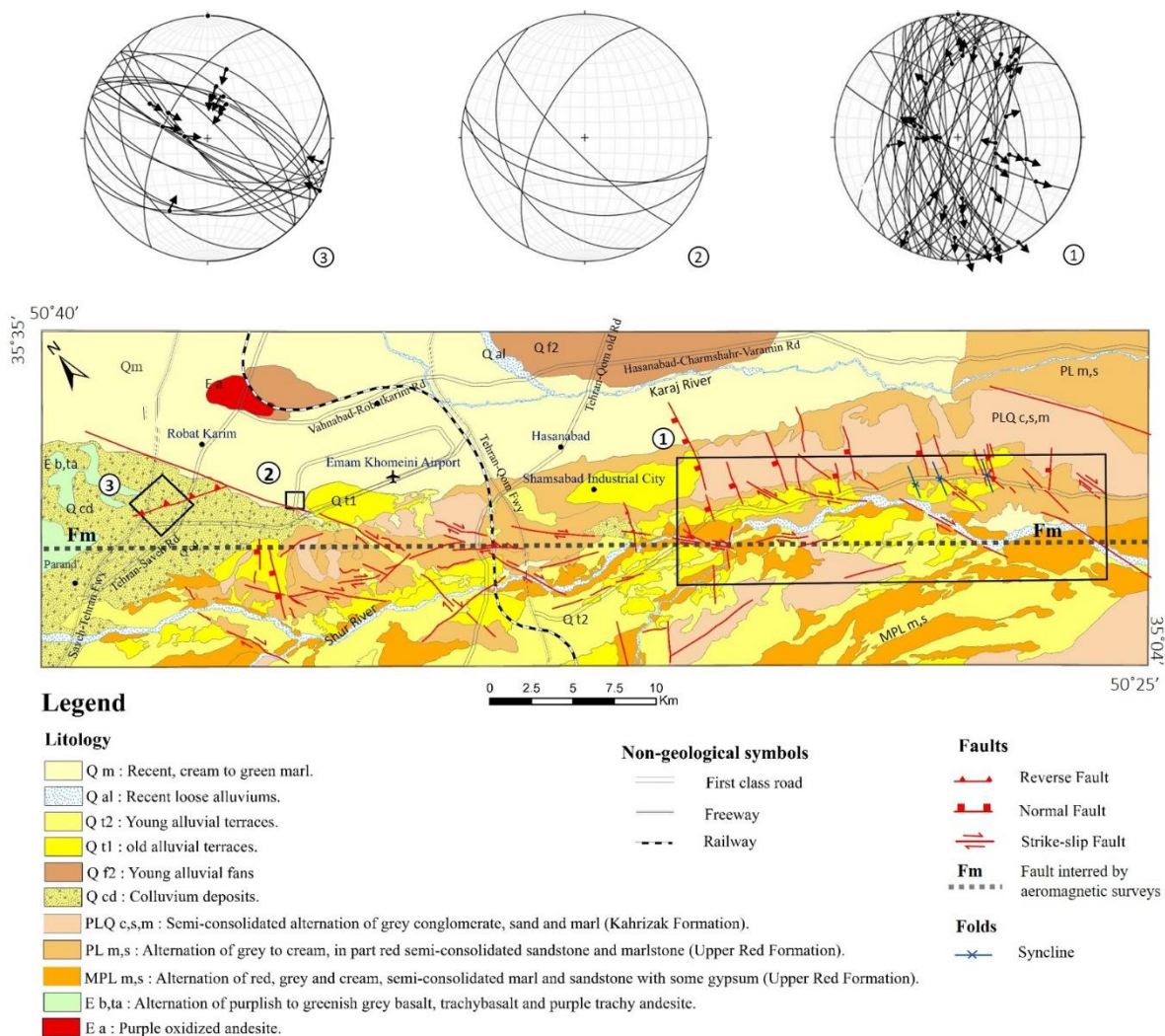


Fig. 2. Geological map of the study area after Baharfiruzi (2008) with some modifications according to the findings of this work. Numbered rectangles (1 to 3) show locations of field measurements. Stereographic projections of faults at each location (areas 1 to 3; see Fig. 3 for details of area 1) are given at the top of the figure.

In the Late Miocene-Pliocene rocks (area 1 in Fig. 2), three sets of faults are mapped: (1) N-S trending normal faults, (2) NNW-SSW trending dextral strike-slip faults, and (3) NE-SW trending reverse faults. Non-plunging synclines are also present in the area with NE-SW trending axes parallel to the reverse faults. NNW reverse faults and folds are confined to Late Miocene-Pliocene rocks, whereas NNW normal faults

and NW dextral strike-slip faults have affected younger (Quaternary) sediments, indicating more recent activity. Parallel faults with reverse and normal components are observed in some outcrops of the Late Miocene-Pliocene rocks and are considered a clue to kinematic change in the study area. In this sedimentary rock unit, an angular unconformity is observed in the middle of the succession, which truncates a syncline with an ESE dipping axial surface in the lower part of the succession. The fold axis parallels the reverse faults cutting the Late Miocene-Pliocene units. Evidence of growth strata is observed in the western limb of another syncline. The angular unconformity and the growth strata are indicators of syn-folding sedimentation during the Late Miocene-Pliocene.

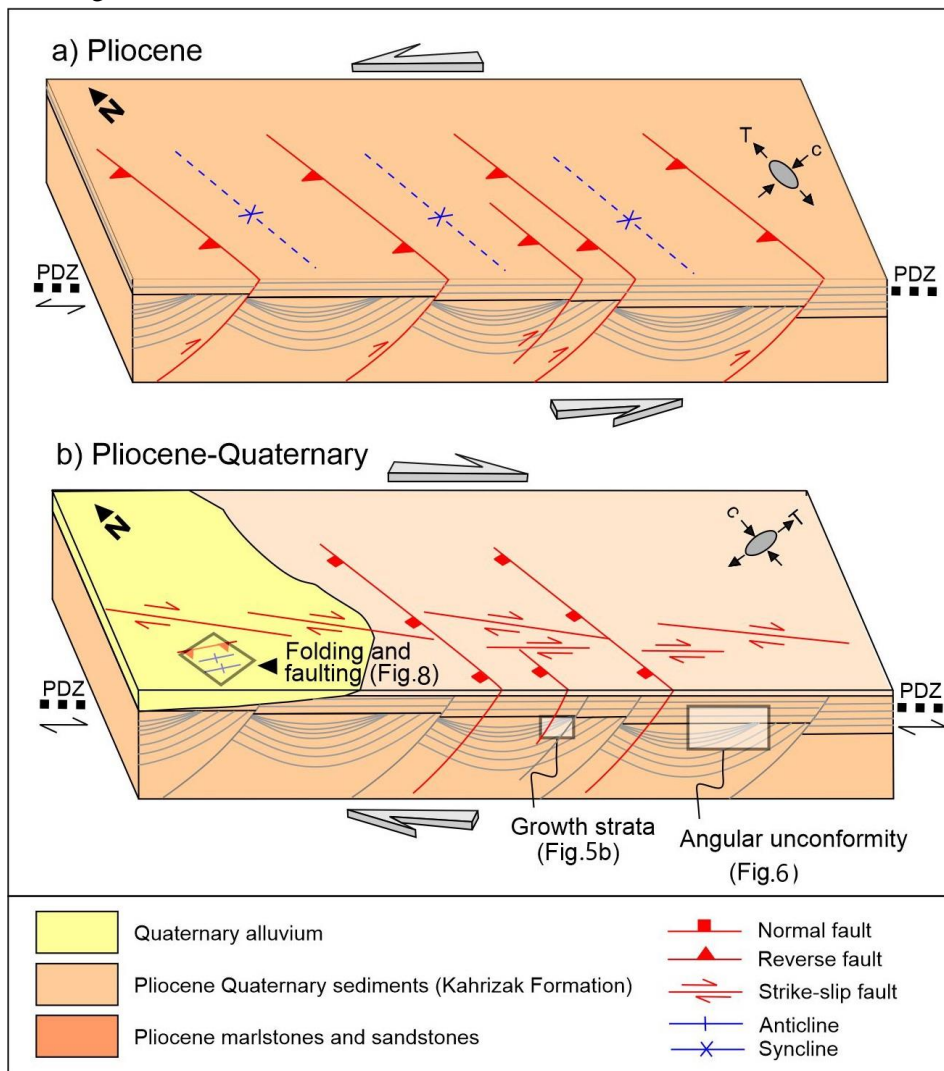


Fig. 3. Simplified model of kinetic change on the RKF; a) sinistral strike-slip movement in the Late Miocene-Pliocene that formed NNE reverse faults and folds; b) dextral strike-slip movement in Pliocene-Quaternary that formed NNE normal faults, ESE reverse faults and NNW dextral faults. PDZ: principal displacement zone of the subsurface Robot Karim fault. C and T represent the direction of compression and extension applied in strike-slip displacement.

At the area 2 (Fig.2), the faults cut the Quaternary alluvial deposits. The faults have two dominant strikes: NW and WNW. The faults are recognized from the alignment of fractures in pebbles and the offsets of pebbles.

In the Pliocene-Quaternary units (area 3 in Fig. 2), faults have two main strikes of WNW and NW, all steeply dipping with reverse slips. Faults are almost parallel to NW-trending gentle folds.

The association of compressive, extensional, and strike-slip structures can be interpreted as a result of strike-slip deformation along the RKF. Parallel faults with both reverse and normal components in the Late Miocene-Pliocene Upper Red Formation are formed from changing the kinematics of the RKF. Considering the NW orientation for the RKF, the E to ESE shortening that caused the N to NNE reverse faults and folds is consistent with sinistral displacement along the fault zone (Fig. 3a). The growth strata and angular unconformity on the folds in the middle of Upper Red formation (Late Miocene-Pliocene) constraint the time of effective NNE shortening caused folding under the effect of RKF sinistral movements. Other faults in the zone, including NNW dextral faults, N to NNE normal faults, and ESE reverse faults, are compatible with the dextral movement along the RKF. NNW dextral faults fit the “R” faults in the Riedel fault system associated with dextral movement along the RKF. Dextral movement of the RKF provided NNE extension and SSE compression favor NNE normal faults and WNW folds and reverse faults, respectively (Fig. 3b). Presence of these faults in Pliocene-Quaternary sediments indicates that the dextral motion of the RKF has occurred in Pliocene to Quaternary and are potentially still active.

As a part of the northern Central Iran zone, the study area is adjacent to the Alborz and the south Caspian basin in the north and the Arabian plate indented to the south. In the north (Alborz and south Caspian basin), two tectonic events affected since the Late Miocene (Mattei et al., 2017, 2019) are: 1) Alborz orthogonal flexure (4-6 Ma) (Mattei et al., 2019), and 2) present westward extrusion of the southern Caspian block (SCB) bordered by dextral strike-slip faults in the northern margin (i.e. Ashkabad fault) and sinistral strike-slip movement in the southern margin of the SCB and the southern edge of Alborz (Allen et al., 2002; Ritz et al., 2006; Hollingsworth, 2008). The sinistral strike-slip movement along the RKF, which co-occurred with the deposition of the Late Miocene-Pliocene units, may be affected by the sinistral slip of the southern margin of the western Alborz. In Central Iran, due to the relative northward movement of the Arabian plate, the NNW to NW faults had dextral motion. These fault displacements were formed by the indentation of Arabia into Eurasia, which has been active since the Arabia-Central Iran collision.

4-Conclusion

The major outcomes of this study are summarized as follows.

- Various structures indicate both dextral and sinistral movement along the Robat Karim fault zone (RKF) and parallel faults with reverse and normal components. These are a reflection of multiple deformations. Local reverse and normal faults in the cover succession are compatible with the dominant sinistral and dextral strike-slip displacement along the basement RKF.
- Syntectonic sedimentation has been inferred from growth strata and an angular unconformity truncating underlying folds and reverse faults in the Late Miocene-Pliocene (4-6 Ma) succession, which shows that the sinistral strike-slip deformation along the RKF is older and occurred at the time of deposition.
- Dextral strike-slip displacement along the RKF has formed folds and normal, reverse, and strike-slip faults in the Pliocene-Quaternary succession. It can be concluded that the dextral strike-slip movement of the RKF is a younger event that continues to present.
- Sinistral strike-slip movement along the RKF is considered to have been caused by the orocline flexure of the Alborz Mountains, which reflected the collision of Central Iran with the south Caspian and the Turan blocks. Dextral movement along the RKF resulted from the last stage of indentation of Arabia in the Pliocene (2-5 Ma) and led to the westward escape of the Anatolian plate.

5- References

- Allen, M.B., Jones, S., Ismail-Zadeh, A., Simmons, M., Anderson, L., 2002. Onset of subduction as the cause of rapid Pliocene-Quaternary subsidence in the South Caspian basin. *Geology* 30, 775–778. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2002\)030<0775:OOSATC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2002)030<0775:OOSATC>2.0.CO;2)

- Allen, M., Kheirkhah M., Emami, H., Jones, S.J., 2011. Dextral shear across Iran and kinematic change in the Arabia–Eurasia collision zone. *Geophysical Journal International* 184, 555-574. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04874.x>.
- Baharfirouzi, K., and Shafei, A.R., 2006. Geological Map of Robat Karim rectangle. Scale 1:100000.: Geological Survey of Iran, Tehran.
- Berberian, M., Ghoresli., M., Arzhangraves, B., Mohajer Ashjaei, A., 1985. Seismotectonic and earthquake-fault hazard investigations in the Tehran region. Report no.56, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran, 315pp. (In Persian).
- Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R., Nazari, H., 2008. Extrusion tectonics and subduction in the eastern South Caspian region since 10 Ma. *Geology* 36, 763–766. <https://doi.org/10.1130/G25008A.1>.
- Khodaparast, S., Madanipour, S., Nozaem, R., Hessami, K., 2020. Structural evidence on strike slip Kinematic inversion of the Kushk-eNosrat Fault zone, Central Iran. *Geopersia* 10, 195-209 . <https://doi.org/10.22059/GEOPE.2020.291450.648508>.
- Mattei, M., Francesca, C., Alimohammadian, H., Rashid, H., 2017. Oroclinal bending in the Alborz Mountains (Northern Iran): New constraints on the age of South Caspian subduction and extrusion tectonic. *Gondwana Research* 42, 13-26 .<https://doi.org/10.1016/j.gr.2016.10.003>.
- Mattei, M., Francesca, C., Nozaem, R., 2019. Clockwise paleomagnetic rotations in northeastern Iran: Major implications on recent geodynamic evolution of outer sectors of the.... *Gondwana Research* 71, 194-209 .<https://doi.org/10.1016/j.gr.2019.01.018>.
- Morris, P., 1977. Basement structure as suggested by aeromagnetic surveys in S.W. Iran. In *Second Geological Symposium of Iran: Proceedings of the Iranian Petroleum Institute, Tehran*.
- Nogol-Sadat, M.A., Ahmadzadeh Heravi, M., Almasian, M., Poshtkuhi, M., Hushmandzadeh, A., 1993. Tectonic Map of Iran. Scale 1:1000000, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Ritz, J.-F., Nazari, H., Ghassemi, A., Salamati, R., Shafei, A., Solaymani, S., Vernant, P., 2006. Active transtension inside central Alborz: a new insight into northern Iran-southern Caspian geodynamics. *Geology* 34, 477–480 .<https://doi.org/10.1130/G22319.1>.
- Sadeghi, S., Davoodi, Z., Esmaili, F., 2022. Neogene stages of strike-slip deformation of the Qom sedimentary basin-Central Iran. *Tectonics Quarterly Journal* 6(21), 53-66. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22077/JT.2023.5902.1145>.
- Walker, R., Jackson, J., 2004. Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran, *Tectonics* 23, TC5010. <https://doi.org/5010.1029/2003TC001529>

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Mehrabian, Z., Sadeghi, Sh., Davoodi, Z., 2025. Neogene-Quaternary strike-slip changes on the Robat Karim fault zone, North of Central Iran. *Adv. Appl. Geol.* 14(4), *Adv. Appl. Geol.* 14(4), 933-954.

DOI:10.22055/aag.2024.46344.2442

URL: https://aag.scu.ac.ir/article_19249.html

©2025 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

تغییرات جنبش امتدادلغز نئوزن-کواترنری گسل رباط کریم در شمال ایران مرکزی

زهره صادرات مهراییان

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

شهریار صادقی*

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

زینب داودی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

*shsadeghi@sci.ikiu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۰

چکیده

گسل رباط کریم ساختاری با روند شمال غربی در بخش شمالی بلوک ایران مرکزی است که تاریخچه جابجایی چندگانه‌ای را تجربه کرده است که نشان از رخدادهای زمین‌ساختی در شمال ایران از اواخر میوسن تا حال حاضر است. در پهنه گسلی، گسل‌ها بعلاوه چین خوردگی‌ها دارای راستای WNW، NNW و NNE و عوارض زمین‌ساختی-رسوبی مانند لایه‌های رشدی و ناپیوستگی زاویه‌دار برداشت شده‌اند. با توجه به روابط هندسی بین گسل‌های امتدادلغز و گسل‌های معکوس و نرمال، وارونگی امتدادلغز برای گسل رباط کریم پیشنهاد شده است. نشانه‌های رسوب‌گذاری همزمان با زمین‌ساخت مانند لایه‌های رشدی و ناپیوستگی زاویه‌دار، زمان تغییر شکل امتدادلغز چپ‌بر گسل رباط کریم را به میوسن-پلیوسن پسین محدود می‌کند. با این حال، تغییر شکل راستالغز راست‌بر گسل رباط کریم رسوبات کواترنر را تحت تاثیر قرار داده است. حرکت امتدادلغز چپ‌بر در امتداد گسل رباط کریم می‌تواند ناشی از خمش کوهستان کوه‌های البرز باشد که خود منعکس کننده برخورد ایران مرکزی با بلوک‌های جنوب خزر و توران است. حرکت راست‌بر در امتداد گسل رباط کریم و همچنین سایر گسل‌های شمال غربی ایران مرکزی حاصل آخرین مرحله فرورفتگی عربستان در پلیوسن است.

واژه‌های کلیدی: گسل، رباط کریم، ایران مرکزی، گسل امتدادلغز، وارون شدگی امتدادلغز.

۱- مقدمه

and Lin, 2004; Javadi et al., 2015). وارون شدگی در امتداد گسل‌های امتدادلغز در ادبیات زمین شناسی ایران نسبتاً نادر است (Javadi et al., 2015; Sadeghi et al., 2022). در این مقاله شاخص‌های ساختاری و چینه‌شناسی برای بحث در مورد وارون شدگی جنبش در پهنه گسله رباط کریم ارائه می‌شود.

پهنه گسلی رباط کریم یک ساختار با راستای شمال غربی در شمال ایران مرکزی است (شکل ۱). این پهنه گسله در ۳۰ کیلومتری جنوب کلانشهر تهران واقع شده است. نزدیکی پهنه گسلی به مراکز جمعیتی مانند شهر رباط کریم (شکل ۲) و فرودگاه بین‌المللی امام خمینی آن را به یکی از مهم‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی در منطقه تبدیل کرده است (شکل ۲). بنابراین شناسایی هندسه و الگوی جنبشی جوان این پهنه

در اثر رخ دادن جابجایی مختلف در طول یک صفحه گسل از قبل موجود، تغییرات جنبش رخ می‌دهد. این تغییرات در پاره-ای موارد به صوت وارون شدگی لغزش دیده می‌شوند. برای گسل‌های امتدادلغز این شرایط می‌تواند به صورت تغییر جنبش از راست‌بر به چپ‌بر یا برعکس رخ دهد. در گسل‌های درون صفحه‌ای، یک رویداد زمین‌ساختی جدیدتر ممکن است باعث فعال شدن مجدد یک ناحیه برشی امتدادلغز قدیمی شود، فرآیندی که به عنوان فعال‌سازی مجدد با وارون شدگی شناخته می‌شود (Javadi et al., 2015). برای تشخیص وارونگی شاخص‌های ساختاری و چینه‌شناسی استفاده می‌شوند (White et al., 1986; Holdsworth et al., 2008; Lacassin et al., 1998; Kim et al., 2001; Maruyama

۲- زمین شناسی

۲-۱- زمین شناسی ناحیه ای

منطقه مورد مطالعه در شمال ایران مرکزی نزدیک به پهنه البرز قرار گرفته است (Nabavi, 1976). ایران مرکزی در جنوب- غربی با صفحه عربستان، از شمال با البرز و از شرق با خرده قاره ایران در همسایگی است (شکل ۱). در طول دوره کرتاسه، صفحه عربستان (به عنوان بخشی از صفحه آفریقا) به سمت شمال حرکت کرد و نتوتیس با فرورانش شمال شرقی در زیر ایران مرکزی بسته شده است (Stampfli and Borel, 2002). فرورانش پوسته اقیانوسی باعث ایجاد آتشفشان ائوسن گسترده (زون ارومیه-دختر) و به دنبال آن برخورد شده است. برخورد در اواخر ائوسن آغاز شده و باعث تغییر شکل گسترده در البرز و ایران مرکزی از جمله گسلش امتدادلغز شده است (Agard et al., 2005; Vincent et al., 2005; Allen and Armstrong, 2008). فرار به سمت غرب صفحه آناتولی یک اثر آشکار از ادامه همگرایی پس از برخورد است (شکل ۱) و احتمالاً پس از ایجاد زمین درز بین بلوک افغانستان- هند در زمان پلیوسن رخ داده است (Allen et al., 2011).

۲-۲- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

ایران مرکزی شامل حوضه رسوبی وسیعی است که بین کمربندهای البرز و زاگرس واقع شده است (Morley et al., 2009). پس از فعالیت آذرین گسترده‌ای که در ایران مرکزی در ائوسن رخ داده، این حوضه رسوبی با گسلش نرمال در الیگوسن-میوسن تا اوایل میوسن میانی بوجود آمده است (Morley et al., 2009). قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه مورد مطالعه، آندزیت های ائوسن هستند (Eb.ta در شکل ۲). در منطقه مورد مطالعه، سنگ‌های الیگوسن تا میوسن اولیه وجود ندارند و سنگ‌های رسوبی میوسن پسین-پلیوسن (MPLm,s) به طور ناپیوسته روی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن قرار گرفته‌اند. این سنگ‌های رسوبی متشکل از تناوب ماسه‌سنگ با سیمان ضعیف و سنگ‌های مارن خاکستری تا کرم (به طور تصادفی قرمز) با لایه‌های گچی هستند (شکل ۲). رسوبگذاری پلیوسن با تناوب سنگ مارن قرمز، خاکستری و کرم و ماسه‌سنگ (PLm,s : سازند قرمز بالایی) ادامه یافته است که معادل آنها در حوضه رسوبی ایران مرکزی (Morley et al., 2009) و البرز (Paknia et al. 2021) گسترش دارند. رسوبات پلیوسن-کواترنر عمدتاً از سنگریزه‌های متوسط دانه بندی شده و کمی

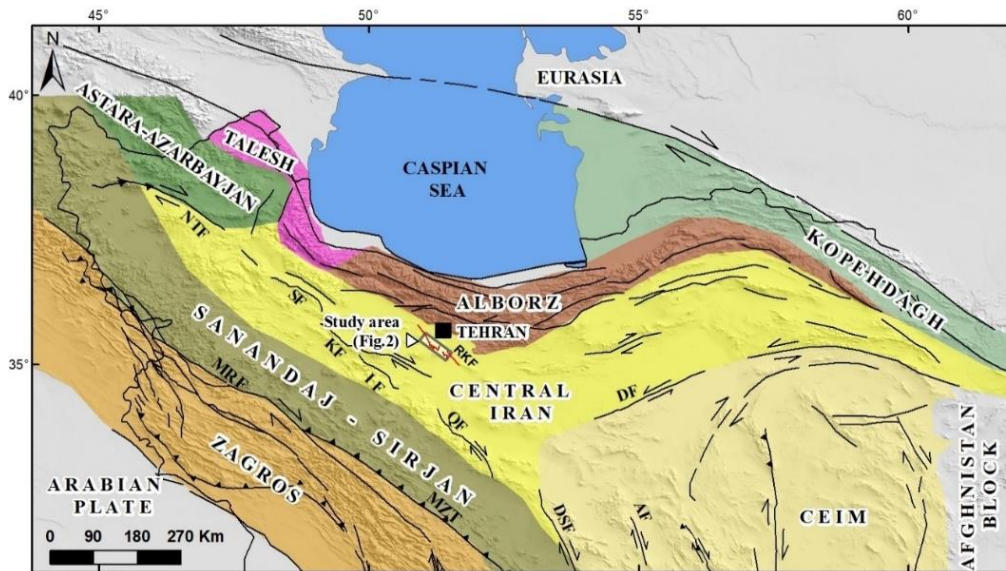
گسلی بسیار حائز اهمیت است. در فقدان زلزله‌های دستگاهی بزرگ برای تعریف حرکت جوان گسل از راه‌حل‌های مکانیسم کانونی، در چند مطالعه قبلی در این گستره، جنبش‌های متفاوتی را برای این پهنه گسله پیشنهاد کرده اند (Berberian et al., 1985; Baharfirouzi and Shafei, 2006). وارونگی لغزش برای گسل‌های ایران مرکزی، شمال و جنوب گسل رباط کریم پیشنهاد شده است (Khodaparast et al., 2020; Sadeghi et al., 2021). با این حال، یک عدم تطابق بین نوع پیشنهادی وارون‌شدگی وجود دارد. در قسمت‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه، Sadeghi و همکاران (۲۰۲۲) بر روی یک پهنه گسله با راستای شمال غربی در حوضه رسوبی قم، با توجه به تقدم و تاخر رویدادهای زمین‌شناسی و هندسه گسل-های ریدل، وارون‌شدگی امتداد لغز از وضعیت چپ‌بر به راست‌بر پیشنهاد داده‌اند. با این حال، Khodaparast و همکاران (۲۰۲۰) برای گسل کوشک‌نصرت بر اساس دو نوع خش‌لغز گسل بر روی گسل اصلی و هندسه گسل‌های ریدل، وارون-شدگی کاملاً متفاوتی را از وضعیت راست‌بر به چپ‌بر پیشنهاد نموده‌اند.

به عنوان بخشی از ایران مرکزی، این امکان مطرح است که این منطقه تحت تأثیر برخورد زاگرس (Talebian and Jackson, 2002; Allen et al., 2004; Nemati and Yassaghi, 2010; Sadeghi and Yassaghi, 2016) و جنبش‌های موثر بر البرز شامل خمش کوهزاد البرز و مهاجرت بلوک جنوبی خزر (Hollingsworth et al. 2008; Mattei et al. 2019) قرار گرفته باشد. به عقیده برخی از محققین، مهاجرت جنوب حوضه خزر به سمت غرب، سبب تغییر شکل امتدادلغز چپ‌بر در پهنه البرز شده است که می‌تواند بر روی گسل‌های پهنه ایران مرکزی تأثیر گذاشته باشد (Baharfirouzi and Shafei, 2006; Khodaparast et al., 2020).

در این مطالعه، با در نظر گرفتن ارتباط عناصر ساختاری در چارچوب مدل‌های زمین‌ساختی شمال ایران مرکزی (شکل ۱)، شواهد جنبشی و چینه‌شناسی برای وارون‌شدگی امتدادلغز گسل رباط کریم ارائه شده است. وارون‌شدگی لغزش و زمان‌بندی آن و ساختارهای مرتبط با جنبش‌های قبل و پس از وارون‌شدگی گسل رباط کریم با استفاده از شواهد صحرایی بررسی شده و مورد بحث قرار گرفته است.

تشکیل شده‌اند. نهشته‌های واریزه ای (Qcd) از فرسایش واحدهای سنگی و ته نشین شدن رسوبات حاصل به وجود آمده و از قطعات سنگ زاویه‌دار با دانه بندی ضعیف تشکیل شده‌اند که اندازه آنها از تخته‌سنگ تا ماسه متغیر است.

گرد شده از جنس بازالت، دیوریت، گچ، چرت و آندزیت در زمینه ماسه و گل تشکیل شده است. پادگانه‌های رودخانه‌ای آبرفتی (Qt) عمدتاً در کنار رودخانه‌های اصلی یافت می‌شوند و از سنگ‌ریزه‌های گرد با دانه‌بندی متوسط به جنس سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و ماسه‌سنگ‌های نئوژن در زمینه ماسه و گل



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه پهنه‌بندی زمین‌ساختی ایران. گسل‌ها براساس Hessami و Jamali (۲۰۰۳)، Vernant و همکاران (۲۰۰۴) و Sadeghi و Yassaghi (۲۰۱۶) ترسیم شده‌اند. پهنه‌های زمین‌ساختی بر اساس Angiolini و همکاران (۲۰۰۷) با برخی تغییرات ترسیم شده است. CEIM: خرده قاره شرق ایران مرکزی، DF: گسل درونه، DSF: گسل دهشیر، IF: گسل ایندس، KF: گسل کوشک‌نصرت، MRF: گسل اصلی جوان زاگرس، MZT: راندگی اصلی زاگرس، NTF: گسل شمال تبریز، QF: گسل قم - ظفره، RKF: گسل رباط کریم، SF: گسل سلطانیه.

Fig. 1. Location of the study area with a hillshade model as a base to the regional tectonic map. Faults are compiled after Hessami and Jamali (2003), Vernant et al. (2004), and Sadeghi and Yassaghi (2016). Tectonic subdivisions are after Angiolini et al. (2007) with some modifications. CEIM: Central-East Iranian Microcontinent, DF: Darouneh Fault, DSF: Dehshir fault, IF: Indes fault, KF: Kushk-e-Nosrat fault, MRF: Main Recent Fault, MZT: Main Zagros Thrust, NTF: North Tabriz Fault, QF: Qom-Zafreh fault, RKF: Robot Karim fault, SF: Soltanieh fault.

قابل مشاهده و برداشت بوده‌اند. اندازه‌گیری‌های میدانی در سه محدوده متفاوت انجام شد: (۱) محدوده ۱ در سنگ‌های میوسن پسین-پلیوسن در جنوب شرق حسن آباد، (۲) محدوده ۲ در رسوبات کواترنر مجاور فرودگاه بین‌المللی امام خمینی و (۳) محدوده ۳ در رسوبات پلیوسن-کواترنر در غرب پرند (شکل ۲). برداشت‌های صحرائی به یافتن شاخص‌های جنبشی از جمله خش لغزها و ساختار S-C در امتداد گسل‌ها (Doblas, 1998) توجه ویژه‌ای شده است و اندازه‌گیری جهت‌یافتگی سطوح لایه-های چین‌خورده برای تجزیه و تحلیل استریوگرافی چین‌ها

۳- روش پژوهش

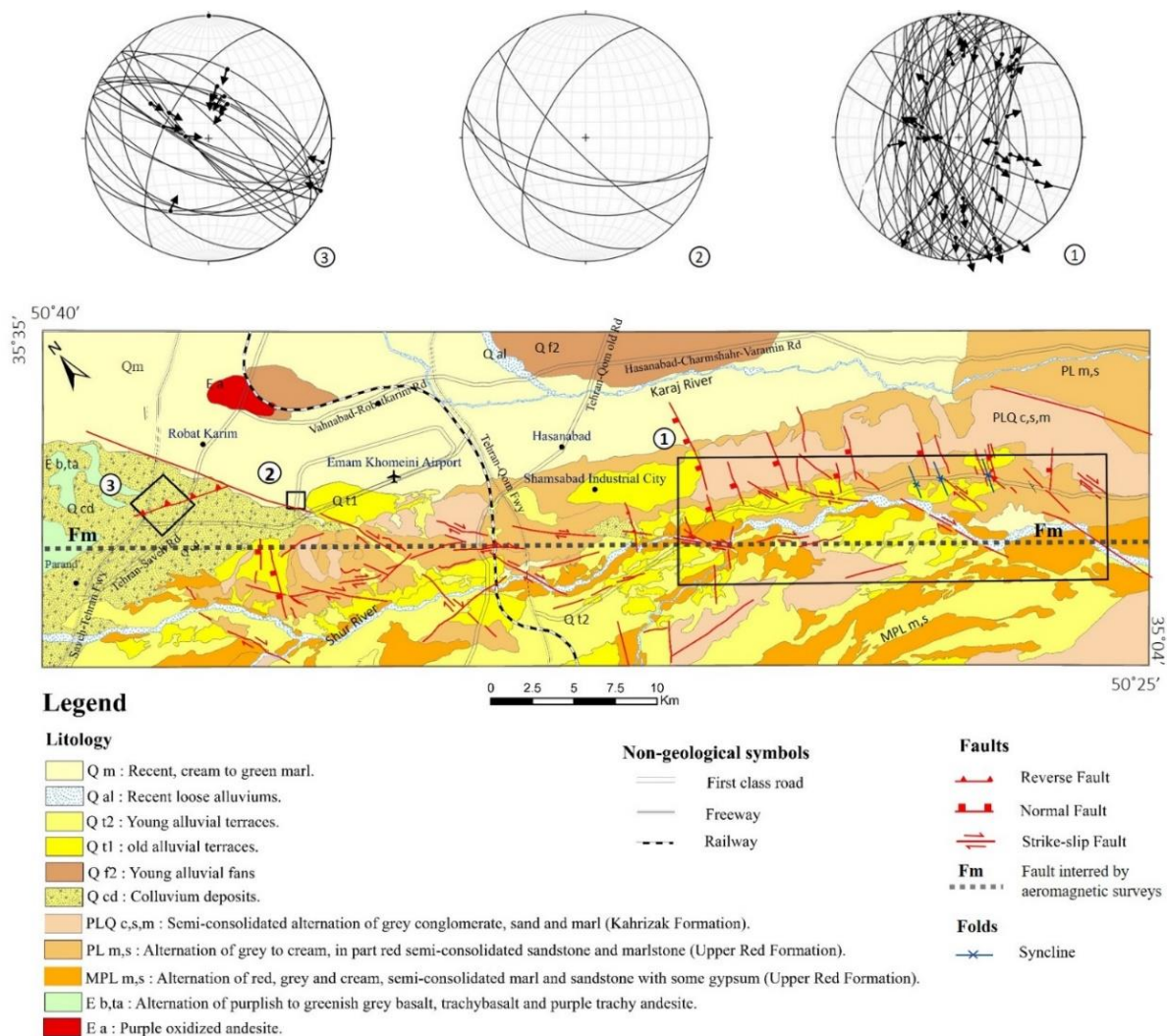
در این مطالعه نقشه‌برداری دقیق ساختاری و تحلیل جنبشی گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها انجام شد. در تصاویر ماهواره‌ای Quick Bird که در Google Earth قابل دسترس هستند، خطواره‌های گسلی با استفاده از علائمی مانند شکستگی‌های سطحی و جدایش لایه‌های سنگ موجود استخراج شده است. خطواره‌های گسلی شناسایی شده با اندازه‌گیری‌های میدانی تکمیل شده و نقشه گسل‌ها تهیه گردید. واحدهای سنگی نرم و فرسایش پذیر و رسوبات تنها در شیروانی‌های سنگی جاده

تشکیل شده است. پهنه گسله همچنين با يك گسل زیرسطحي با روند NW مرتبط است که توسط بررسی های مغناطيس هوایی استنباط شده است (Morris, 1977, Nogol-Sadat et al., 1993 (در شکل ۲).

انجام شده است. ناپيوستگي زاويه دار و چينه های رشدی نیز مستند شده و برای تعیین زمان تغييرشکل استفاده شده اند.

۴- بررسی های ساختاری در محدوده های مختلف

گسل رباط کریم یک پهنه گسترده است که از چند قطعه گسلی با جهت یافتگی های مختلف به همراه چین های متوسط مقیاس



شکل ۲- نقشه زمین شناسی گستره مورد مطالعه (Baharfirouzi and Shafei, 2006) با برخی تغییرات با توجه به یافته های این تحقیق. مستطیل های شماره دار (۱ تا ۳) محدوده های اندازه گیری های میدانی را نشان می دهند. تصاویر استریوگرافی از گسل ها در هر محل در بالای شکل نشان داده شده است. برای جزئیات محدوده ۱ به شکل ۳ مراجعه شود.

Fig. 2. Geological map of the study area after Baharfirouzi (2008) with some modifications according to the findings of this work. Numbered rectangles (1 to 3) show locations of field measurements. Stereographic projections of faults at each location (areas 1 to 3; see Fig. 3 for detail of area 1) are given at the top of the figure.

شکل ۲) مورد مطالعه قرار گرفت. در این محدوده سه دسته گسل قابل تشخیص است (شکل ۳) که عبارتند از: (۱) گسل های نرمال با راستای N-S، (۲) گسل های راستالغز راست بر با روند NNW-SSW، و (۳) گسل های معکوس با روند NE-SW.

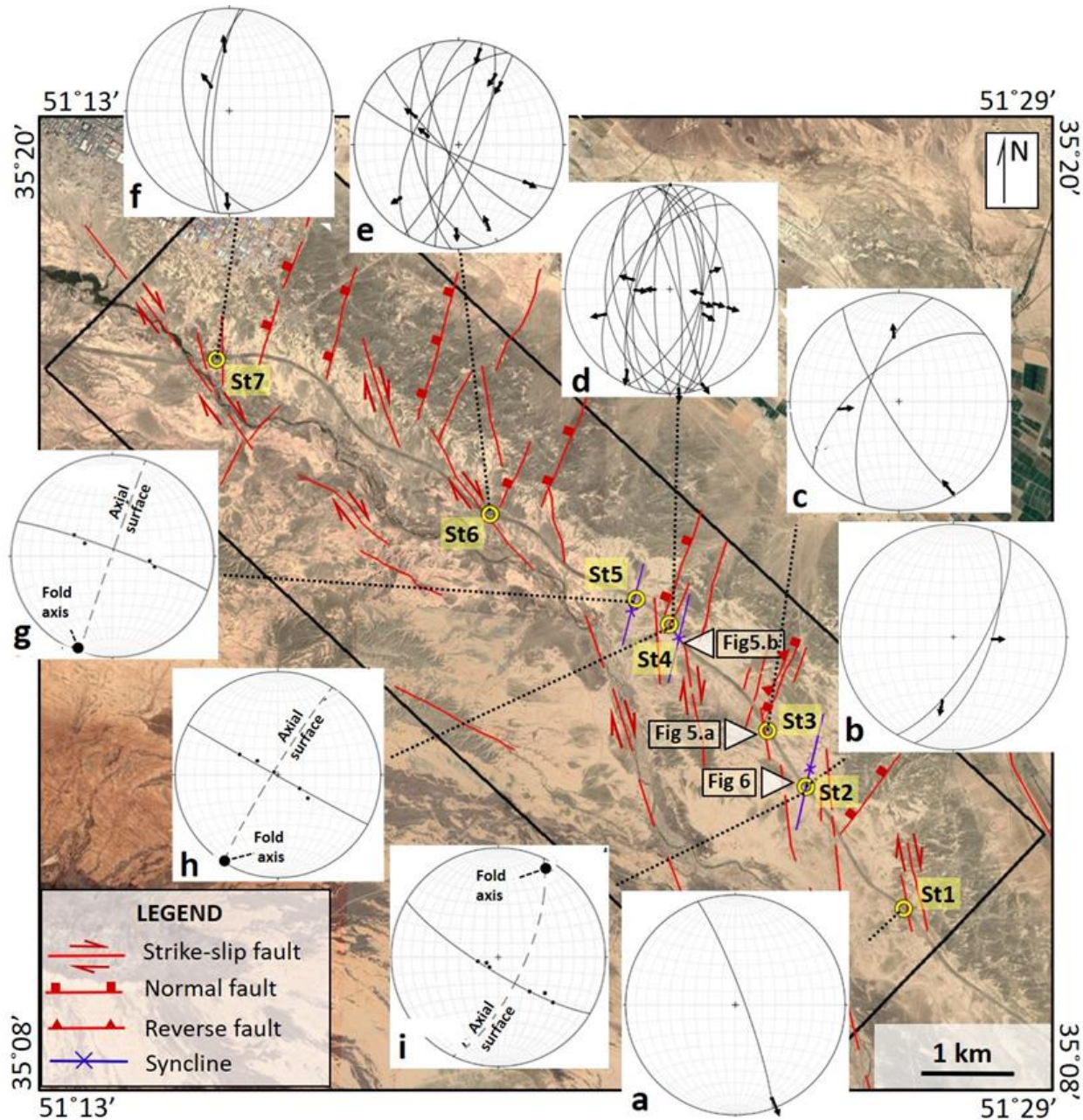
۴-۱- ساختار زمین شناسی در واحدهای سنگی میوسن

پسین-پلیوسن

ساختارهای موجود در سنگ های میوسن پسین-پلیوسن در بریدگی جاده های بزرگراه جنوب شرقی حسن آباد (منطقه ۱ در

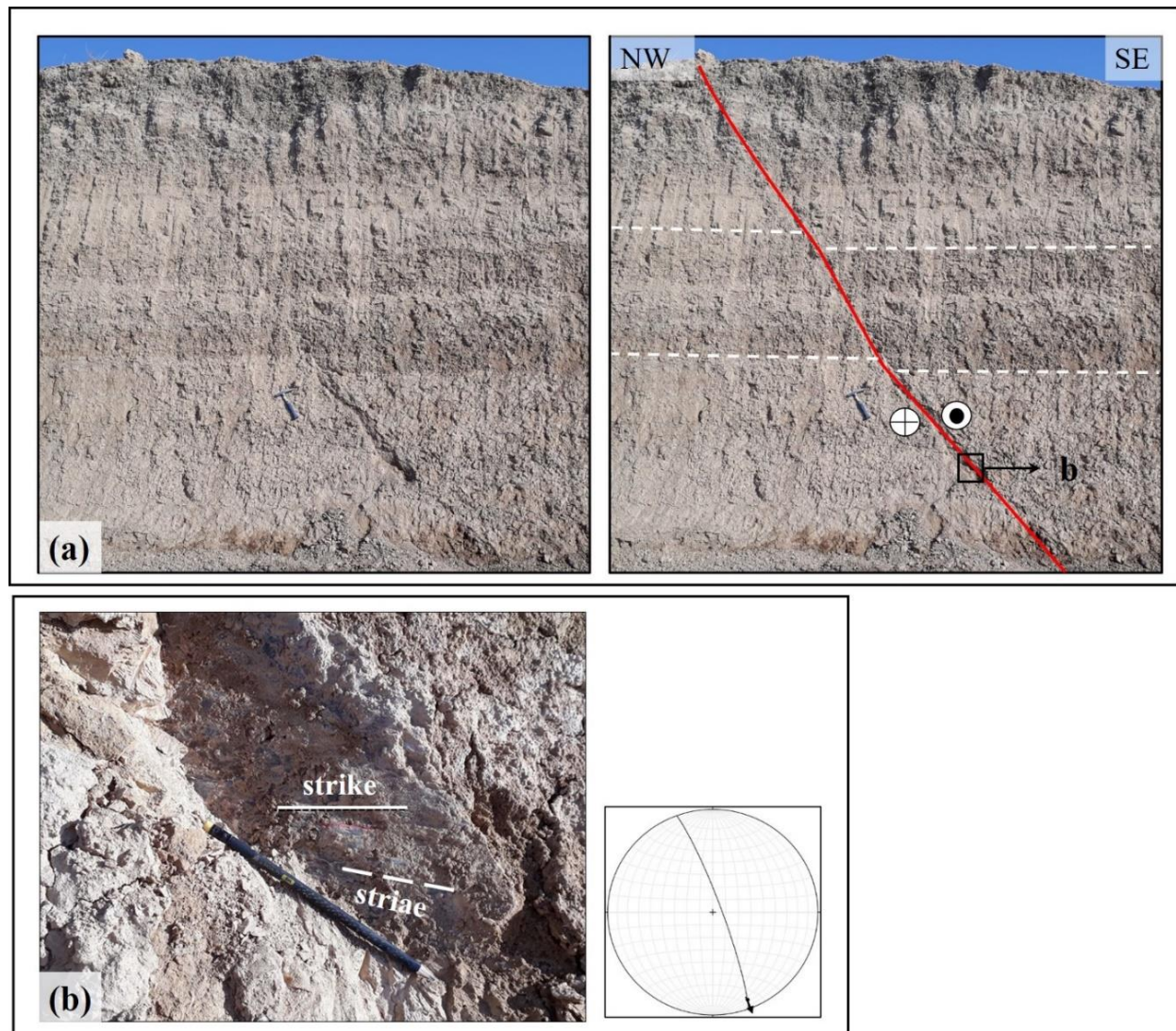
می‌شوند، در حالی که گسل‌های شمال غرب (شکل ۳) در رسوبات جوان‌تر (کواترنری) تأثیر گذاشته‌اند که نشان از فعالیت‌های جوان آنها است.

ناودیس‌های دارای محور افقی نیز با محورهای دارای روند-NE-SW موازی با گسل‌های معکوس نیز در گستره وجود دارند (شکل ۳). گسل‌های معکوس و چین‌خوردگی‌های دارای راستای NNW به سنگ‌های میوسن-پلیوسن پسین محدود



شکل ۳- موقعیت ساختارها و ایستگاه‌های برداشت در سنگ‌های میوسن پسین-پلیوسن بر روی تصویر ماهواره‌ای از Google Earth. "a" تا "f" تصاویر استریوگرافیک گسل‌ها و خش‌لغزهای مربوطه هستند. "g" تا "i": تصاویر استریوگرافی هستند که قطب‌های لایه بندی و محورهای ناودیس‌ها را نشان می‌دهند. برای موقعیت، محدوده ۱ در شکل ۲ را ببینید.

Fig. 3. Location of stations in the Late Miocene-Pliocene rocks on satellite image from Google Earth. "a" to "f" are stereographic projections of faults and relevant striations; "g" to "i:" are stereographic projections indicating the pole to bedding planes and fold axes of the synclines. For location see area 1 on Fig. 2 and Table 1.



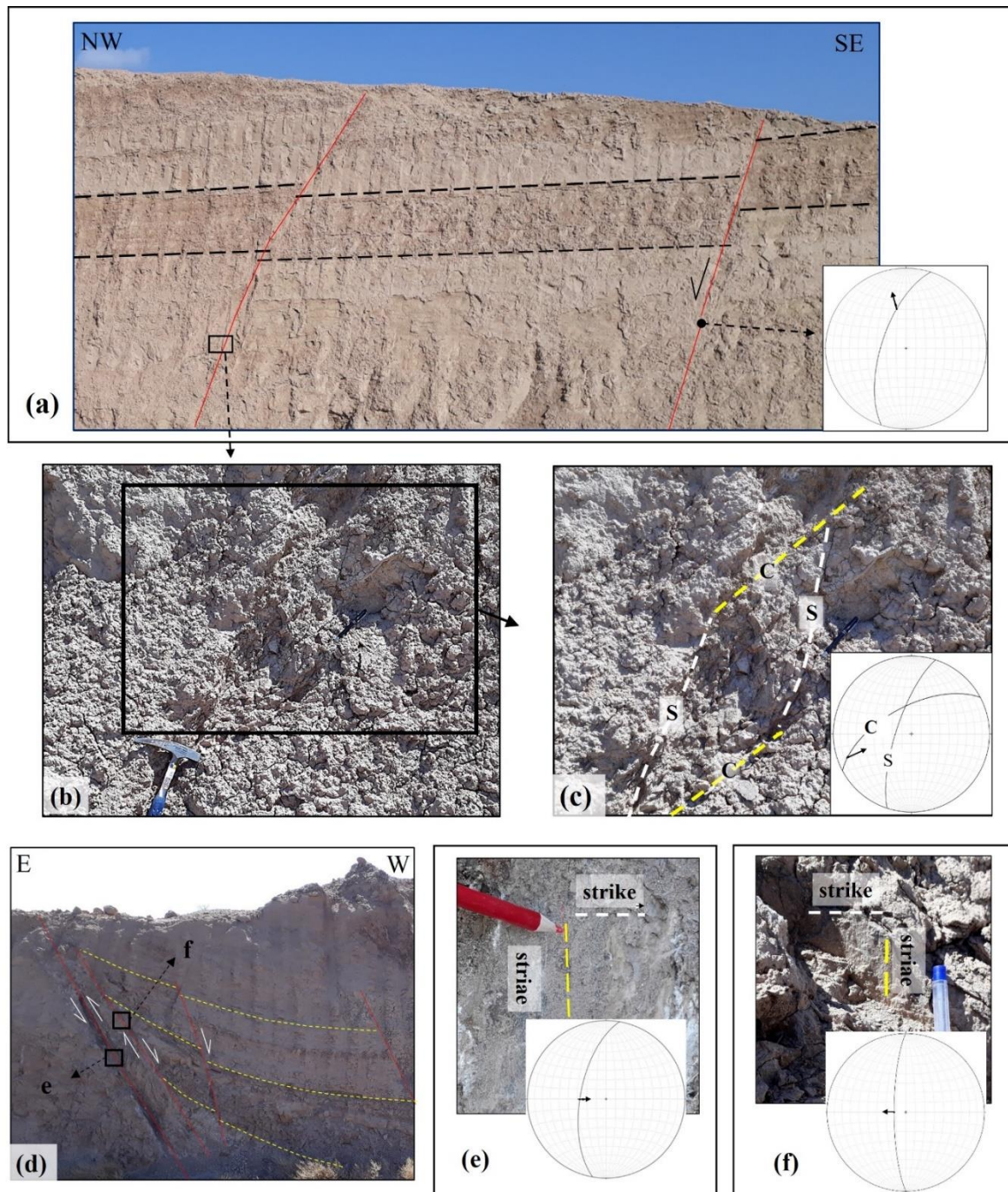
شکل ۴- تصاویر از گسل‌های راست‌لغز راست‌بر در سنگ‌های میوسن پسین-پلیوسن (برای موقعیت به St1 در شکل ۳ مراجعه کنید). (a) رخنمون گسل و (b) صفحه گسل و خش‌لغز مرتبط. تصویر استریوگرافیک از گسل و خش‌لغز مربوطه به در گوشه تصویر نشان داده شده است.
 Fig. 4. Field pictures of dextral strike-slip faults in the Late Miocene-Pliocene rocks (see St1 in Fig. 3 for location), (a) Fault outcrop, and (b) Fault plane and related striae. Stereographic projection of the fault and relevant striae is shown as insets to the picture.

شمال غربی) دارد. ساختارهای S-C جابجایی معکوس با مولفه راست‌بر را نشان می‌دهند. یک گسل نرمال نیز با راستای NNE در این ایستگاه وجود دارد که دارای شیب ۶۵ درجه به سمت شمال غربی است و مولفه امتدادلغز چپ بر دارد. نمونه دیگری از گسل‌های موازی با شیب لغزش مخالف در ایستگاه St4 (شکل d5) است، که در آن گسل معکوس دارای راستای NNE (با ریک ۵۹ درجه غربی) تقریباً موازی گسل نرمال هم راستا (با ریک ۶۳ درجه غربی) است.

۲-۴- گسل‌های موازی با جنبش متفاوت در واحدهای

سنگی میوسن پسین-پلیوسن

گسل‌های موازی با مولفه غالب معکوس و نرمال که سنگ‌های میوسن پسین-پلیوسن را بریده‌اند در ایستگاه‌های St3 و St4 مشاهده شده‌اند (شکل‌های ۳ و ۵). در ایستگاه St3، جدایش معکوس و نرمال آشکار است (شکل a5). گسل معکوس دارای راستای NNE است که شیب تند (تقریباً ۵۵ درجه به سمت



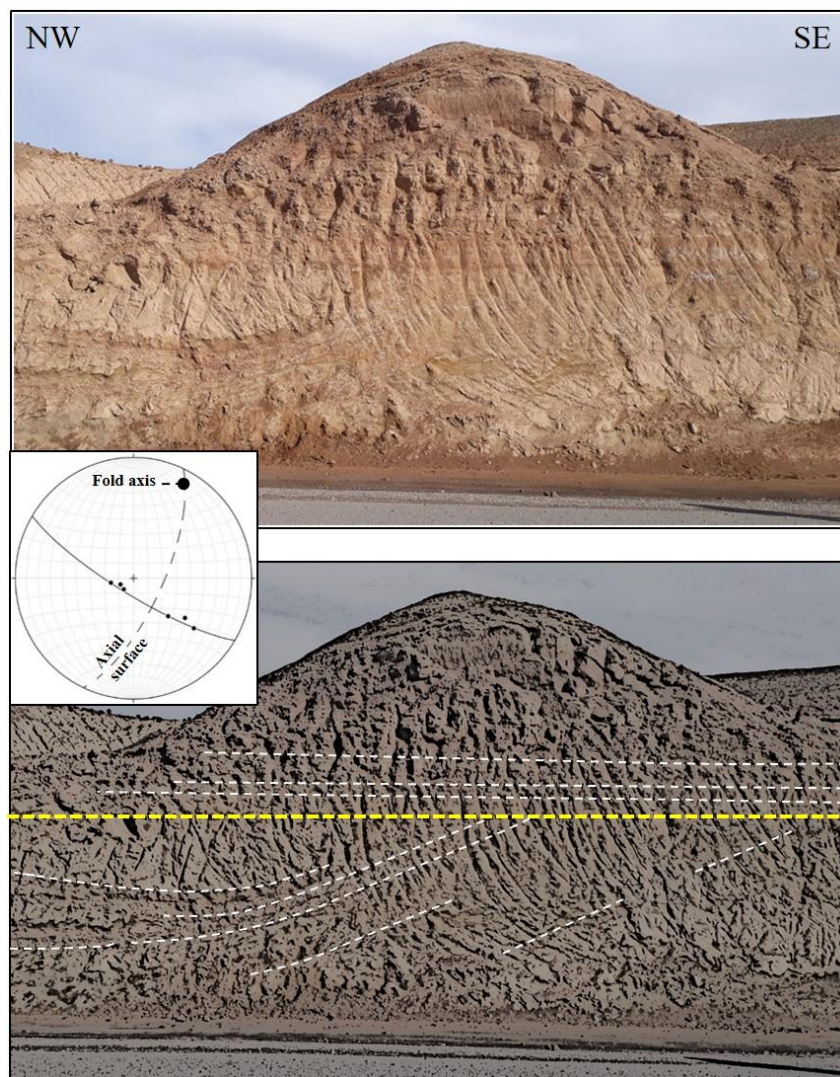
شکل ۵- گسل‌های موازی با مولفه معکوس و نرمال. (a) گسل‌های تقریباً موازی با جابجایی معکوس و نرمال در ایستگاه St3 (به ترتیب در سمت چپ و راست تصویر)، (b) پهنه گسلی گسل نرمال نشان داده شده در شکل "a"، (c) نمای نزدیک‌تر از پهنه گسلی نشان داده شده در "b" و (d) گسل‌های معکوس و نرمال و چین‌های رشدی در پهلوی غربی ناودیس در ایستگاه St4 و (e) و (f) نمای نزدیک‌تر از صفحات ساختارهای S-C، (d) گسل‌های معکوس و نرمال و چین‌های رشدی در پهلوی غربی ناودیس در ایستگاه St4 و (e) و (f) نمای نزدیک‌تر از صفحات گسل نشان داده شده در "d". تصاویر استریوگرافیک مربوط به گسل‌ها و خش‌لغزهای مربوطه هستند. مکان ایستگاه‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است.

Fig. 5. Parallel faults with reverse and normal components; (a) nearly parallel faults with reverse and normal components (left and right of the picture respectively) at station St3, (b) fault zone of the left side fault, (c) closer view of the fault zone in (b) and S-C structures, (d) reverse and normal faults and growth strata at the western limb of the fold at station St4, and (e)-(f) closer view of the fault planes of (d). Insets are stereographic projections of faults and relevant striations. The locations of the stations are shown in Figure 3.

۳-۴- شواهد زمین ساخت همزمان با رسوبگذاری در واحدهای سنگی نئوژن

در واحدهای سنگی رسوبی میوسن پسین- پلیوسن (ایستگاه St2)، یک ناپیوستگی زاویه دار در بین توالی رسوبی مشاهده می شود. لایه های مارن و ماسه سنگ بالایی افقی و موازی با سطح ناهماهنگی هستند، در حالی که در زیر سطح ناپیوستگی،

یک ناودیس با سطح محوری دارای شیب به سمت ESE قرار گرفته است. سطح محوری چین موازی با گسل های معکوس موجود در واحدهای میوسن پسین- پلیوسن موازی است (شکل ۶). شواهدی از چین‌های رشدی در پهلوی غربی یکی از ناودیس های دیگر در St4 مشاهده شده است (شکل d5). ناپیوستگی زاویه دار و چین‌های رشدی، شاخص های رسوبگذاری همزمان با چین خوردگی در طول میوسن پسین- پلیوسن هستند.



شکل ۶- موقعیت سطح ناپیوستگی زاویه دار (خط چین زرد) در رسوبات میوسن پسین- پلیوسن. لایه بندی در بالای ناپیوستگی و ناودیس زیرین با خط چین سفید نشان داده شده اند. برای موقعیت شکل به St2 در شکل ۳ مراجعه شود. تصویر استریوگرافیک، قطب های لایه بندی و سطح محوری و محور چین خوردگی در ناودیس را نشان می دهد.

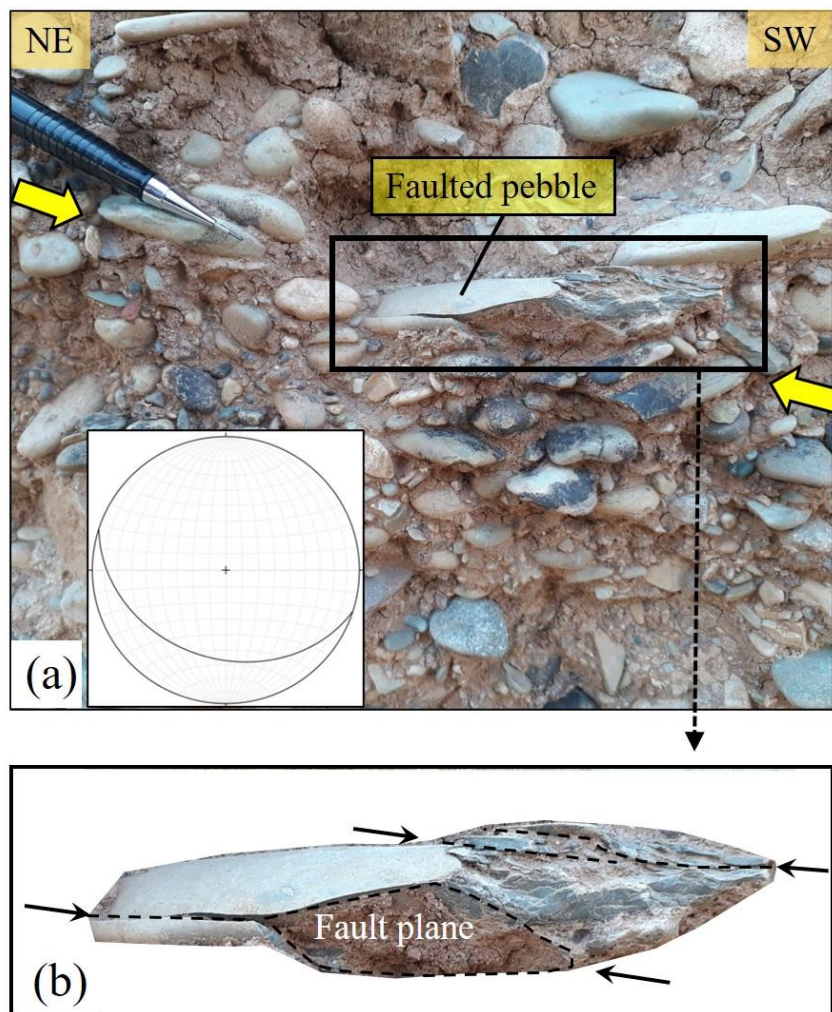
Fig. 6. The position of the angular unconformity surface (yellow dashed line) within the Late Miocene-Pliocene rock unit. Horizontal layers on the top of the unconformity and SE limb of the underlying syncline are indicated by white dashed lines. For the location refer to St2 in Fig 3. The inset is a stereographic projection that show the axial surface and fold axis of the syncline.

۴-۴- ساختار زمین‌شناسی در واحدهای رسوبی پلیوسن-کواترنری و کواترنری

بررسی گسل‌های کواترنری و پلیوسن-کواترنری به ترتیب در گودال برداشت مصالح شن و ماسه در کنار جاده اصلی فرودگاه امام خمینی (محدوده ۲ در شکل ۲) و شیروانی‌های جاده تهران - ساوه در محدوده پرند (محدوده ۳ در شکل ۳) انجام شده است. در فرودگاه امام خمینی، گسل‌ها رسوبات آبرفتی کواترنری را قطع کردند. گسل‌ها دارای دو امتداد غالب NW و WNW هستند (استریونوت ۲ در شکل ۲). گسل‌ها از تراکم شکستگی‌ها

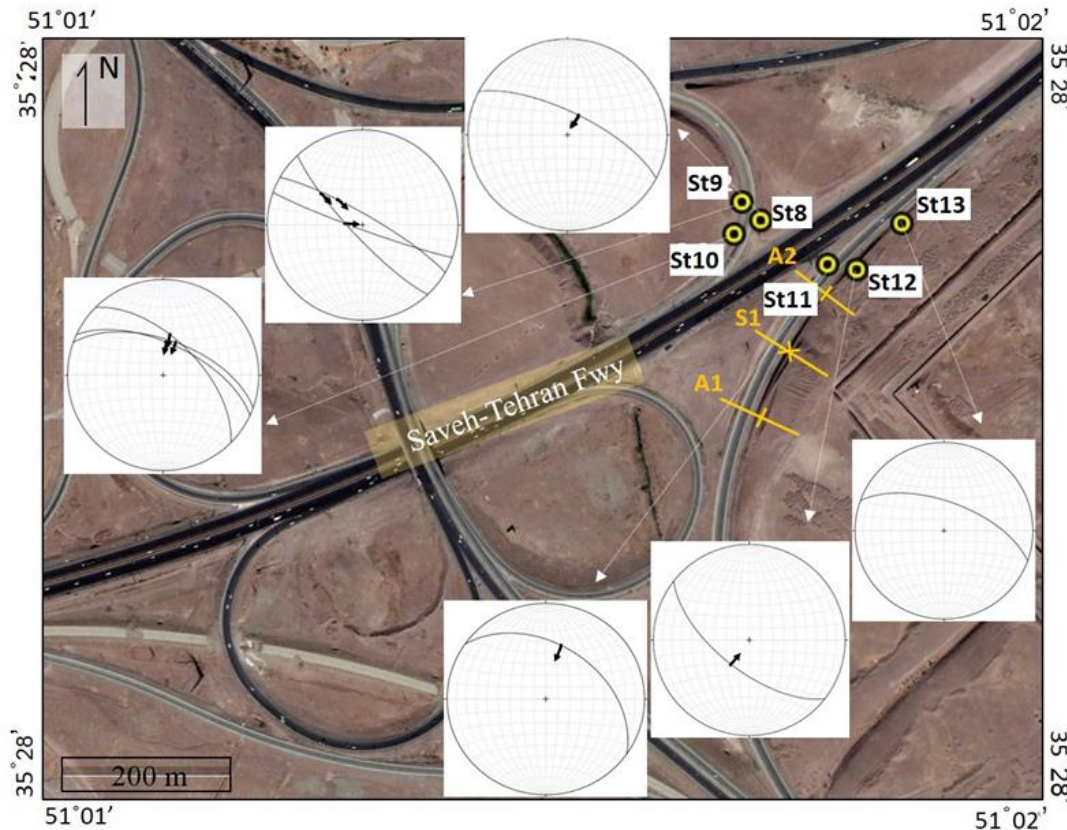
در سنگریزه‌ها و جابجایی سنگریزه‌ها تشخیص داده شده‌اند (شکل ۷).

در واحدهای پلیوسن-کواترنری ناحیه غرب پرند، گسل‌ها دارای راستای غالب NW هستند و همگی شیب تند داشته و لغزش معکوس دارند (شکل ۸ و ۹). همچنین چین خوردگی‌های ملایم با راستای NW (تاقدیس‌های A1 و A2 و ناودیس S1 در شکل‌های ۸ و ۱۰) در رسوبات پلیوسن-کواترنری وجود دارد. راستای اثر محوری چین خوردگی‌ها مشابه راستای گسل‌های معکوس هستند.



شکل ۷- نمونه‌ای از گسلش در نهشته‌های آبرفتی کواترنری در جاده فرودگاه بین‌المللی امام خمینی. (a) اثر گسل (فلش‌های زرد) و موقعیت یک قلوه سنگ گسل خورده و (b) جزئیات آثار گسل و صفحه گسل در قلوه سنگ گسل خورده.

Fig. 7. Example of faulting in Quaternary alluvial deposits next to the Imam Khomeini airport. (a) Fault trace (yellow arrows) and position of a faulted pebble. Inset is the stereographic projections of the fault plane, and (b) Details of the fault traces and fault plane in the faulted pebble.



شکل ۸- محل برداشت سطوح گسله (St8 تا St13، جدول ۱) در واحدهای پلیوسن-کواترنر روی تصویر ماهواره‌ای از Google Earth. اثر محوری چین‌ها به صورت تاقدیس (A1، A2) و ناودیس (S1) در تصاویر استریوگرافیک نشان داده شده‌اند.

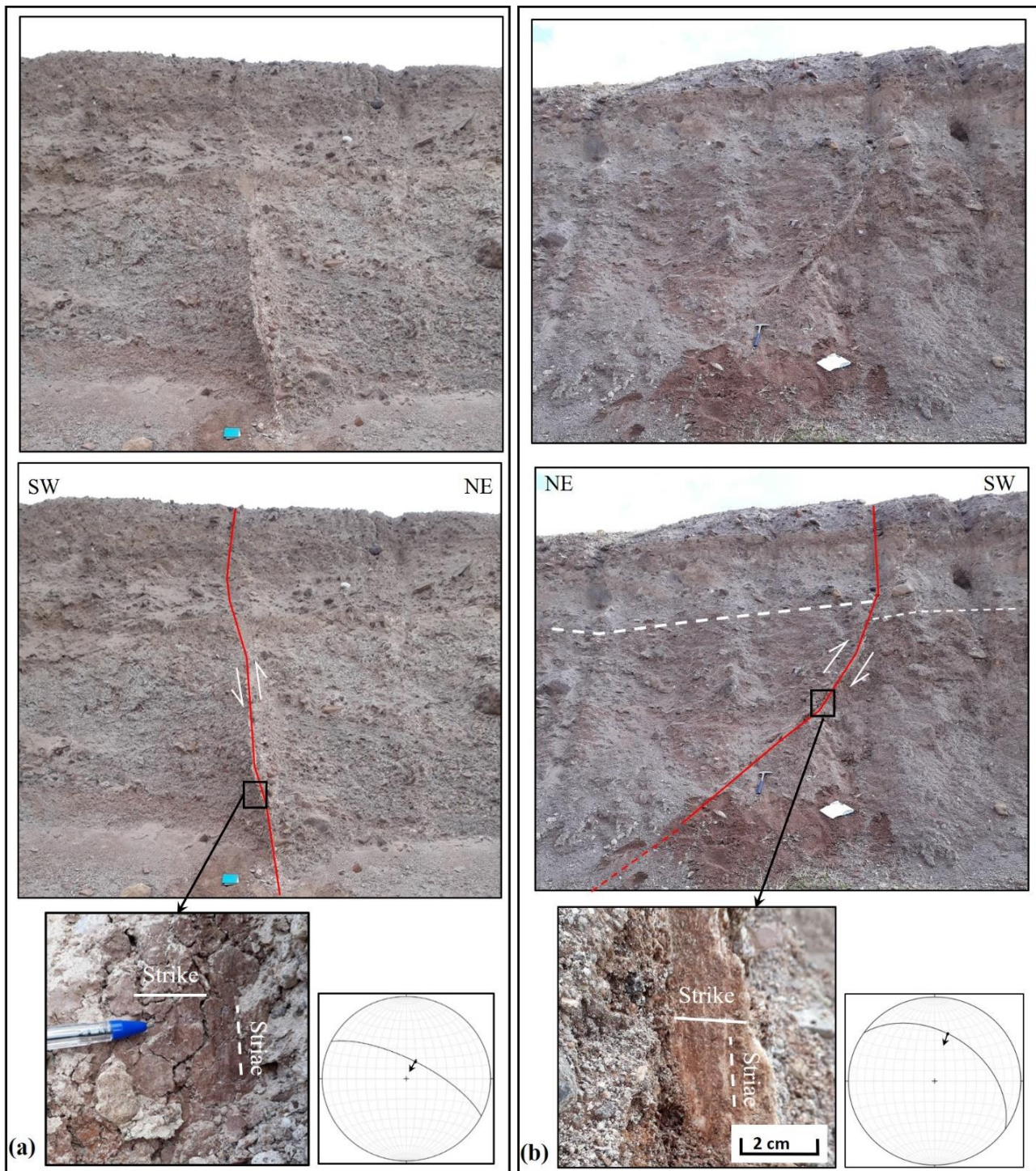
Fig. 8. Location of the outcrops (St8 to St13, Table 1) in the Pliocene-Quaternary units on a satellite image from Google earth. Insets show stereographic projections show fault planes and relevant striae. Axial traces of folds are presented as anticlines (A1, A2) and syncline (S1).

۵- بحث

همراهی ساختارهای فشاری، کششی و امتدادلغز را می‌توان در ارتباط با تغییر شکل امتدادلغز در امتداد پهنه گسله رباط کریم تفسیر کرد. گسل‌های موازی با جنبش معکوس و نرمال در سازند قرمز بالایی به سن میوسن پسین-پلیوسن نیز از تغییر جنبش پهنه گسله رباط کریم حکایت می‌کنند.

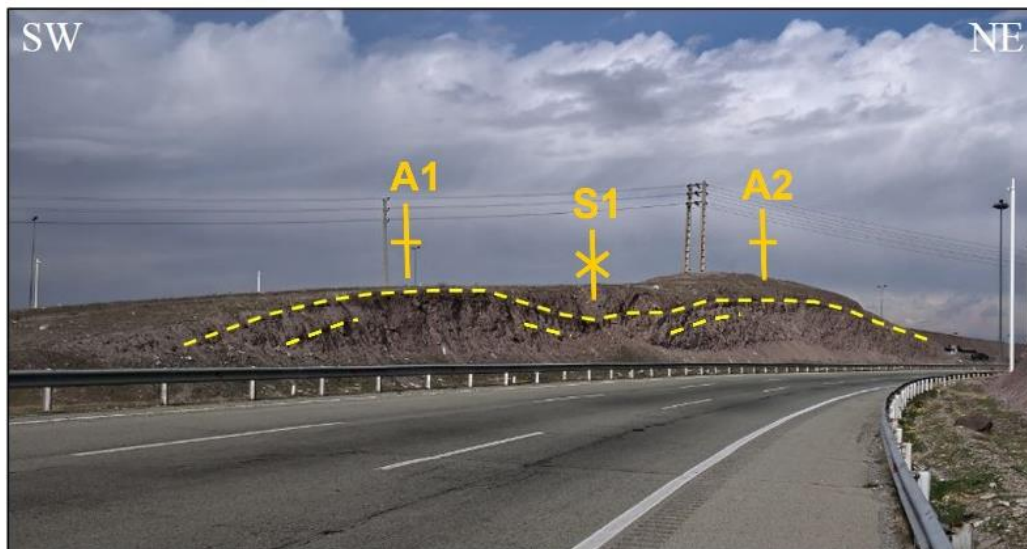
با در نظر گرفتن جهت NW برای پهنه گسله رباط کریم، کوتاه شدگی با راستای E تا ESE که باعث ایجاد گسل‌های معکوس و چین‌خوردگی‌های با راستای N تا NNE شده است با جابجایی چپ‌بر در امتداد پهنه گسله سازگار است (شکل ۱۱ a). چین‌های رشدی و ناپیوستگی زاویه‌دار مرتبط با چین‌ها (شکل ۶) در میانه سازند قرمز بالایی، زمان تغییر شکل موثر بر این دگرشکلی را به میوسن پسین-پلیوسن محدود می‌کند. گسل‌های دیگر در منطقه از جمله گسل‌های راست‌بر دارای

راستای NNW، گسل‌های نرمال دارای راستای N تا NNE و گسل‌های معکوس دارای راستای ESE با حرکت راست‌بر در امتداد پهنه گسله رباط کریم سازگار هستند. گسل‌های راست‌بر دارای راستای NNW (به عنوان مثال، شکل ۴) با گسل‌های "R" در سیستم گسل ریدل مرتبط با حرکت راست‌بر در امتداد پهنه گسله رباط کریم سازگار هستند. حرکت راست‌بر پهنه گسله رباط کریم به ترتیب باعث کشش با راستای NNE و فشردگی با راستای SSE شده است که مناسب ایجاد گسل‌های نرمال دارای راستای NNE (به عنوان مثال، شکل f5) از یک سو و از سوی دیگر گسل‌های معکوس و چین‌خوردگی‌های دارای راستای WNW (شکل ۸) است (شکل b11). وجود این گسل‌ها در رسوبات پلیوسن-کواترنر نشان می‌دهد که حرکت راست‌بر پهنه گسله رباط کریم در پلیوسن تا کواترنر رخ داده است و این حرکت به طور بالقوه هنوز فعال است.



شکل ۹- رخنمون گسل ها در واحد پلیوسن-کواترنر. (a) و (b) صفحه گسل در St8 و St9 هستند (برای موقعیت مکانی به شکل ۸ مراجعه شود). تصاویر استریوگرافیک مربوط به صفحات گسل و خش لغزهای مربوطه هستند.

Fig. 9. Outcrops of faults in the Pliocene-Quaternary unit; (a) and (b) are fault plane in st8 and st9 (see Fig.8 for location). Insets are stereographic projections of the fault planes and relevant striations.



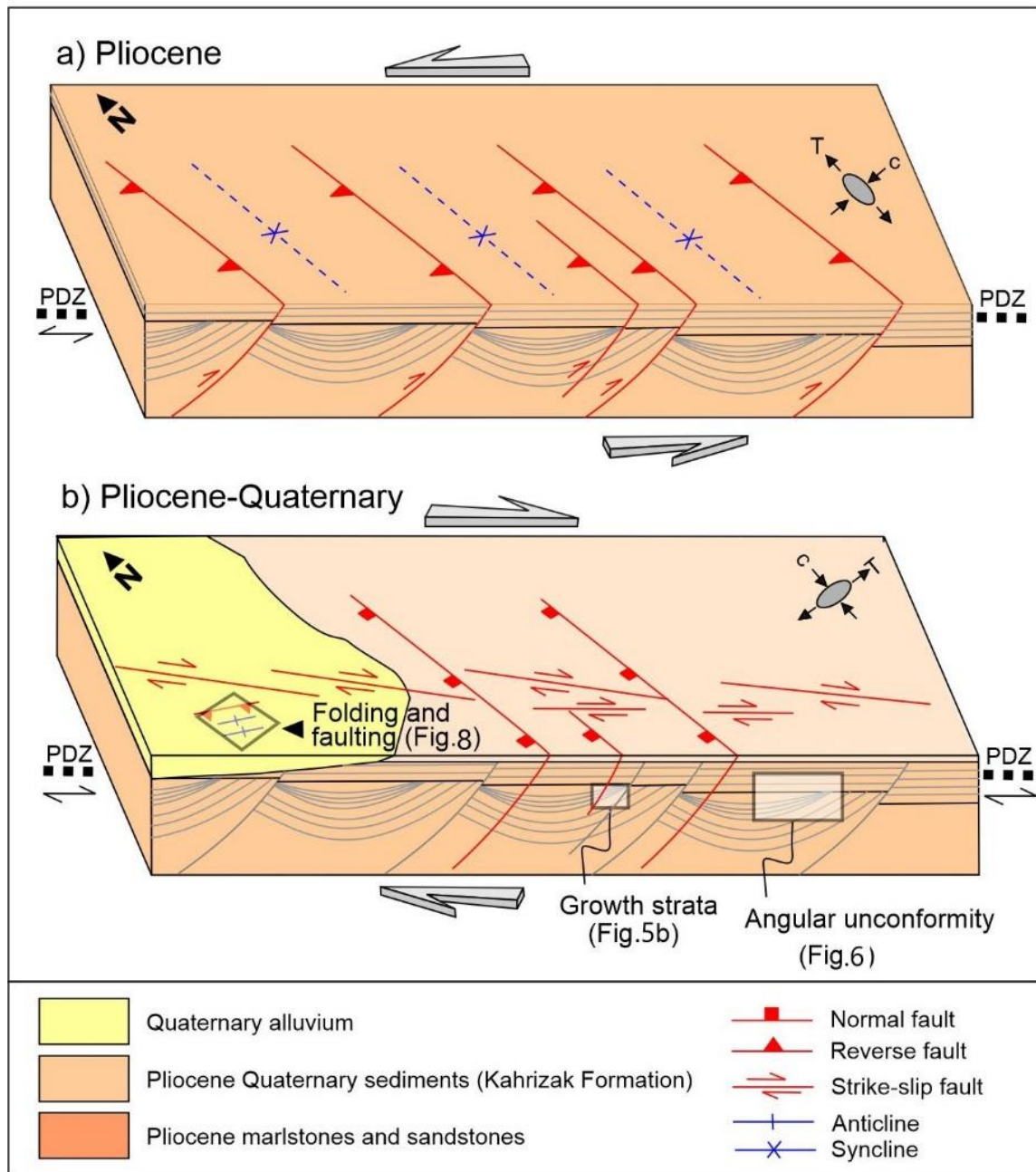
شکل ۱۰- چین خوردگی ها (تاق‌دیس‌های A1 و A2 و ناودیس S1) در رسوبات پلیوسن-کواترنر.
Fig. 10. Folds (A1 and A2 anticlines and S1 Syncline) in the Pliocene-Quaternary sediments.

در ایران مرکزی به دلیل حرکت نسبی صفحه عربی به سمت شمال، گسل‌های دارای راستای شمال غرب به صورت راست‌بر حرکت کرده‌اند. با این حال، میزان جابجایی‌های امتدادلغز در امتداد گسل‌های منفرد متفاوت است، به طوری که گسل‌های دارای راستای جنوب شرقی جابجایی بیشتری دارند. به عنوان مثال، گسل دهشیر (با جابجایی 15 ± 65 کیلومتر) در مقایسه با گسل کوشک‌نصرت (با ۹ کیلومتر جابجایی) مقدار جابجایی بیشتری دارد (Walker & Jackson, 2004; Meyer et al., 2009; Morley et al., 2006). این جابجایی‌های گسلی از فرورفتگی پس از برخورد ورقه عربی به ایران مرکزی که از زمان برخورد عربستان و ایران مرکزی فعال بوده است، نشأت گرفته‌اند. قبل از بسته شدن پوسته اقیانوسی بین بلوک افغانستان و هند در زمانی در پلیوسن (حدود ۲-۵ میلیون سال قبل) (Treloar & Izatt, 1993) به عنوان یک "لبه آزاد" برای فرار به سمت جنوب شرق ایران مرکزی در قالب یک گوه عمل می‌کرده است. این گوه توسط گسل‌های راست‌بر دارای راستای NNW (به عنوان مثال، گسل دهشیر) و گسل‌های چپ‌بر با راستای ENE (به عنوان مثال، گسل درونه) کنترل می‌شده است (Allen et al., 2011) (شکل ۱۲a). پس از آن با بسته شدن پوسته اقیانوسی بین بلوک افغانستان و هند، فرورفتگی ورقه عربی منجر به فرار به سمت غرب ورقه آناطولی در انتهای سیستمی از گسل‌های امتداد لغز راست بر شده است (McClusky et al., 2000).

منطقه مورد مطالعه بخشی از پهنه شمال ایران مرکزی است. پهنه ایران مرکزی از شمال با البرز و حوضه جنوبی خزر و از جنوب با فرورفتگی صفحه عربستان مجاور است. در شمال (البرز و حوضه جنوبی خزر)، دو رخداد زمین‌ساختی موثر از زمان میوسن پسین (Mattei et al., 2017, 2019) عبارتند از: خمش کوهزاد البرز (۴ تا ۶ میلیون سال قبل) به دلیل برخورد قاره ای بین عربستان و ایران مرکزی (Mattei et al., 2019) (شکل ۱۲a) و حرکت به سمت غرب بلوک جنوبی خزر که توسط گسل‌های راست‌الغز راست بر در حاشیه شمالی (یعنی گسل عشق آباد) و حرکت امتداد لغز چپ بر در پهنه البرز همراهی می‌شود (شکل ۱۲b) (Allen et al., 2002; Ritz et al., 2006; Hollingsworth, 2008). دلیل حرکت امتدادلغز چپ‌بر در امتداد گسل رباط کریم، که طبق یافته‌های این تحقیق همزمان با رسوب واحدهای میوسن پسین-پلیوسن رخ داده است پرسش برانگیز است. این حرکت ممکن است تحت تأثیر لغزش چپ‌بر حاشیه جنوبی البرز غربی در اثر خمش کوهستان ایجاد شده باشد (شکل ۱۲a). شایان ذکر است که لغزشی که در این مطالعه برای البرز غربی در نظر گرفته شده است (شکل ۱۲a) با آنچه که از چرخش بلوک توسط Mattei و همکاران (۲۰۱۷) به دست آمده است متفاوت است. این نوع لغزش چپ‌بر در البرز غربی برای خمش کمربند به عنوان یک جسم صلب در مجاورت بلوک‌های در بر گیرنده منطقی‌تر است.

شکل (Allen et al., 2011, Babaahmadi et al., 2012) (b۱۲). این دگرشکلی کلی راستالغز راست بر ممکن است دلیل حرکت راست بر جوان گسل رباط کریم باشد.

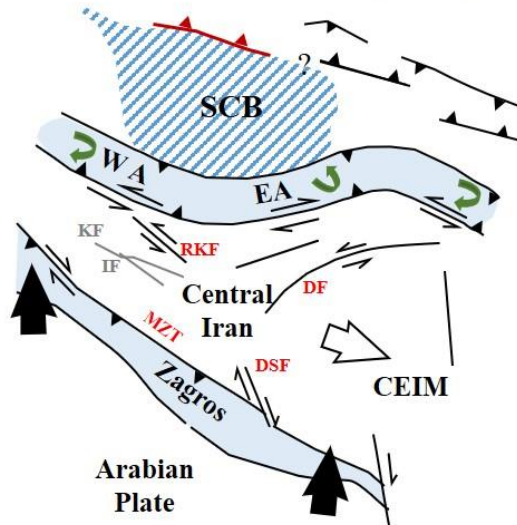
در ایران شامل گسل دهشیر، گسل اصلی جوان زاگرس و سیستم گسل‌های قم - زفره تا شمال تبریز (شامل گسل‌های دهشیر، قم، ایندس و سلطانیه) است (Meyer et al., 2006;)



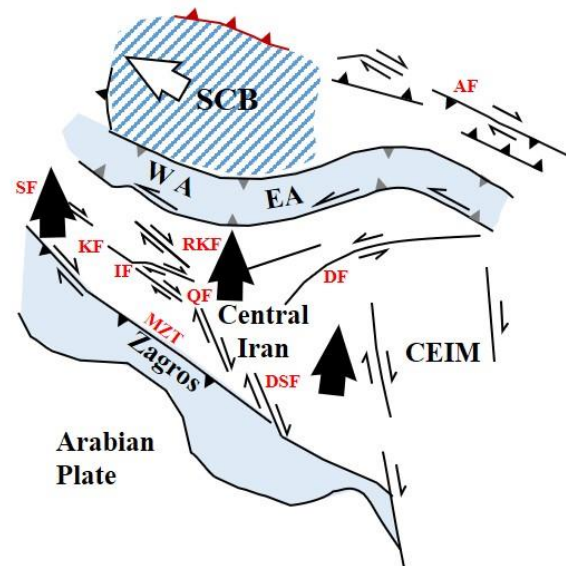
شکل ۱۱- مدل ساده شده تغییر جنبش در گسل رباط کریم به عنوان یک گسل زیرسطحی. (a) حرکت امتدادلغز چپ‌بر در میوسن پسین-پلیوسن که گسل‌ها و چین‌خوردگی‌های معکوس NNE را ایجاد کرده است و (b) حرکت امتدادلغز راست‌بر در پلیوسن-کواترنری که سبب ایجاد گسل‌های معکوس و امتدادلغز راست‌بر شده است.

Fig. 11. Simplified model of kinetic change on the RKF; (a) sinistral strike-slip movement in the Late Miocene-Pliocene that formed NNE reverse faults and folds, and (b) dextral strike-slip movement in Pliocene-Quaternary that formed NNE normal faults, ESE reverse faults and NNW dextral faults. PDZ: principal displacement zone of the subsurface Robot Karim fault. C and T represent the direction of compression and extension applied in strike-slip displacement.

a) Effect of Alborz orocline flexure (6-4 Ma)



b) Effect of Arabian Plate indentation (Present)



شکل ۱۲- طرح شماتیک تأثیر احتمالی دو رخداد زمین ساختی (خمش کوهزاد البرز و فرورفتگی صفحه عربی) بر گسل رباط کریم و سایر گسل های امتدادلغز ایران مرکزی. (a) خمش کوهزاد در رشته کوه های البرز (۶ تا ۴ میلیون سال قبل) که در حاشیه جنوبی البرز غربی شامل گسل رباط کریم تغییر شکل امتدادلغز چپ بر و البرز شرقی (EA) تغییر شکل راست بر ایجاد کرده است. (b) جابجایی های کوتاه تر متأخر و فعال در امتداد گسل های ایران مرکزی عمدتاً ناشی از تأثیر فرورفتگی صفحه عربی، شامل جابجایی امتدادلغز راست بر غالب بر روی گسل رباط کریم و سایر گسل های با روند شمال غربی است. AF: گسل عشق آباد، DF: گسل درونه، DSF: گسل دهشیر، EA: البرز شرقی، IF: گسل ایندس، KF: گسل کوشک نصرت، MZT: راندگی اصلی زاگرس، QF: گسل قم-زفره، RKF: گسل رباط کریم، SF: گسل سلطانیه، WA: البرز غربی.

Fig. 12. Schematic cartoon of the possible effect of two tectonic events (Alborz orocline flexure and Arabian Plate indentation) on the RKF and other strike-slip faults of Central Iran. (a) Oroclinal flexure in the Alborz Mountains (6-4 Ma), which caused sinistral and dextral strike-slip deformation on the southern margin of the Western Alborz (WA), including along the RKF, and Eastern Alborz (EA), respectively, and (b) The late Quaternary and active displacements along the Central Iran faults were caused mainly by the effect of Arabian Plate indentation including dominant dextral strike-slip displacement on the RKF and other NW-trending faults. AF: Ashkezar fault, DF: Darouneh fault, DSF: Dehshir fault, EA: Eastern Alborz, IF: Indes fault, KF: Kushk-e-Nosrat fault, MZT: Main Zagros Thrust, QF: Qom-Zafreh fault, RKF: Robat Karim fault, SF: Soltanieh fault, WA: Western Alborz.

۶- نتیجه گیری

چین خوردگی و گسلس معکوس، استنباط می شود که رسوب گذاری این توالی های رسوبی همزمان با زمین ساخت انجام شده است. این موضوع نشان می دهد که تغییر شکل امتدادلغز چپ بر گسل رباط کریم که عامل چین خوردگی است، قدیمی تر است و در زمان رسوبگذاری رخ داده است.

چین خوردگی ها و گسل های نرمال، معکوس و امتدادلغز را در توالی پلیوسن-کواترنر، با جابجایی راستالغز راست بر در امتداد گسل رباط کریم سازگاری دارند. لذا می توان نتیجه گرفت که حرکت امتدادلغز راست بر در پهنه گسله رباط کریم رویداد جوان تری است که در کواترنر عمل نموده است.

دلیل حرکت امتدادلغز چپ بر در امتداد پهنه گسلی رباط کریم پرسشی برانگیز است و می تواند ناشی از خمش کوهستانی

همراهی ساختارهای تراکمی و کششی و امتدادلغز نشان دهنده جنبش امتدادلغز در راستای گسل رباط کریم هستند که برخی با جابجایی راست بر و برخی با جابجایی چپ بر گسل سازگاری دارند. گسل های موازی دارای هر دو مؤلفه معکوس و نرمال بازتابی از تغییر در جنبش گسل و تغییر شکل های حاصله محسوب می شود به نحوی که گسل های معکوس و نرمال محلی با راستای NNE به ترتیب با جابجایی غالب امتدادلغز چپ بر و راست بر در امتداد پهنه گسله اصلی و مدفون سازگار هستند. با استفاده از وجود چینه های رشدی و ناپیوستگی زاویه دار در توالی های میوسن-پلیوسن (۴ تا ۶ میلیون سال قبل) واجد

کوه‌های البرز باشد. حرکت راست‌بر در امتداد گسل رباط‌کریم نتیجه آخرین مرحله فرورفتگی عربستان در پلیوسن (۲ تا ۵ میلیون سال قبل) به همراه دیگر گسل‌های راست‌بر دارای راستای NW در ایران مرکزی است.

مراجع

- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Mouthereau, F., 2005. Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation, *International Journal of Earth Science* 94, 401–419. <https://doi.org/10.1007/s00531-005-0481-4>.
- Ahmad, S.A., Sahari, S., Qadir, A., Abd Manan, N., 2020. A critical review of field relationships and gravitational origin of active normal faults in the Kashmir basin, NW Himalaya. *Journal of Asian Earth Sciences* 4(1), P-P? <https://doi.org/10.1016/j.jaesx.2020.100042>.
- Alavi, 1991. Tectonic map of the Middle East. Sajedian Cartographic Company. Tehran, Iran.
- Allen, M.B., Jones, S., Ismail-Zadeh, A., Simmons, M., Anderson, L., 2002. Onset of subduction as the cause of rapid Pliocene-Quaternary subsidence in the South Caspian basin. *Geology* 30, 775–778. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2002\)030<0775:OOSATC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2002)030<0775:OOSATC>2.0.CO;2).
- 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, TC2008. <https://doi.org/10.1029/2003TC001530>
- Allen, M.B. Armstrong, H.A., 2008. Arabia-Eurasia collision and the forcing of mid Cenozoic global cooling, *Palaeogeography Palaeoclimatology, Palaeoecology* 265, 52–58. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2008.04.021>.
- Allen, M., Kheirkhah M., Emami, H., Jones, S.J., 2011. Dextral shear across Iran and kinematic change in the Arabia–Eurasia collision zone. *Geophysical Journal International* 184, 555–574. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04874.x>.
- Angelier, 1994. Fault Slip Analysis and Palaeostress Reconstruction. In: Hancock, P.L., (Ed.), *Continental Deformation*, Pergamon Press, Oxford, 53-100. PP.
- Angiolini, L., Gaetani, M., Muttoni, G., Stephenson, M.H., Zanchi, A., 2007. Tethyan oceanic currents and climate gradients 300 m.y. ago. *Geology* 35, 1071–1074. <https://doi.org/10.1130/G24031A.1>.
- Babaahmadi A., Mohajjel M., Eftekhari A., Davoudian A.R., 2012. An investigation into the fault patterns in the Chadeegan region, west Iran: Evidence for dextral brittle transpressional tectonics in the Sanandaj–Sirjan. *Journal of Asian Earth Sciences* 43, 77-88. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.08.012>.
- Baharfirouzi, K., and Shafei, A.R., 2006. Geological Map of Robat Karim rectangle. Scale 1:100000.: Geological Survey of Iran, Tehran.
- Berberian, M., Ghoresli., M., Arzhangraves, B., Mohajer Ashjaei, A., 1985. Seismotectonic and earthquake-fault hazard investigations in the Tehran region. Report no.56, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran, 315 PP. (In Persian).
- Doblas, M., 1998. Slickenside kinematic indicators. *Tectonophysics* 295, 187–197. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(98\)00120-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(98)00120-6).
- Hessami, K., Jamali, F., and Tabassi, H., 2003. Major active faults of Iran. Scale 1:2.500.000. International institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran.
- Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R., Nazari, H., 2008. Extrusion tectonics and subduction in the eastern South Caspian region since 10 Ma. *Geology* 36, 763–766. <https://doi.org/10.1130/G25008A.1>.
- Javadi, H.R., Esterabi Ashtiani, M., Guest, B., Yassaghi, A., Ghassemi, M.R., Shahpasandzadeh, M., Naeimi, A., 2015. Tectonic reversal of the western Doruneh Fault System: Implications for Central Asian tectonics. *Tectonics* 34, 2034–2051. <https://doi.org/10.1002/2015TC003931>.

- Khodaparast, S., Madanipour, S., Nozaem, R., Hessami, K., 2020. Structural evidence on strike slip Kinematic inversion of the Kushk-eNosrat Fault zone, Central Iran. *Geopersia* 10, 195-209. <https://doi.org/10.22059/GEOPE.2020.291450.648508>.
- Kim, Y.S., Andrew, J.R., Sanderson, D.J., 2001. Reactivated strike-slip faults: Examples from north Cornwall, UK. *Tectonophysics* 340, 173-194. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(01\)00146-9](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(01)00146-9).
- Lacassin, R., Replumaz, A., Leloup, P.H., 1998. Hairpin river loops and slip-sense inversion on Southeast Asian strike-slip faults. *Geology* 26, 703-706. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1998\)026<0703:HRLASS>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1998)026<0703:HRLASS>2.3.CO;2).
- Maruyama, T., Lin, A., 2004. Slip sense inversion on active strike-slip faults in southwest Japan and its implications for Cenozoic tectonic evolution. *Tectonophysics* 383, 45-70. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.02.007>.
- Mattei, M., Francesca, C., Alimohammadian, H., Rashid, H., 2017. Oroclinal bending in the Alborz Mountains (Northern Iran): New constraints on the age of South Caspian subduction and extrusion tectonic. *Gondwana Research* 42, 13-26. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2016.10.003>.
- Mattei, M., Francesca, C., Nozaem, R., 2019. Clockwise paleomagnetic rotations in northeastern Iran: Major implications on recent geodynamic evolution of outer sectors of the.... *Gondwana Research* 71, 194-209. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2019.01.018>.
- McClusky, S., Reilinger, R., Ogubazghi, G., Amleson, A., Healeb, B., Vernant, P., Sholan, J., Fisseha, F., Asfaw, L., Bendick, R., and Kogan, L., 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research* 105, 5695-5719.
- Meyer, B., Mouthereau, F., Lacombe, O., Agard, P., 2006. Evidence of Quaternary activity along the Deshir fault: Implication for the Tertiary tectonics of Central Iran. *Geophysical Journal International* 164, 192 - 201. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.02784.x>.
- Morley, C., Kongwung, B., Julapour, A., Abdolghafourian, M., Hajian, M., Waples, D., Warren, J., Otterdoom, H., Srisuriyon, K., Kazemi, H., 2009. Structural development of a major late Cenozoic basin and transpressional belt in central Iran: The Central Basin in the Qom-Saveh area. *Geosphere* 5(4), 325-362. <https://doi.org/10.1130/GES00223.1>.
- Morris, P., 1977. Basement structure as suggested by aeromagnetic surveys in S.W. Iran. In *Second Geological Symposium of Iran: Proceedings of the Iranian Petroleum Institute, Tehran*.
- Nabavi., M., 1976. *Introduction to the Geology of Iran*. Geological survey of Iran, Tehran, Iran, 109 P. (in Persian).
- Nemati, M., Yassaghi, A., 2010. Structural characteristics of the transitional zone from internal to external parts of the Zagros orogen. *Iran. Journal of Asian Earth Sciences* 39, 161-72. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2010.03.012>.
- Nogol-Sadat, M.A., Ahmadzadeh Heravi, M., Almasian, M., Poshtkuhi, M., Hushmandzadeh, A., 1993. *Tectonic Map of Iran*. Scale 1:1000000, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Paknia, M., Ballato, P., Heidarzadeh, G., Cifelli, F., Hassanzadeh, J., Vezzoli, G., et al., 2021. Neogene tectono-stratigraphic evolution of the intermontane Tarom Basin: Insights into basin filling and plateau building processes along the northern margin of the Iranian Plateau (Arabia- Eurasia collision zone). *Tectonics* 40, e2020TC006254. <https://doi.org/10.1029/2020TC006254>.
- Ritz, J.-F., Nazari, H., Ghassemi, A., Salamati, R., Shafei, A., Solaymani, S., Vernant, P., 2006. Active transtension inside central Alborz: a new insight into northern Iran-southern Caspian geodynamics. *Geology* 34, 477-480. <https://doi.org/10.1130/G22319.1>.
- Sadeghi, S., Yassaghi, A., 2016. Spatial evolution of Zagros collision zone in Kurdistan, NW Iran: Constraints on Arabia-Eurasia oblique convergence. *Solid Earth* 7(2), 659-72. <https://doi.org/10.5194/se-7-659-2016>.
- Sadeghi, S., Davoodi, Z., Esmaili, F., 2022. Neogene stages of strike-slip deformation of the Qom sedimentary basin-Central Iran. *Tectonics Quarterly Journal* 6(21), 53-66. (in Persian with English abstarct). <https://doi.org/10.22077/JT.2023.5902.1145>.

- Stampfli, G.M., and Borel, G.D., 2002. A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons. *Earth and Planetary Sciences Letters* 196(1-2), 17-33. [https://doi.org/10.1016/S0012-821x\(01\)00588-x](https://doi.org/10.1016/S0012-821x(01)00588-x).
- Talebian, M., Jackson, J., 2002. Offset on the main recent fault of NW Iran and implications on the late Cenozoic tectonics of the Arabia–Eurasia collision zone. *Geophysical Journal International* 150, 422–439. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246X.2002.01711.x>.
- Treloar, P.J. and Izatt, C.N., 1993. Tectonics of the Himalayan collision between the Indian Plate and the Afghan Block: a synthesis. Geological Society of London, Special Publication 74, 69–87. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1993.074.01.06>.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abassi, M., Vigny, C., Masson, F., et al., 2004. Contemporary crustal deformation and plate kinematics in Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Iran, *Geophysical Journal International* 157, 381–398. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02222.x>.
- Vincent, S.J., Allen, M.B., Ismail-Zadeh, A.D., Flecker, R., Foland, K.A. Simmons, M.D., 2005. Insights from the Talysh of Azerbaijan into the Paleogene evolution of the South Caspian region. *Bulletin of Geological Society of America* 117, 1513–1533. <https://doi.org/10.1130/B25690.1>.
- Walker, R., Jackson, J., 2004. Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran, *Tectonics* 23, TC5010. <https://doi.org/5010.1029/2003TC001529>
- White, S.H., Bretan, P.C., Rutter, E.H., 1986. Fault–Zone Reactivation: Kinematics and Mechanisms. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 317. P. <https://doi.org/10.1098/rsta.1986.0026>.