



Research Article

Identification of possible new fault based on remote sensing in North West Iran

Behzad Zamani G.^{1,2*} , Parisa Nayebi¹, NourAzar Shokrzade³

1-Department of Geosciences, Natural Sciences College, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2-CNRS UMR7063 – ITES, University of Strasbourg, 5 rue René Descartes, F-67084 Strasbourg cedex, France

3-Department of Geology, Exploration management of the National Iran Oil company, Tehran, Iran

Received: 14 Nov 2024 Accepted: 17 Oct 2025

Extended Abstract

Introduction

The northwestern region of Iran is located on the Alpine-Himalayan orogenic belt, in an area between the South Caspian, the South Caucasus Orogeny, the Eastern Anatolia Plateau and the Northern Zagros, and is affected by the movements caused by the convergence of the Arabian and Eurasian Plates. The study area in this research is located in the Northwestern Iran and includes the provinces of East Azerbaijan, West Azerbaijan, Ardabil and Zanjan. One of the most important structures in this area is the North Tabriz fault, Aras, Ardabil-Miyaneh and Astara faults, which have controlled the geology of the region. North Tabriz fault is one of the most important structures in the northwestern region of Iran, which has controlled the geology and tectonics of the region. These faults have played an important role in the seismicity of this region and have caused major earthquakes in the history of this land. It is also very important to identify the origin of named faults and lineaments and their importance in future construction and reinforcement of structures. Therefore, detection of the pattern of distribution and spatial epicenter of earthquakes, and Lineation in GIS, help to relocated the faults and revealed the new faults.

Tectonics

There are many faults with different trends in the northwestern region of Iran, and the important and active faults known in this region, include the North Tabriz Fault, Aras Fault, Mishu Fault, Salmas Fault, Urmia Fault, Astara-Ardabil Fault, and Mianeh-Ardabil Fault (Zamani, G. and Masson, 2014; Zamani G., 2017). These faults, which have been identified by various researchers and some of them have been introduced, control the major structure and tectonics of this region and also play an important role in the seismicity of this region and have caused major earthquakes in the history of this land. Some unknown earthquakes have also occurred without any connection to a specific fault, and it is very important to identify their origin and consider their importance in civil construction and structural reinforcement in the future. For example, the North Tabriz fault, with at least 16 historical earthquakes, is considered an active seismic fault in the region. In this regard, the present study has attempted to identify such structures using remote sensing methods. The methods used in this study include using Landsat images, using DEM images, applying geometric and spatial correction to the images, image segmentation, and applying appropriate filtering.

Citation: Zamani G., B. et al, 2026. Identification of possible new fault based on remote sensing, *Res. Earth. Sci.* 16(4), (30-46) DOI: 10.48308/esrj.2024.104965

* Corresponding author E-mail address: b.zamani@tabrizu.ac.ir



Materials and Methods

Considering that many fault lineation in the North-West of Iran have not been identified and studied so far, or parts of them are hidden, therefore, in this research, an attempt has been made to first prepare a map of the known faults drawn from the different sources. Then by examining them and remote sensing studies, the unknown important and effective fault lineation in the Northwestern Iran should be identified and introduced. The data used for this research include Geological, Tectonic and seismic maps of the of Iran. After preparing information layers from the mentioned maps and referencing them to the ground, first the faults related to different maps were identified and unified, then the location of all the faults due to the non-observance of the grid and the global coordinate system in most of the maps that have been Now they have been published, from the point of view of the location of the faults, the images with a spatial resolution of 15 meters were corrected. In this connection, in this research, the identification of structures has been carried out with the use of Remote Sensing. Remote sensing can be used as a method to reveal geological Lineaments by using different digital processing methods on satellite images, important information can be revealed. The techniques used in this project are: combining color images (RGB), performance filters and using DEM images. By examining the faults in the reference layer using the images and filters used (Gussian, Laplacian and Sobel). In addition to the use of satellite images and the combination of different bands, in order to identify the main location of the faults and their spatial correction, defined filters (Laplacian, Sobel and Gussian) were used to identify the lineaments or highlight the edges. Extracting lineaments from satellite images can be done in three ways: analog (manual), digital (automatic), and semi-automatic (combination of two methods), each of which has its own advantages and disadvantages. Based on the sensitivity of the project and the knowledge of the study area, the lineaments have been separated by analog (manual) method. After correcting the faults extracted from different sources, the new lineaments were extracted from satellite images. For this purpose, first, all the corrected faults in the area were implemented on satellite images to identify the dominant trend of existing faults, areas with fewer faults, and expected diagonal fractures and areas without such fractures, in order to extract the lineaments from these areas. There is a lot of morphological and structural evidence in the identification and isolation of fault lineaments on the earth's surface, including fault detection signs such as linearities, mountain fronts, abrupt interruption of elevations, subsidence intakes, etc. The existence of above ground and subsurface, elongation of strata, seismicity, bending occurred in the process of the axis of folds or along the alignment and displacement of layers, and sudden changes in sedimentary facies in the region. Considering the aforementioned evidences and remote sensing studies and the processing done on satellite images such as the analysis of shadow-highlight images, filtering, etc. New lineaments were extracted in these areas. It was found that each of the faults extracted from different maps are located in different positions and sometimes it is observed that the faults cross the boundaries. In the other cases in some of the geological maps one could see that faults are on the virtues of the mountains. The integration of information and data related to the improvement of remote sensing images and geological maps, tectonic earthquakes significantly helped in the analysis and processing of the lineaments. In this research a lot of these errors have corrected and renew the design of the fault maps in the North-West of Iran.

Results and Discussion

In order to extract new fault lines, various evidences have been used, among them are shifting of layers, lithology change, stretching of strata, and remote sensing signs. The results obtained from this analysis, the spatial correction of the faults extracted from the maps that reduced from various sources which were located in different positions were drawn at the exact location using satellite images, hidden faults and new lineaments with the help of Landsat 8 images. Also fault detection signs were identified in the studied area and thy help about 38 lineaments have been identified in the entire study area. Mainly these faults have East-West and North-East and South-West trend that was for the first time have identified and introduced. The new lineaments identified in the study area have been extracted based on evidence and external signs of fault detection and using satellite images and existing filters, so calling a lineament as a fault, they require identifying the field signs for fault detection, including fault surfaces, fault slickensides, crash on it, etc., therefore, in this research, the name of the lineation is used for them.

Conclusion

1-Integration of data related to image enhancement by remote sensing method and geological maps and seismiotectonics has significantly helped in the analysis and processing of lineaments.
2-As a result of these studies, 38 lineaments have been revealed as new lineaments in the northwest region of Iran, and the dominant trend of most of the lineaments is northeast-southwest and east-west, while these

lineaments were not displayed on the geological maps prepared by the Geological Survey of Iran. 3- Detailed studies of new lineaments and fault signs such as layer displacement, displacement of streams, lithological changes in linear growth of plants, elongation of strata, etc. has led to the identification of 21 new faults out of 38 lineaments in the region.

4- The intersecting lineaments with the existing faults and the almost west-east trend are in line with the trends mentioned by Nogol Sadat (1978) and show a close trend with the basement faults mentioned by him.

5- New lineaments identified in the area based on external evidence and signs of fault detection and using satellite images and existing filters have been extracted, so naming a lineament as a fault requires identifying field signs to identify faults, including fault surfaces, fault mirrors, slips on it, etc. Therefore, in this study, the name of lineament has been used for them.

6- The existence of a lineament on the ground is never a definitive indication of the existence of a fault, and also the certainty of the existence of a fault on the ground does not indicate its exact location, because in some cases, despite the sign or effect of the fault on the ground, the fault itself is located at a distance from this effect. Therefore, in the continuation of this study, it is necessary to scrutinize the lineaments identified by field studies in terms of mechanism and also in terms of location and then introduce them as faults.

Keywords: Lineaments, Remote sensing, North west, Hidden fault, Fault.

شناسایی گسل‌های جدید احتمالی بر پایه سنجش از دور در شمال غرب ایران

بهزاد زمانی ق. ۱^۲ * ، پریسا ناییبی^۱، نورآذر شکرزاده^۳

۱- گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- گروه علوم زمین، CNRS-ITES، دانشگاه استراسبورگ، استراسبورگ، فرانسه

۳- سازمان زمین‌شناسی، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، تهران، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۸/۲۴ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۴/۰۷/۲۵

چکیده گسترده

مقدمه

منطقه شمال غربی ایران در کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا، در ناحیه‌ای بین خزر جنوبی، کوهزایی قفقاز جنوبی، فلات شرقی آناتولی و زاگرس شمالی قرار دارد و متاثر از حرکات ناشی از همگرایی صفحات عربی و اوراسیا است. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق در شمال غربی ایران واقع شده و شامل استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل و زنجان می‌باشد. یکی از مهم‌ترین ساختارهای این ناحیه گسل شمال تبریز، گسل‌های ارس، اردبیل- میانه و آستارا است که زمین‌شناسی منطقه را کنترل کرده‌اند. گسل شمال تبریز یکی از مهمترین ساختارهای منطقه شمال غرب ایران است که بر زمین‌شناسی و زمین ساخت منطقه تأثیر بسزای داشته است. این گسل‌ها نقش مهمی در لرزه‌خیزی این منطقه داشته‌اند و باعث زمین لرزه‌های بزرگی در تاریخ این سرزمین شده‌اند. همچنین شناسایی منشأ گسل‌ها و خطواره‌های نام برده شده و اهمیت آنها در ساخت و ساز در منطقه در آینده بسیار مهم است. بنابراین تشخیص الگوی پراکندگی و کانون مکانی زمین لرزه‌ها و ترسیم خطواره‌ها در GIS به جایابی گسل‌ها و آشکارسازی گسل‌های جدید کمک می‌کند. از نظر تکتونیک گسل‌های زیادی با روندهای مختلف در منطقه شمال غرب ایران وجود دارد و گسل‌های مهم و فعال شناخته شده در این منطقه عبارتند از: گسل شمال تبریز، گسل ارس، گسل میشو، گسل سلماس، گسل ارومیه، گسل آستارا- اردبیل و گسل میانه- اردبیل (زمانی، ق. ۱۳۹۳) این گسل‌ها که توسط محققان مختلف شناسایی و تعدادی از آنها معرفی شده‌اند، ساختار اصلی و زمین‌ساختی این منطقه را کنترل می‌کنند و همچنین نقش مهمی در لرزه‌خیزی این منطقه ایفا می‌کنند و باعث زمین لرزه‌های بزرگی در تاریخ این سرزمین شده‌اند. برخی از زمین لرزه‌های ناشناخته نیز بدون ارتباط با گسل خاصی رخ داده‌اند که شناسایی منشأ آنها و توجه به اهمیت آنها در ساختمان‌ها و سازه‌های عمرانی و مقاوم‌سازی سازه‌ها در آینده بسیار مهم است. به عنوان مثال گسل شمال تبریز با حداقل ۱۶ زمین لرزه تاریخی از گسل‌های لرزه‌خیز فعال در منطقه محسوب می‌شود. در این راستا، پژوهش حاضر با استفاده از روش‌های سنجش از دور سعی در شناسایی این گونه ساختارها داشته است. روش‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل استفاده از تصاویر Landsat، استفاده از تصاویر DEM، اعمال تصحیح هندسی و مکانی بر روی تصاویر، تقسیم‌بندی تصاویر و اعمال فیلتر مناسب می‌باشد.

استناد: زمانی ق.، ب. و همکاران، ۱۴۰۴. شناسایی گسل‌های جدید احتمالی بر پایه سنجش از دور در شمال غرب ایران، پژوهشهای دانش زمین: ۱۶(۴)، (۴۶-۳۰). DOI: 10.48308/esrj.2024.104965

E-mail: b.zamani@tabrizu.ac.ir

* نویسنده مسئول:



مواد و روش‌ها

با توجه به اینکه بسیاری از گسل‌های شمال غرب ایران تاکنون شناسایی و مطالعه نشده و یا بخش‌هایی از آن‌ها پنهان مانده است، در این تحقیق سعی شده است ابتدا نقشه‌ای از گسل‌های شناخته شده تهیه شود. سپس با بررسی آنها و مطالعات سنجش از دور، خط گسل‌های ناشناخته مهم و مؤثر در شمال غرب ایران شناسایی و معرفی شوند. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل نقشه‌های زمین‌شناسی، زمین‌ساختی و لرزه‌ای ایران می‌باشد. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی از روی نقشه‌های مذکور و زمین مرجع نمودن آن‌ها، ابتدا گسل‌های مربوط با نقشه‌های مختلف شناسایی و یکسان‌سازی شد، سپس محل قرارگیری تمامی گسل‌ها به دلیل عدم رعایت شبکه و سیستم مختصات جهانی در اکثر نقشه‌هایی که هم اکنون منتشر شده‌اند، از نظر مکان گسل‌ها، وضوح تصویر با تفکیک‌پذیری ۱۵ متر تصحیح شد. در همین راستا در این تحقیق شناسایی ساختارها با استفاده از سنجش از دور انجام شده است. سنجش از دور می‌تواند به عنوان روشی برای آشکارسازی خطوط زمین‌شناسی با استفاده از روش‌های مختلف پردازش دیجیتال بر روی تصاویر ماهواره‌ای، اطلاعات مهمی را آشکار کند. تکنیک‌های مورد استفاده در این پروژه عبارتند از: ترکیب تصاویر رنگی (RGB)، فیلترهای عملکرد و استفاده از تصاویر DEM. با بررسی عیوب در لایه مرجع با استفاده از تصاویر و فیلترهای مورد استفاده (گوسی، لاپلاسین، سوبل). علاوه بر استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و ترکیب باندهای مختلف، به منظور شناسایی محل اصلی گسل‌ها و تصحیح فضایی آنها، از فیلترهای تعریف شده (لاپلاسین، سوبل، گوسی) برای شناسایی خطوط یا برجسته‌سازی لبه‌ها استفاده شد. استخراج خطوط از تصاویر ماهواره‌ای به سه روش آنالوگ (دستی)، دیجیتال (اتوماتیک) و نیمه اتوماتیک (ترکیب دو روش) انجام می‌شود که هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارند. بر اساس حساسیت پروژه و شناخت منطقه مورد مطالعه، خطواره‌ها به روش آنالوگ (دستی) تفکیک شده‌اند. پس از اصلاح عیوب استخراج شده از منابع مختلف، خطواره‌های جدید از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شدند. برای این منظور ابتدا تمامی گسل‌های اصلاح شده در منطقه بر روی تصاویر ماهواره‌ای پیاده‌سازی شد تا روند غالب گسل‌های موجود، نواحی با گسل‌های کمتر و درزه‌ها و شکستگی‌های مورد انتظار و نواحی بدون چنین شکستگی‌هایی استخراج شوند. شواهد ریخت‌شناسی و ساختاری زیادی در شناسایی و جداسازی خطوط گسلی روی سطح زمین وجود دارد که از آن جمله می‌توان به علائم تشخیص گسل مانند خطی بودن، جبهه کوهستان، قطع ناگهانی ارتفاعات، فرونشست‌ها و ... اشاره کرد. وجود سطوح بالا آمده زمین و زیرانش، کشیدگی طبقات، لرزه خیزی، خمش در روند محور چین خوردگی‌ها یا در امتداد تراز و جابجایی لایه‌ها و تغییرات ناگهانی در رخساره‌های رسوبی می‌باشند. با توجه به شواهد فوق‌الذکر و مطالعات سنجش از دور و پردازش‌های انجام شده بر روی تصاویر ماهواره‌ای از قبیل تجزیه و تحلیل تصاویر سایه-هایلایت، فیلترینگ و ... خطواره‌های جدیدی در این مناطق استخراج شد. مشخص شد که هر یک از گسل‌های استخراج شده از نقشه‌های مختلف در موقعیت‌های مختلفی قرار دارند و گاهی در برخی نقشه‌های زمین‌شناسی موجود مشاهده می‌شود که گسل‌ها از مرزهای زمین‌شناسی عبور کرده‌اند. در موارد دیگر در برخی از نقشه‌های زمین‌شناسی می‌توان دید که گسل‌ها بر روی ستیغ کوه‌ها رسم شده‌اند. ادغام اطلاعات و داد‌های مربوط به بهبود تصاویر سنجش از دور و نقشه‌های زمین‌شناسی، زمین لرزه‌های زمین‌ساختی کمک قابل توجهی به تجزیه و تحلیل و پردازش خطواره‌ها کرده است. در این تحقیق بسیاری از این خطاها که در طراحی و رسم اولیه نقشه‌های گسل‌های شمال غرب ایران وجود داشته اصلاح و تجدید شده است.

نتایج و بحث

برای استخراج خطوط گسل جدید از شواهد مختلفی استفاده شده است که از آن جمله می‌توان به جابجایی لایه‌ها، تغییر سنگ شناسی، کشش طبقات و علائم سنجش از دور اشاره کرد. نتایج به دست‌آمده از این تحلیل، تصحیح فضایی گسل‌های استخراج شده از نقشه‌های گردآوری شده از منابع مختلف که (گسل‌های یاد شده) در موقعیت‌های مختلف قرار داشتند، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، گسل‌های پنهان و خطواره‌های جدید به کمک تصاویر لندست ۸ در محل دقیق خود که باید، ترسیم شد. همچنین علائم تشخیص خطا در منطقه مورد مطالعه شناسایی شد و به این طریق حدود ۳۸ خطواره جدید در کل منطقه مورد مطالعه شناسایی شده است. این گسل‌ها عمدتاً دارای روند شرقی- غربی و شمال شرقی و جنوب غربی هستند، برای اولین بار شناسایی و معرفی شدند. وجود خطواره روی زمین هیچ‌گاه دلیل قطعی بر وجود گسل نیست و همچنین قطعیت وجود گسل

در زمین نیز نشان دهنده محل دقیق آن نیست. خطواره‌های جدید شناسایی شده در محدوده مورد مطالعه بر اساس شواهد و نشانه‌های خارجی تشخیص و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و فیلترهای موجود استخراج شده‌اند، بنابراین برای نامگذاری خطواره به‌عنوان گسل، نیاز به شناسایی علائم میدانی برای تشخیص شواهد گسلی در آنها است. در این خصوص از جمله شامل سطوح گسل، خش لغزهای گسل، برخورد بر روی آن و غیره است، بنابراین در این تحقیق از نام خطواره برای آن‌ها استفاده شده است.

نتیجه‌گیری

ادغام داده‌های مربوط به بهبود تصویر با روش سنجش از دور و نقشه‌های زمین‌شناسی و لرزه زمین‌ساختی کمک قابل توجهی به تحلیل و پردازش خطواره‌ها کرده است. در نتیجه این مطالعات ۳۸ خطواره به‌عنوان خطواره‌های جدید در منطقه شمال غرب ایران آشکار شده است و روند غالب اکثر خطواره‌ها، شمال شرقی- جنوب غربی و شرقی- غربی است در حالی که این خطواره‌ها در نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور نمایش داده نشده‌اند. مطالعات دقیق خطواره‌ها و علائم گسلی جدید مانند جابجایی لایه‌ها، جابجایی نهرها، تغییرات سنگ‌شناسی در رشد خطی گیاهان، کشیدگی طبقات و ... منجر به شناسایی ۲۱ گسل جدید از ۳۸ خطواره در منطقه شده است. خطواره‌های متقاطع با گسل‌های موجود و روند تقریباً غربی- شرقی با روندهای ذکر شده توسط نوگل سادات (Nogolsadat, 1978) همسو بوده و روندی نزدیک با گسل‌های پی سنگی ذکر شده نشان می‌دهد. خطواره‌های جدید شناسایی شده در این منطقه بر اساس شواهد خارجی و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و فیلترهای موجود استخراج شده است، لذا نامگذاری این خطواره‌ها به‌عنوان گسل مستلزم شناسایی علائم میدانی برای تایید گسل‌ها از جمله سطوح گسل، آینه گسل، لغزش روی آن و ... می‌باشد، لذا در این تحقیق از نام خطواره برای این گسل‌ها استفاده شده است. وجود خطواره روی زمین هیچ‌گاه دلیل قطعی بر وجود گسل نیست و همچنین قطعیت وجود گسل در زمین نیز نشان دهنده محل دقیق آن نیست زیرا در برخی موارد با وجود علامت یا اثر گسل بر روی زمین، خود گسل در فاصله‌ای از این اثر قرار می‌گیرد. بنابراین در ادامه این تحقیق لازم است خطواره‌های شناسایی شده توسط مطالعات میدانی از نظر مکانیسم و همچنین از نظر مکان بررسی و سپس به‌عنوان گسل معرفی شوند.

واژگان کلیدی: خطواره، سنجش از دور، شمال غرب، گسل پنهان، گسل.

مقدمه

استفاده می‌کردند. بعدها عکس‌های هوایی به کمک زمین-شناسان آمد و محدوده عملیاتی آن‌ها را وسیع‌تر نمود. اما امروزه با استفاده از فناوری سنجش از دور، محققان و پژوهشگران به دستاوردهای مهم‌تری در شناسایی موقعیت، وضعیت و نوع گسل و در ابعاد وسیع‌تری نسبت به تصاویر هوابرد، دست یافته‌اند. تصاویر ماهواره‌ای به دلیل داشتن توان تفکیک مکانی و طیفی بالا در محدوده طیفی مرئی، مادون قرمز و حرارتی امکان تجزیه و تحلیل زیادی در اختیار محققان قرار می‌دهد تا با شناسایی تغییرات در بافت زمین و تفسیر نهایی توسط یک زمین-شناس مجرب موقعیت گسل مشخص و تصحیح گردد. با توجه به اینکه بسیاری از خطواره‌های گسلی در شمال غرب ایران تاکنون شناسایی و مطالعه نشده‌اند و یا بخش‌هایی از آن‌ها پنهان است، از این رو در این پژوهش سعی شده ابتدا نقشه‌ای از گسل‌های شناخته شده و ترسیم شده در منابع

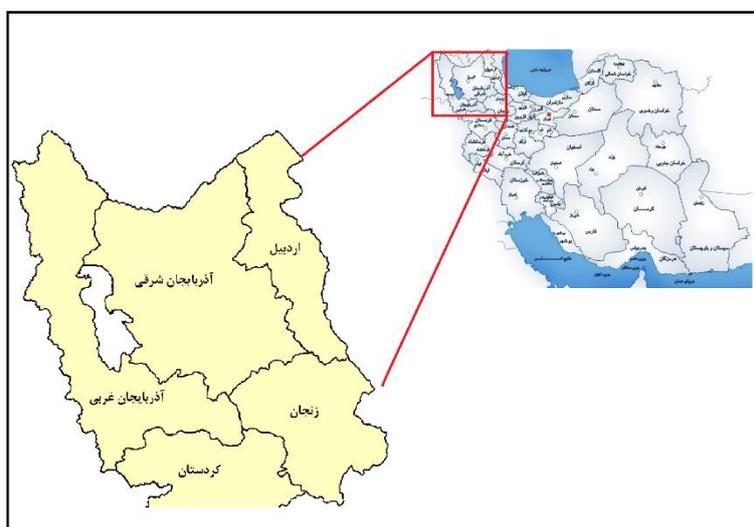
آشکارسازی الگوی توزیع و پراکنش مکانی ساختارها در زمین‌شناسی ساختاری از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. در واقع الگوی توزیع و پراکنش مکانی ساختارها تحت تاثیر مستقیم و غیر مستقیم ویژگی‌های ساختاری، چینه-شناسی و سنگ‌شناسی منطقه‌ای و یا محلی قرار دارد. از این رو با آشکارسازی پدیده‌های مورفوتکتونیک و خطواره‌های ساختاری می‌توان به تحلیل تکتونیک دقیق از منطقه پرداخت و در مورد بسیاری از حوادث طبیعی نظیر زلزله، به دست آوردهای قابل توجه دست یافت. شناسایی گسل‌ها در یک بخش از کره زمین نه تنها بیانگر وضعیت تکتونیک شکنا در آن منطقه می‌باشد، بلکه می‌تواند کمک به تحلیل زمین‌شناسی و تکتونیک سایر ساختارهای آن منطقه نماید. در گذشته، زمین‌شناسان برای تهیه نقشه-های زمین‌شناسی و شناخت گسل، از مشاهدات زمینی

تکتونیکی فشارشی موجب ایجاد گسل‌های بزرگ و مهمی در این منطقه گردیده است. این گسل‌ها که بخشی از آن‌ها شناخته شده و معرفی گردیده‌اند نقش مهمی در لرزه‌خیزی این منطقه داشته و زلزله‌های بزرگی در تاریخ این سرزمین به وجود آورده‌اند (Sadatfar and Zamani G., 2014). اما برخی از زلزله‌ها در این سرزمین به طور ناشناخته و بدون ارتباط با گسل مشخص و شناخته شده‌ای روی داده‌اند. یکی از این زلزله‌ها، زلزله دو گانه اهر- ورزقان در سال ۱۳۹۱ است که به طور ناشناس بی ارتباط با گسل شناخته شده‌ای روی داد. مشابه این رویداد در آینده می‌تواند در بخش‌های مختلف شمال غرب ایران تکرار شود و در صورت عدم شناخت منجر به صدمات جبران ناپذیری گردد.

مختلف، تهیه گردد و سپس با بررسی آن‌ها و مطالعات سنجش از دور خطواره‌ها و گسل‌های مهم و موثر ناشناخته شمال غرب ایران شناسایی و معرفی گردد.

منطقه‌ی مورد مطالعه

در این پژوهش گستره مورد مطالعه بخش شمال غرب ایران بوده و بین دو کوهزاد بزرگ قفقاز در شمال و زاگرس در جنوب قرار دارد. شکل ۱ محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. گسل‌های زیادی با روندهای مختلف در ناحیه شمال غرب ایران وجود دارد. کوتاه شدگی در این بخش از ایران علی‌رغم موقعیت تکتونیکی بین ورقه‌ای آن نسبتاً کم است (Nouri Makhori, 2013)، اما با این وجود این رژیم



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig. 1: Location of the study area

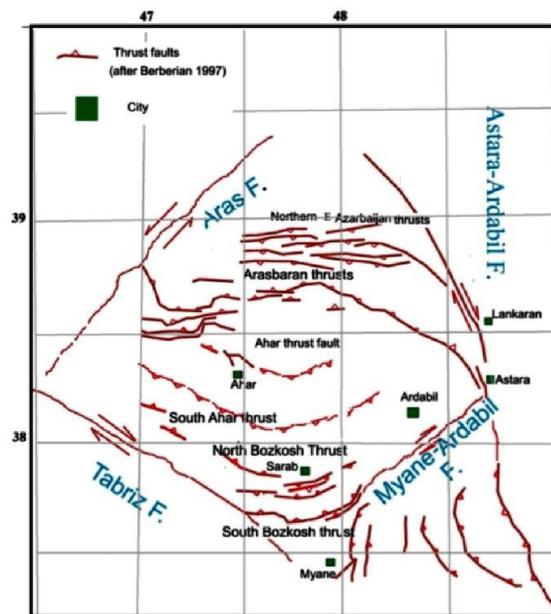
متأثر از کوهزایی آلپی و همگرایی بین ورقه‌های عربی و اوراسیا است. منطقه شمال غرب ایران در روی کمربند کوهزایی آلپ-همالیایا، (Zamani, G., 2023) در ناحیه‌ای بین پوسته خزر جنوبی، جنوب کوهزاد قفقاز، شرق آناتولی و شمال کوهزاد زاگرس قرار گرفته و متأثر از حرکات ناشی از ÷ همگرایی صفحات عربی و اوراسیا است. گسل‌های زیادی با روندهای متفاوت در منطقه شمال غرب ایران وجود دارد، که از گسل‌های مهم و فعال شناخته شده در این منطقه که در شکل ۲ نشان داده شده است، می‌توان به گسل شمال تبریز، گسل ارس، گسل میشو، سلماس، گسل ارومیه، گسل آستارا - اردبیل و گسل میانه - اردبیل اشاره کرد (Zamani, G. and Masson, 2014; Zamani G.,)

زمین ساخت منطقه

گسل‌ها شکستگی‌هایی در پوسته زمین با تغییر شکل قابل توجه هستند و حضور گسل در یک منطقه نشانگر وجود جابجایی‌هایی است که به صورت آرام یا ناگهانی در طول آن رخ داده است. گسل‌ها نشانگر نواحی فعال زمین ساختی نیز هستند؛ بنابراین مطالعه آن‌ها در مواردی مانند بررسی لرزه‌خیزی (در ارتباط با طرح‌های شهرسازی و عمرانی)، بررسی پتانسیل‌های معدنی (کانی‌زایی‌های مرتبط با شکستگی‌ها و نواحی گسل) و هیدروکربوری، شناخت دقیق روندهای زمین ساختی و ... اهمیت دارند. لرزه‌خیزی ایران ارتباط مستقیمی با وضعیت زمین‌شناسی و زمین‌ساختی آن دارد. دگرشکلی‌های فعال و مورفولوژی کنونی ایران

تاریخی به عنوان گسلی لرزه‌ای و فعال در منطقه محسوب می‌شود (Zare, 2001). در این ارتباط در پژوهش حاضر با بهره‌گیری از روش‌های دور سنجی به شناسایی چنین ساختارهایی اقدام شده است. از روش‌های استفاده شده در این تحقیق، استفاده از تصاویر لندست، استفاده از تصاویر DEM اعمال تصحیح هندسی و مکانی بر روی تصاویر، یکپارچه سازی تصاویر و همچنین اعمال فیلترینگ مناسب می‌باشد.

این گسل‌ها که توسط محققین مختلف شناسایی و تعدادی از آن‌ها معرفی گردیده‌اند کنترل کننده ساختار و تکتونیک عمده این منطقه هستند و نیز نقش مهمی در لرزه‌خیزی این منطقه داشته و زلزله‌های بزرگی در تاریخ این سرزمین به وجود آورده‌اند. برخی از زلزله‌ها ناشناخته و بدون ارتباط با گسل مشخص نیز روی داده‌اند که شناسایی منشا آن‌ها و لحاظ اهمیت آن‌ها در ساخت و سازهای عمرانی و مقاوم سازی سازه‌ها در آینده بسیار مهم است به عنوان مثال گسل شمال تبریز با وقوع حداقل ۱۶ زلزله



شکل ۲: گسل‌های عمده فلات آذربایجان برگرفته از (Zamani and Masson, 2013)

Fig. 2: Major faults of the Azerbaijan Plateau taken from (Zamani and Masson, 2013).

مطالعات هونگ و همکاران (Hung et al, 2005). در مورد آشکارسازی خطواره‌ها در ویتنام نشان دادند که تصاویر ماهواره‌ای استر نسبت به تصاویر لندست در باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک به طور قابل ملاحظه‌ای با کاهش نویز همراه بوده و بالاترین دقت را نسبت به خطواره‌های آشکارسازی شده از دیگر تصاویر ماهواره‌ای دارا می‌باشد. سمیره و ولدای (Semere and Woldai, 2006) با مطالعات میدانی و سنجش از دور در قسمت‌های مرکزی ارتفاعات اریتره شش مجموعه روند خطواره‌ای در تصاویر ماهواره‌ای، آشکارسازی نمودند که اغلب خطواره‌ها دارای شکستگی‌های گسترده‌ای می‌باشند که با موقعیت مکانی دایک‌ها و گسل‌های نرمال ارتباط دارند و اکثر خطواره‌ها به طور متعاقب براساس برش شکستگی‌ها، دوباره فعال می‌گردند.

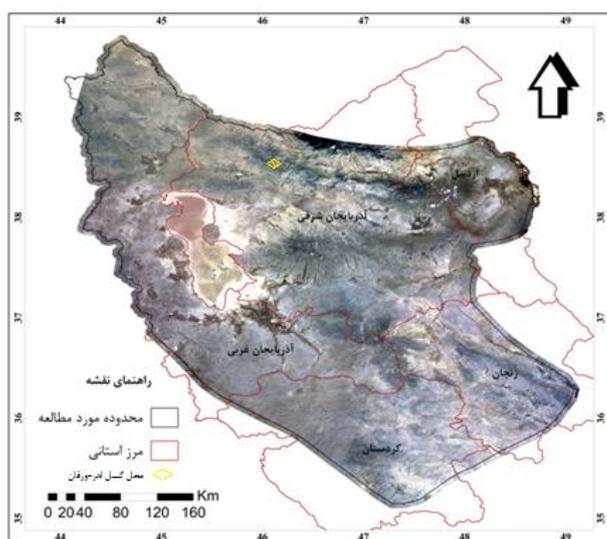
امیرپور و سهراب پور (Amirpour and Sohrabi, 2015) با استفاده از نتایج دو روش مشتق افقی و سیگنال تحلیلی روی داده‌های مغناطیس هوابرد کاهیده به قطب محدوده ایران، ساختارهای زیرسطحی در منطقه را تشخیص داده‌اند (Abbasi and Yasaghi, 2011). با به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای لندست و داده‌های زمین مغناطیس جهت شناسایی خطواره‌های گسلی و تحلیل خاستگاه آن‌ها در ناحیه لرستان (زاگرس چین خورده) نشان دادند که بیشترین انطباق‌ها به خطواره‌های گسلی که دارای روند شمالی-شمال غربی هستند، مربوط می‌شود. به علاوه انطباق‌ها، به ساز و کار در روند برخی از زمین لرزه‌ها رخ داده در زیر پهنه لرستان با این خطواره‌های گسلی شناسایی شده نیز نشانه پی سنگی بودن آن‌هاست. نتایج حاصل از

به عدم رعایت شبکه و سیستم مختصات جهانی در اکثر نقشه‌هایی که تا کنون به چاپ رسیده اند، از نظر مکانی موقعیت گسل‌ها بررسی تصاویر با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر تصحیح گردید. برای این منظور از آخرین شیوه‌های سنجش از دور بهره برده شده است. امروزه علوم کاربردی نظیر سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، امکانات ویژه‌ای جهت شناسایی، تفسیر و آشکارسازی خطواره‌های زمین ساختی و تکتونیکی فراهم نموده است. در این پژوهش از نرم افزار Arc GIS، برای ایجاد پایگاه داده و تهیه خروجی‌ها استفاده گردید. همچنین تصویر گوگل ارث و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ استفاده شده است. داده‌های ماهواره لندست ۸ جهت مطالعات سنجش از دوری در نرم افزار ENVI مورد پردازش قرار گرفت. بعد از ورود داده‌های ماهواره‌ای لندست، تصحیحات مرسوم روی تصاویر ماهواره‌ای انجام گرفت. با انجام تصحیحات مکانی گسل‌ها، بعد از آماده شدن تصاویر نهایی براساس اهداف و نیازهای پژوهش فیلترگذاری‌ها (از قبیل Sobel, Laplacian) و ترکیبات بانندی مختلف شامل ۷۵۳، ۷۵۲ روی تصاویر اعمال گردیده است. در نهایت شناسایی گسل‌های جدید و ناشناس انجام گرفته که در ادامه به تشریح آنها می‌پردازیم.

رایان (Rayan, 2013)، در پژوهشی به بررسی نتایج حاصل از آشکارسازی خودکار و تحلیل‌های زمین آماری خطواره‌های شمال عراق پرداختند و به این نتیجه رسیدند که خطواره‌های منطقه مطالعاتی دارای دو روند اصلی شمال غربی- جنوب شرقی و شمالی- جنوبی و یک روند فرعی شرقی- غربی هستند.

مواد و روش‌ها

داده‌هایی که جهت این تحقیق به کار گرفته شده‌اند شامل نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه، نقشه زمین ساخت ایران (Oweysi et al, 2019)، نقشه زمین‌شناسی شمال غرب ایران (N.I.O.C., 1978)، نقشه لرزه زمین‌ساخت (Berberian, 1976)، می‌باشد، نقشه لرزه گسل‌های فعال ایران (Hesami, et al, 2003)، نقشه لرزه خیزی گسل‌ها و خطوط مغناطیسی ایران تهیه شده توسط (N.I.O.C., 1997). پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی از نقشه‌های یاد شده و زمین مرجع نمودن آنها، ابتدا گسل‌های مشترک مربوط به نقشه‌های مختلف شناسایی و یکسان سازی شده، سپس موقعیت مکانی تمامی گسل‌ها با توجه



شکل ۳: نقشه تصویر ماهواره ای لندست ۸ قدرت تفکیک ۱۵ متری، از منطقه مورد مطالعه

Fig. 3: Landsat 8 satellite image map with 15-meter resolution of the study area

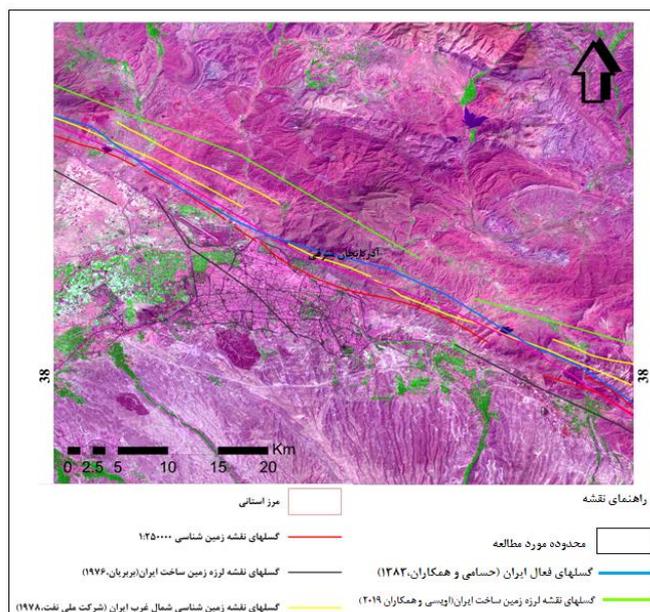
ماهواره‌ای لندست، تصویرگوگل ارث و تصاویر رقومی ارتفاعی (DEM) مورد بررسی قرار گرفتند. جهت تصحیح هندسی و موقعیت مکانی گسل‌ها بر روی تصاویر ماهواره‌ای، از تصاویر باند ۸ (Panchromatic) لندست، انواع ترکیبات

بحث و نتایج

بعد از تهیه لایه مرجع گسل‌ها، جهت بررسی و انجام تصحیحات هندسی و مکانی، لایه‌ها به محیط GIS منتقل شده و با استفاده از داده‌های تهیه شده از قبیل تصاویر

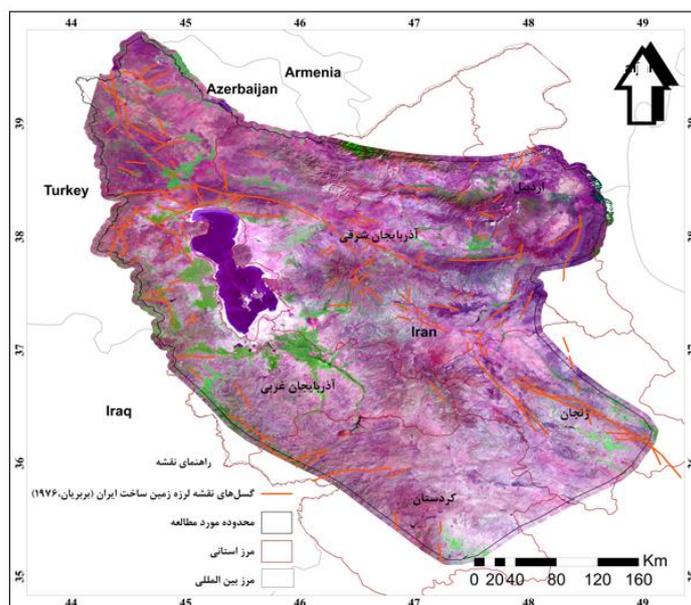
برخی مواقع مشاهده می‌گردد که گسل‌ها از روی ستیغ‌ها عبور کرده‌اند (شکل ۴). به عنوان مثال گسل‌های استخراج شده از روی نقشه لرزه‌زمین ساخت ایران (Berberian, 1976) اکثراً در محل‌هایی قرار گرفته‌اند که هیچ شاهدهی در نزدیکی این گسل وجود ندارد تا نشان‌دهنده گسل باشد (شکل ۵).

باندی مختلف تصویر لندست شامل ترکیبات ۷۵۲ و ۷۵۳، فیلترهای مختلف از قبیل فیلترهای Laplacian، Gaussian، Sobel، تصویر گوگل ارث، تصاویر رقومی ارتفاعی (DEM) استفاده گردید. با بررسی گسل‌های موجود در لایه مرجع با استفاده از تصاویر و فیلترهای ذکر شده، مشخص شد که هر یک از گسل‌های استخراج شده از نقشه‌های مختلف در موقعیت‌های مختلف و متفاوت قرار داشته و در



شکل ۴: موقعیت گسل شمال تبریز براساس منابع مختلف در منطقه مورد مطالعه

Fig. 4: Location of the North Tabriz Fault based on various sources in the study area

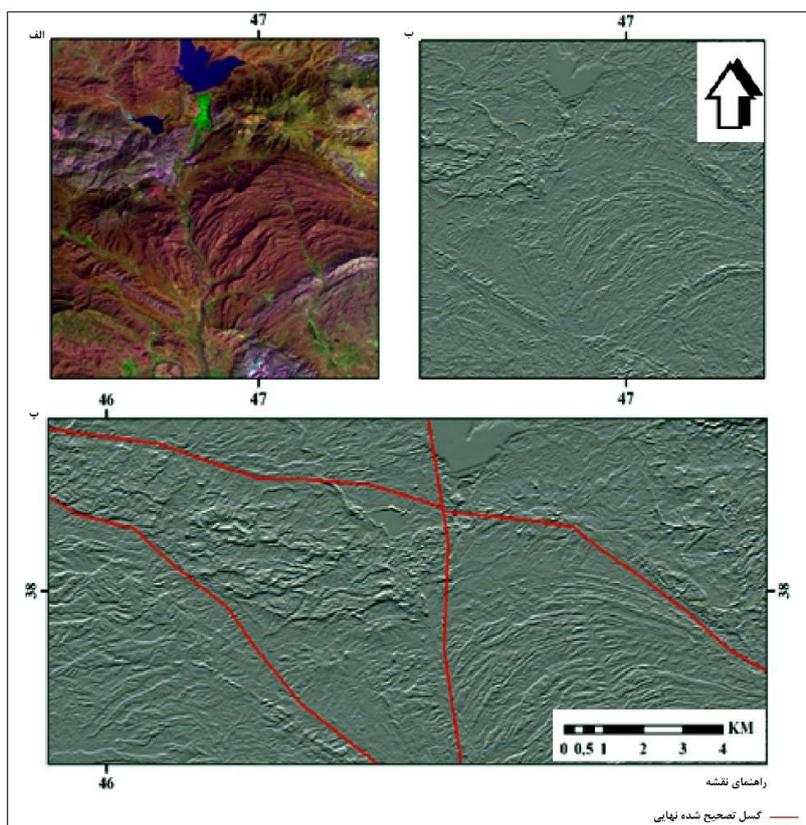


شکل ۵: گسل‌های نقشه لرزه‌زمین ساخت (Berberian, 1976) بر روی تصویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک ۱۵ متر

Fig. 5: Seismic faults map (Berberian, 1976) on a satellite image with a resolution of 15 meters.

گسلی در محدوده مطالعاتی بهره برده شده است. در شکل ۶ الف بخشی از محدوده مطالعاتی (شمال شرق تبریز محدود سد نهند) روی تصویر ماهواره‌ای در ترکیب باندهای ۷۵۲ با تصویر فیلتر Sobel از همان محدوده در شکل ۶ ب و گسل‌های مشخص شده با این تصاویر در شکل ۶ پ مقایسه گردیده و نشان داده شده است.

استفاده از فیلترها در شناسایی گسل: در کنار استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و ترکیب باندهای مختلف، جهت شناسایی موقعیت اصلی گسل‌ها و تصحیح مکانی آن‌ها از فیلترهای تعریف شده (Gaussian, Sobel, Laplacian) جهت شناسایی خطواره‌ها یا بارزسازی لبه‌ها استفاده شد که در شکل ۵، یک نمونه از آن‌ها نشان داده شده است. در این تصویر از فیلتر Sobel برای بارزسازی خطواره‌های



شکل ۶: الف: محدوده مورد نظر روی تصویر ماهواره‌ای، شمال شرق تبریز محدود سد نهند؛ ب: تصویر فیلتر Sobel از محدوده، پ: گسل‌های تصحیح شده با استفاده از این فیلترها.

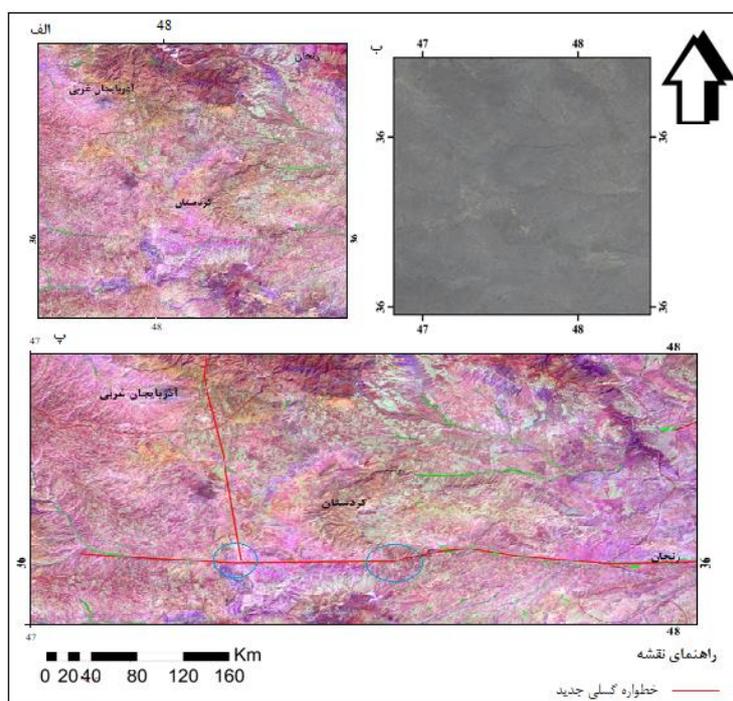
Fig. 6. A: The area of interest on the satellite image, northeast of Tabriz, Nahand Dam area. B: Sobel filter image of the area. C: Faults corrected using these filters.

اتوماتیک (تلفیق دو روش) انجام شود که هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارند. برحسب حساسیت پروژه و شناخت از محدوده مطالعاتی با روش آنالوگ (دستی) خطواره‌ها جداسازی شده‌اند. بعد از تصحیح گسل‌های استخراج شده از منابع مختلف، استخراج خطواره‌های جدید از روی تصاویر ماهواره‌ای انجام گرفت. برای این کار ابتدا تمامی گسل‌های تصحیح شده در منطقه بر روی تصاویر ماهواره‌ای پیاده شدند تا روند غالب گسل‌های موجود، مناطقی که دارای گسل کم‌تر هستند و شکستگی‌های

شناسایی خطواره‌های گسلی جدید: شناسایی خطواره‌های گسلی فرایندی حساس است که نیاز به تخصص و مهارت دارد و این دست نیافتنی است جز با استفاده از روش‌های سنجش از دور مانند پردازش تصاویر ماهواره‌ای، فیلترینگ و شناسایی الگوها. استخراج خطواره از روی تصاویر ماهواره، حائز اهمیت فراوان است زیرا نسبت به عکس‌های هوایی دارای ابعاد وسیع‌تر و تنوع طیفی بیشتری است. استخراج خطواره از روی تصاویر ماهواره می‌تواند به سه روش آنالوگ (دستی)، دیجیتال (اتوماتیک) و نیمه

استخراج خطواره‌های گسلی جدید با استفاده از شواهد جابجایی لایه‌ها؛ به‌طور کلی جابجایی رشته ارتفاعات یا رودخانه‌ها و دیگر اشکال ژئومورفولوژی از نشانه‌های وجود گسل می‌باشد. شکستگی و جابجایی لایه‌های موجود در سطح زمین از نشانه‌های خارجی شناسایی گسل می‌باشد. در شکل ۷ خطواره گسلی جدید ترسیم شده با امتداد ENE-WSW لایه‌های دو طرف را شکسته و جابه‌جا کرده است و یک کشیدگی و خمیدگی در لایه‌های دو طرف ایجاد کرده که در شکل دایره آبی رنگ نشان دهنده این کشیدگی می‌باشد. روی تصویر فیلتر لاپلاسیین استفاده شده این جابه‌جایی به وضوح قابل تشخیص می‌باشد. بنابراین عاملی که باعث ایجاد این اتفاق شده به عنوان یک خطواره گسلی جدید در نظر گرفته شده است.

مورب مورد انتظار و مناطق فاقد چنین شکستگی‌هایی شناسایی شوند، تا استخراج خطواره‌ها از این مناطق صورت گیرد. شواهد ریخت‌شناختی و ساختاری زیادی در شناسایی و جداسازی خطواره‌های گسلی در سطح زمین کمک می‌کند، که از جمله نشانه‌های تشخیص گسل می‌توان به خطواره‌ها (انتظام‌های خطی)، پرتگاه‌ها، قطع شدگی ناگهانی ارتفاعات، آبیگرهای فرونشستی، وجود فرازمین و فروزمین، کشیدگی طبقات، لرزه‌خیزی، خمش‌های رخ داده در روند محور چین‌ها و یا در امتداد هم قرار گرفتن و جابجایی لایه‌ها، تغییر ناگهانی رخساره‌های رسوبی در منطقه نام برد. با در نظر گرفتن شواهد ذکر شده و مطالعات سنجش از دور و پردازش‌های صورت گرفته روی تصاویر ماهواره‌ای هم‌چون تجزیه تصاویر سایه - برجسته، فیلترگذاری و ... اقدام به استخراج خطواره‌های جدید در این مناطق گردید که موارد در ادامه تشریح شده است.

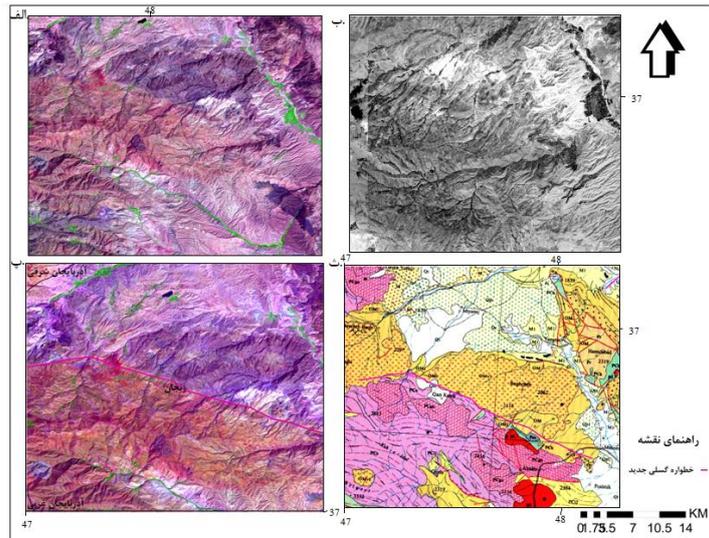


شکل ۷: الف: تصویر ماهواره‌ای از منطقه تکاب، ب: تصویر فیلتر لاپلاسیین از منطقه، پ: خطواره گسلی جدید رسم شده با توجه به شواهد شکستگی و جابجایی لایه‌ها.

Fig. 7: A: Satellite image of the Takab area, B: Laplacian filter image of the area, C: New fault line drawn according to evidence of fracture and displacement of layers

متفاوت در کنار هم دلیلی بر عملکرد گسل است. در شکل ۸ با توجه به اختلاف تن رنگی موجود در ناحیه که نشان دهنده اختلاف لیتولوژی می‌باشد اقدام به رسم یک خطواره جدید در بین این لایه‌ها شده است.

استخراج خطواره گسلی جدید از شواهد تغییر لیتولوژی: در بعضی موارد قرار گرفتن غیر عادی لایه‌ها در کنار هم و یا وجود سنگ‌هایی که از لحاظ رخساره رسوبی در شرایط یکسانی تشکیل نمی‌شوند و قرارگیری دو لایه با سن

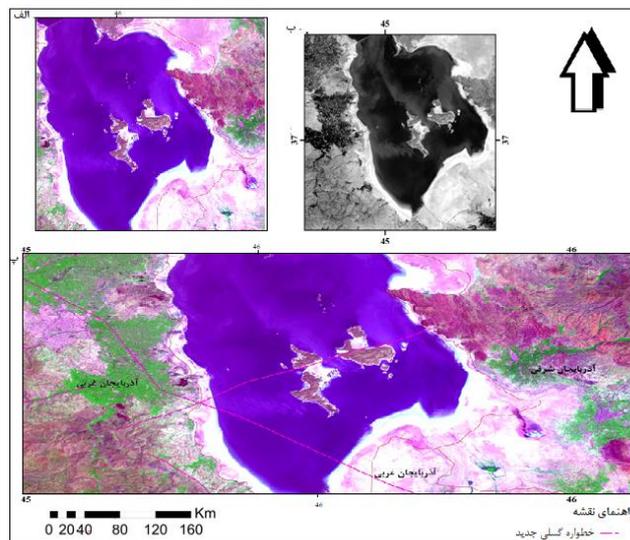


شکل ۸: الف: تصویر ماهواره‌ای از منطقه مورد مطالعه (تکاب). ب: تصویر گوگل ارث. پ: خطواره گسلی جدید ترسیم شده با توجه به تغییر جنس لایه بر روی ماهواره‌ای. ت: خطواره جدید روی نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب

Fig. 8: A: Satellite image of the study area (Takab). B: Google Earth image. C: New fault line drawn according to the change in layer type on the satellite. D: New line on the 1:250,000 geological map of Takab.

دریاچه ارومیه می‌باشد که علاوه بر شکستگی یک کشیدگی مشخص در این لایه‌ها مشاهده می‌شود. با توجه به این شواهد در این منطقه یک خطواره گسلی جدید ترسیم شد که احتمالاً نشان دهنده عملکرد یک گسل شرقی - غربی با مکانیسم حرکتی امتدادلغز چپ‌گرد (Esmaili, 2014) باشد.

استخراج خطواره گسلی جدید با استفاده از کشیدگی طبقات: به هنگام تشکیل گسل به علت اصطکاک و چسبندگی سنگ‌ها، طبقات طرفین سطح گسل در جهات مخالف هم کشیده و شکسته می‌شوند. با استفاده از این کشیدگی‌ها می‌توان مکانیسم حرکتی گسل را تشخیص داد. شکل ۹ نشان دهنده توده‌های شکسته شده در داخل

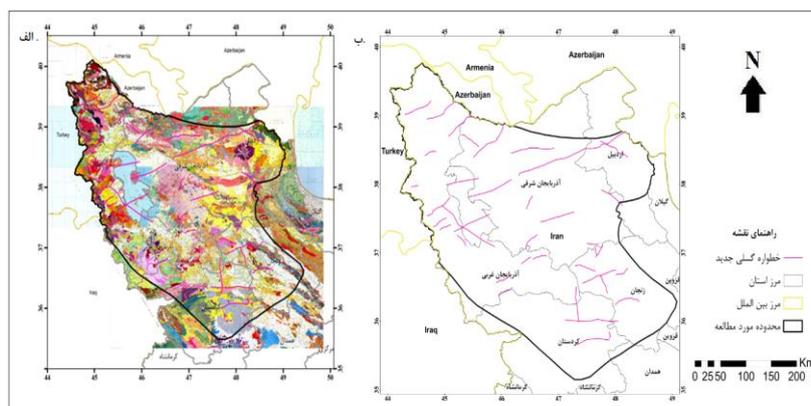


شکل ۹: الف: تصویر ماهواره‌ای از محدوده دریاچه ارومیه. ب: تصویر باند ۸ (پانکروماتیک). پ: خطواره گسلی جدید با توجه به شکستگی و جابجایی توده داخل دریاچه ارومیه

Fig. 9: A: Satellite image of Lake Urmia. B: Band 8 (panchromatic) image. C: New fault line due to fracture and displacement of the mass inside Lake Urmia.

و روند تقریباً غربی - شرقی همسو با روندهای اشاره شده توسط (Nogolsadat, 1978) است.

شکل ۱۰ موقعیت خطواره‌های جدید بر روی نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. این خطواره‌ها متقاطع با گسل‌های موجود

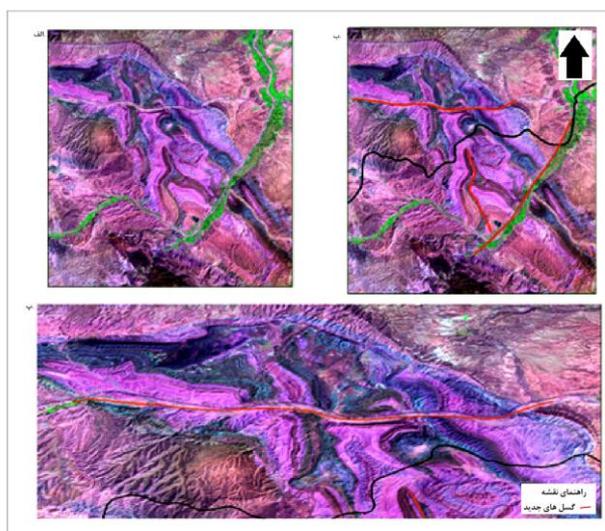


شکل ۱۰: الف: موقعیت خطواره‌های گسلی جدید روی نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه، ب: خطواره گسلی جدید در منطقه مورد مطالعه

Fig. 10: A: Location of new fault lines on the 1:250,000 geological map of the study area, B: New fault line in the study area

قسمتی از محدوده مورد مطالعه (مربوط به چهارگوش نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ میانه) بر اثر حرکات گسلی و اثر تنش فشاری لایه‌ها دچار چین خوردگی و کشیدگی می‌شوند که از نشانه‌های عملکرد گسل می‌باشد. همانطور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است اثر گسل موجود سبب شکستگی و جابجایی لایه در حدود ۳۸۴ متر شده است. براین اساس موقعیت و محل گسل جدید شناسایی شد.

نشانه‌های سنجش از دوری مبنی بر گسل بودن خطواره‌های جدید: شناسایی مکانی گسل‌ها براساس معیارهای مختلف از قبیل جابجایی رودخانه‌ها، تغییر ناگهانی تن رنگی در سطح زمین و خط رویش گیاهان، ارتفاع ناگهانی بین کوه و دشت انجام شد و گسل‌های جدید در موقعیت جدید ترسیم شده است. چند نمونه از بررسی‌ها با توجه به داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای موجود در شکل زیر ارائه شده است. در

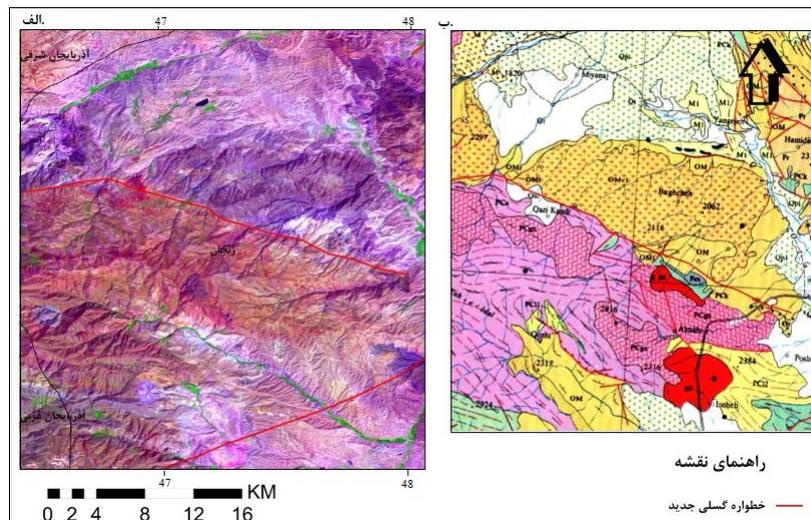


شکل ۱۱: الف: لایه‌های جابجا و شکسته شده در منطقه مورد مطالعه، ب: گسل‌های جدید ترسیم شده در منطقه، پ: یک نمونه گسل ترسیم شده در حالت بزرگنمایی.

Fig. 11: A: Displaced and fractured layers in the study area, B: New faults mapped in the area, C: A sample fault mapped in zoom mode.

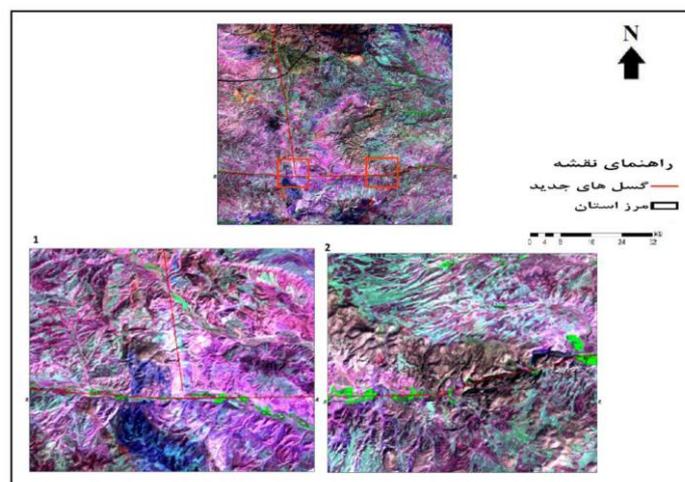
پركامبرين است). همچنين در بخش جنوبي از نقشه زمين شناسي ۱:۲۵۰۰۰۰ تكاب كه در شكل ۱۳ نمايش داده شده است، جابجايي لايه‌ها در حدود ۴۷۲ متر اندازه‌گيري شده است كه از علائم وجود گسل جديد در منطقه است (در قسمت مشخص شده از شكل با كادر نارنجي ۱). علاوه بر اين در منطقه مورد نظر با توجه به روپش خطي گياهان كه از نشانه‌هاي تشخيص گسل‌هاست، گسل جديد در موقعيت خود رسم شده است. (قسمت مشخص شده از شكل كادر نارنجي ۲).

از ديگر نشانه‌هاي مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه قرار گرفتن واحدهاي سنگي مختلف در كنار يكدیگر است. در شكل ۱۲ در منطقه مورد نظر (نقشه چهار گوش زمين شناسي ۱:۲۵۰۰۰۰ تكاب) دو نوع واحد سنگي مختلف در كنار هم مي‌باشد كه از نظر سن و يا سنگ‌شناسي اختلاف فاحشي با يكدیگر دارند، بر اين اساس گسل جديد در منطقه شناسايي و ترسيم گرديد. اين اختلاف در نقشه زمين‌شناسي ۱:۲۵۰۰۰۰ تكاب كنترل شده و مورد تاييد است (شكل ۷). (جنس دو طرف گسل اليگوميوسن و



شكل ۱۲: الف: گسل شناسايي شده در منطقه براساس تفاوت واحد سنگي دو طرف گسل، ب: واحد سنگي متفاوت بر روی نقشه زمين شناسي تكاب

Fig. 12: A: Fault identified in the area based on the difference in rock units on both sides of the fault, B: Different rock units on the Takab geological map



شكل ۱۳: منطقه مورد مطالعه روی تصویر ماهواره‌ای. بخش ۱ گسل‌های ترسیم شده با توجه به جابجایی لایه‌ها، بخش ۲ گسل ترسیم شده بر اساس روپش خطي گياهان در سطح زمين.

Fig. 13: The study area on a satellite image. Part 1: faults drawn based on the displacement of layers, Part 2: faults drawn based on the linear growth of plants on the ground surface.

نتیجه‌گیری

- تلفیق داده‌های مربوط به بهبود تصاویر به روش سنجش از دور و نقشه‌های زمین‌شناسی، لرزه‌زمین ساخت کمک قابل توجهی در تحلیل و پردازش خطواره‌ها نموده است.

- در نتیجه این بررسی‌ها تعداد ۳۸ خطواره، به عنوان خطواره جدید در منطقه شمال غرب ایران آشکارسازی شده است که روند غالب اغلب خطواره‌ها شمال شرق - جنوب غرب و شرقی- غربی می‌باشد، درحالی که این خطواره‌ها بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تا کنون نمایش داده نشده بود.

- بررسی‌های دقیق انجام شده بر روی خطواره‌های جدید و شواهد و نشانه‌های گسلی نظیر جابجایی لایه‌ها، جابجایی آبراهه‌ها، تغییرات لیتولوژی رویش خطی گیاهان، کشیدگی طبقات و ... منجر به شناسایی تعداد ۲۱ گسل جدید از ۳۸ خطواره در منطقه شده است.

- خطواره‌های متقاطع با گسل‌های موجود و روند تقریباً غربی - شرقی همسو با روندهای اشاره شده توسط نوگل سادات (Nogolsadat, 1978) است و با گسل‌های پی سنگی اشاره شده توسط ایشان روند نزدیک نشان می‌دهند.

- خطواره‌های جدید شناسایی شده در منطقه براساس شواهد و نشانه‌های خارجی تشخیص گسل و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و فیلترهای موجود استخراج شده است بنابراین نامیدن یک خطواره به عنوان گسل نیازمند شناسایی نشانه‌های صحرایی تشخیص گسل‌ها از جمله سطوح گسل، آینه‌گسلی، خش‌لغزهای موجود روی آن و ... است از این رو در این پژوهش از نام خطواره برای آن‌ها استفاده شده است.

- هرگز وجود یک خطواره روی زمین نشانه قطعی بر وجود گسل نبوده و همچنین اطمینان از وجود گسل روی زمین نشان از موقعیت دقیق آن ندارد زیرا در برخی موارد با وجود نشانه یا اثر گسل روی زمین در اصل خود گسل در عمق در فاصله‌ای از این اثر قرار دارد. بنابر این در ادامه این پژوهش لازم است خطواره‌های شناسایی شده با مطالعات صحرایی از نظر ساز و کار و نیز از نظر مکانی تدقیق شوند و سپس با نام گسل معرفی گردند.

سپاسگزاری

این مقاله با امکانات و پشتیبانی دانشگاه تبریز و حمایت مالی مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران تهیه شده است.

References

- Abbasi, S. and Yasaghi, A., 2011. Use of Landsat images and geomagnetic data of fault lines and their origin analysis in Lorestan area, folded Zagros. Remote Sensing and GIS of Iran, v. 1, p. 19-33 (In Persian).
- Alaa, A.M. and Katsuki, K., 2006. Tectonic Architecture Through Landsat 7- ETM + \SRTM DEM-Driven Lineaments and Relationship to the Hydro geologic setting in Siwa Region. NW Egypt. Journal of African Earth Sciences, Elsevier, v. 45, p. 467-477.
- Amirpour Asl Miandoab, A. and Sohrabi, Q., 2015, processing and interpretation of airborne magnetism data to determine the boundary of magnetic structures and the location of buried faults in Iran, Geoscience Quarterly, v. 97, p. 115-122 (In Persian).
- Berberian, Manuel, Seismotectonics of Iran, earthquake and fault map, 1976. scale of 1:1000000, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Department of Earthquake, Geology and Seismology.
- Classification map based on structural features and their trends. Nogul Sadat 1978. Geological Survey and Mining Exploration of the country.
- Geological Survey and Mining Exploration of the Iran. 1:250,000 Geological maps of the study area, (25 sheet maps).
- 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.
- Hung, L.Q., Batelaan, O. and De, S.F., 2005. Lineament Extraction and Analysis, Comparison of Landsat ETM and Aster Imagery (Case study: Suoimuori Tropical Karst Catchment, Vietnam). SPIE, v. 2, p. 1-12.
- Ismaili, M., 2014. Presenting a new algorithm for the automatic identification of hidden faults and lineaments in multispectral satellite images of the metallogenic zone in the south of Sarcheshme. Master thesis, Faculty of Mining Engineering, Isfahan University of Technology.
- Magnetic and lineation Map of Iran, scale 1:250,000, Geological Survey and mineral Exploration of Iran.
- National Oil Company of Iran, (N.I.O.C.), 1978. Geological maps of Northwestern Iran with a scale of 1:500000.

- National Oil Company of Iran, (N.I.O.C.), 1997. Map of Iran's active faults, with a scale of 1:10000000.
- Nouri Mokhuri, A., 2013. Studying the structure and seismo-tectonics of the North fault of Tabriz (between Bostan Abad and Marand) and estimating third order tectonic stresses. Master's Thesis, Department of Geology-Tectonics, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz. (In Persian).
- Nogolsadat, 1978. Tectonic maps of Iran, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Department of Earthquake, Geology and Seismology.
- Owaisi et al, 2019. Map of the construction of Iran. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Department of Earthquake, Geology and Seismology.
- Rayan, G.T., 2013. Automatic Extraction and Geospatial Analysis of Lineaments and their Tectonic Significance in some Areas of Northern Iraq Using Remote Sensing Techniques and GIS. International Journal of Enhanced Research in Sciences Technology and Engineering, v. 2, p. 1-11.
- Semere, S. and Woldai, Gh., 2006. Lineament Characterization AND Their Tectonic Significance Using Landsat TM Data and Filed Studies in the Central highlands of Eritrea: Journal of African Earth Sciences, v. 46(4), p. 371-378.
- Saadat Far, E. and Zamani G., B., 2014. Investigating of the deformation of the Crust in Gosha-Dagh mountain ranges, by GPS, Stress and Interferometry data. Journal of Earth and Planetary physics, v. 41(2), p. 167-176. (In Persian).
- Shakiba, A., Ziaian Firouzabadi, P., Seddiqi Rad, M., Pourahmad, M. and Pourahmad, N., 2014. Revealing tectonic lines using automatic remote sensing methods (Urumieh Quadrangle), International Geodynamic Analytical Research Quarterly, third year, v. 5, p. 34-59.
- Zamani G., B. and Frederic, M., 2014. Recent tectonics of East (Iranian) Azerbaijan from stress state reconstructions. Tectonophysics, v. 611, p. 61-82.
- Zamani, G., B., 2017. Experimental tectonic model of East (Iran) Azerbaijan, inferred from stress pattern field. Modeling Earth Systems and Environment, v. 3(2), p. 605-613.
- Zamani, G., B., 2023. Geodynamics and tectonic stress model for the Zagros fold-thrust belt and classification of tectonic stress regimes, Marine and Petroleum Geology, v. 155, 106340, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2023.106340>.
- Zare, M., 2001. Earthquake risk and construction in the north Tabriz fault zone and the fault zone of seismic faults. Research Paper on Seismology and Earthquake Engineering. v. 2 and 3, p. 46-67 (In Persian).