

Research Article**Application of aeromagnetic data in the identification of structural faults, hidden faults and seismic source: A case study of Ramsar city**Hasan Alizadeh^{1*}, Mohammad Aryamanesh¹, Fatemeh Ansari¹

1- Department of Geology, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran

Keywords: Central Alborz, Ramsar, Aerial geophysics, Magnetic lineaments, Hidden fault**1- Introduction**

Interpreting and modeling geophysical data means determining the source of an area's anomalies and their characteristics based on changes in the data (Sharma, 1998). Satellite images are obtained from different wavelengths of the electromagnetic spectrum, so they are the best tools for detecting and separating linear satellites and provide more information than aerial photographs (Rahnama and Gloaguen, 2014). The Discovery of satellites from the perspective of image processing is the detection of direct lines in satellite images, which are, in fact, the same geological lines (Karimpouli, 2016). The semi-automatic and automatic detect linearity (Rahnama and Gloaguen, 2014; Karimpouli, 2016). The ophthalmic method is the most common method of diagnosing calligraphy (Karimpouli, 2016). In this method, by examining aerial photographs and satellite images by an experienced geologist, as well as field tracking and geological survey of the area, a complete picture of the satellites is drawn on the map (Rahnama and Gloaguen, 2014) in Semi-automatic methods use filters such as Start, Subel, Kenny, morphological filters, and the Edison algorithm, but this method, like the eye method, requires user experience and expertise (Gustafsson, 1994; Rahnama and Gloaguen, 2014). In automatic methods, the rulers are determined entirely automatically. This method uses linear complication algorithms, such as hoof and radon conversion. The success of automatic line mining depends on the reliability and accuracy of the edge detection mechanism (Wladis, 1999; Karantzalos and Argialas, 2006). The use of automatic methods is more appropriate than the other two methods due to the improvement of the process of extracting the ruler and saving time. Instead of directly extracting edge meters, the automatic method of extracting ridges highlights the pixels of the edge in the image (Masoud and Koike, 2011; Rahnama and Gloaguen, 2014). In the automatic method, eyeliners that are not visible to the naked eye can be identified (Sarp, 2005).

2- Materials and methods

One of the advantages of aeromagnetic studies in geological studies is the comprehensive coverage of the study area, which provides beneficial information about structural patterns. Faults and fractures are structures that are well identified on satellite imagery. On the other hand, the processing of magnetic air data provides valuable information for the analysis of subsurface effects. In order to study the area, all the documents, including aerial photographs, satellite images, maps and available reports, including topographic maps and geological maps, were studied to determine the main structures. The location of the previously identified faults has been revised. The area's structural lineages have been extracted by eye and Geosoft software using aerial geophysical maps. Then, using the intersection of structural ridges, the tectonic nodes were determined, and the stress range was determined. The raw aeromagnetic data was processed using Oasis montaj (4.1) software, and then the magnetic lines were prepared by applying filters to the poles and the first vertical derivative on the total intensity of the

* Corresponding author: h_alizadehs@pnu.ac.ir

DOI: 10.22055/AAG.2021.36728.2208

Received 2021-02-23

Accepted 2021-06-08

magnetic field. Then, the position of the magnetic lines and hidden faults are plotted using their comparison with the location of the recorded seismic earthquakes and the interpretation of the Landsat ETM⁺ satellite imagery.

3-Results and discussion

In this study, the magnetic lineaments of the study area were visually removed from the aerial geophysical map, and by combining them with polar return filters and high-pass filters, magnetic stress nodes were drawn. Since these nodes often occur in the direction of subsurface fractures, their connection can be identified and plotted according to the geomorphological position of each direction and extension of the buried magnetic lineaments. The nodes' junction shows the lines' extension or the desired structure. The more accurately the ridges are harvested, the more the nodes will be aligned with the position of the ridges. In the study area, six faults were identified, of which one fault was identified as a seismic fault, and five other faults were identified as a latent faults. The general direction of the identified faults is as follows in Table1. Finally, the adaptation of hidden faults identified by river morphotectonics, anticlines, studs and earthquakes recorded in the study area is shown in Figure 1.

Table 1. Information about hidden faults identified.

Fault name	Along (Bering)	Length (Km)	Fault type
L1	E50N	7	Hidden
L2	N45E	8	Hidden
L3	N85E	23	Hidden
L4	N84W	14	Hidden
L5	N37E	9	Hidden
L6	N33W	7	Seismic

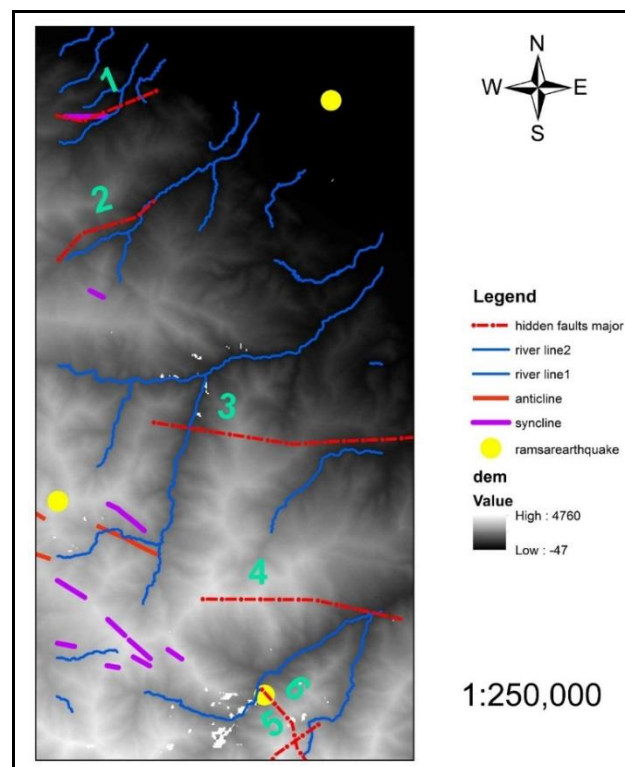


Fig. 1. Adaptation of hidden faults identified by river morphotectonics, anticlines, studs and earthquakes recorded in the study area.

4- Conclusions

The following results were obtained from the present research:

1. Airborne geophysical data and the magnitude of the total magnetic field and the region's faults led to the identification of hidden faults that overlap well with the location of pre-identified surface faults.
2. No hidden fault has been reported before this research for the study area; the number of hidden faults identified in this study is 6; According to the drawn nodes, the stress concentration in the study area corresponds to the identified hidden faults.
3. The recent study has shown that field studies and geological maps prepared for seismic hazard analysis are insufficient and that geophysical data must be used to complete the fault position of each region.
4. To have higher accuracy and better identification of faults and fault lineaments, it is recommended to use more accurate methods such as magnetometry and expensive measurement methods.

Acknowledgment

The country's Atomic Energy Organization provides aeromagnetic data, the country's Geological Survey and Mineral Exploration Organization and Dr. Mohammad Khalaj, a colleague of Payame Noor University, which ultimately cooperated in interpreting the data, is sincerely appreciated.

References

- Gustafsson, P., 2014. Spot satellite data for exploration of fractured aquifers in a Semi-Arid area in southeastern Botswana. *Applied Hydrogeology* 2, 9–18.
- Karantzalos, K., Argialas, D., 2006. Improving edge detection and watershed segmentation with anisotropic diffusion and morphological levellings. *International Journal of Remote Sensing* 27, 5427–5434.
- Karimpouli, S., 2016. Automatic detection of lineation in satellite images and aerial photos using Radon transform. *Iranian Journal of Mining Engineering* 10, 41–49.
- Masoud, A.A., Koike, K., 2011. Auto-detection and integration of tectonically significant lineaments from SRTM DEM and remotely-sensed geophysical data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 66, 818–832.
- Rahnama, M., Gloaguen, R., 2014. TecLines: A MATLAB-based toolbox for tectonic lineament analysis from satellite images and DEMs, Part 1: Line segment detection and extraction. *Remote Sensing* 6, 5938–5958.
- Sarp, G., 2005. Lineament analysis from satellite images, North- West of Ankara, Middle East Technical University.
- Sharma, S., Rani, U., 2012. Ellipse detection using canny edge detection algorithm.
- Wladis, D., 1999. Automatic lineament detection using digital elevation models with second derivative filters. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 65, 453–458.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Alizadeh, H., Aryamanesh, M., Ansari, F., 2022. Application of aeromagnetic data in the identification of structural faults, hidden faults and seismic source: A case study of Ramsar city. *Adv. Appl. Geol.* 12(3), 452-467.

DOI: 10.22055/AAG.2021.36728.2208

url: https://aag.scu.ac.ir/article_17044.html?lang=en

©2022 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.



کاربرد داده‌های مغناطیس هوایی در شناسایی خطواره‌های مغناطیسی، گسل‌های پنهان و چشمه‌های لرزه‌ای:

مطالعه موردی شهرستان رامسر

حسن علیزاده*

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

محمد آریامنش

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

فاطمه انصاری

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

*h_alizadehs@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۸

چکیده

محدوده مورد مطالعه در منطقه البرز مرکزی در عرض شمالی ۳۶/۵ تا ۳۷ و طول شرقی ۵۰/۵ تا ۵۱ از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. از اهداف این پژوهش، شناسایی خطواره‌های ساختاری موجود در منطقه مورد مطالعه، با استفاده از داده‌های مغناطیس هوایی و بررسی ارتباط زمین‌ساختی خطواره‌های مغناطیسی با گسل‌های پنهان است. عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های موجود اعم از نقشه‌های توپوگرافی و نقشه‌های زمین‌شناسی به منظور تعیین ساختارهای اصلی مطالعه شد. موقعیت گسل‌های شناسایی شده قبلی بازنگری و با استفاده از نقشه‌های ژئوفیزیک هوایی، خطواره‌های ساختاری منطقه به روش چشمی و با استفاده از نرم‌افزار ژئوسافت نسخه ۴/۱ (Geosoft Oasis montaj 4.1) استخراج شدند. با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش هم‌پوشانی، نقشه کانون‌های سطحی، نقشه خطواره‌های مغناطیسی و نقشه گره‌های تنش مغناطیسی بر یکدیگر منطبق شدند. برای شناسایی گسل‌های پنهان منطقه از دو روش تلفیق و تحلیل گره‌های تنش مغناطیسی و خطواره‌های مغناطیسی استفاده شد. محل خطواره‌ها یا پهنه‌های خطی که در هر سه نقشه مشترک بودند، نشان دهنده موقعیت گسل‌های جدید سطحی و گسل‌های قدیمی هستند و بقیه خطواره‌ها گسل‌های پنهان می‌باشند. تعداد ۶ گسل پنهان در این پژوهش شناسایی و معرفی شده است.

کلمات کلیدی: البرز مرکزی، رامسر، ژئوفیزیک هوایی، خطواره‌های مغناطیسی، گسل پنهان

مقدمه

وضعیت خطواره‌های زیر سطحی به منظور شناسایی گسل‌های پنهان و تحلیل خطرات ناشی از آن مورد توجه جدی قرار گیرد. روش مغناطیس‌سنجی که قدیمی‌ترین روش ژئوفیزیک اکتشافی است، در اصول و حتی تعبیر و تفسیر، شباهت‌های بسیاری با روش‌های ثقل-سنجی دارد. اما به طور معمول این روش پیچیده‌تر است و تغییرات میدان مغناطیسی نیز نامنظم‌تر و محلی‌تر از شتاب ثقل زمین است. خطواره‌ها، ساختارهای خطی هستند که به دلایل مختلف زمین‌شناسی به صورت پهنه مستقیم در سطح زمین و یا در زیر لایه‌های مدفون ایجاد شده باشد. این اثر می‌تواند به دلیل اختلاف چگالی، اختلاف جنس، شکستگی و یا اختلاف میدان مغناطیسی ایجاد شود. محل برخورد یا مرز ساختارهای زمین‌شناسی یکی از کاربردی‌ترین مسائلی است که همواره در زیرشاخه‌های مختلف مجموعه زمین‌شناسی و ژئوفیزیک مطرح بوده است.

یکی از سریع‌ترین مطالعات برای شناسایی ساختارهای پنهان، ژئوفیزیک هوایی است و تفسیر آن می‌تواند به شناسایی گسل‌های زیر سطحی و یا گسل‌های مدفون کمک کند. تفسیر و مدلسازی داده‌های ژئوفیزیکی عبارت است از تعیین منبع آنومالی‌های موجود و ویژگی‌های آن‌ها از روی تغییراتی که در داده‌ها مشاهده می‌شود. بطور کلی تفسیر و مدلسازی داده‌های ژئوفیزیکی به دو صورت کیفی و کمی صورت می‌گیرد. در تفسیر کیفی بیشتر انواع ساختارهای ایجاد کننده ناهنجاری‌ها، جهت و امتداد و میزان گسترش آن‌ها مورد نظر قرار می‌گیرد. در این حالت شکل، عمق، گسترش و امتداد و خواص فیزیکی بی‌هنجاریها به طور نسبی تعیین می‌شود. امروزه این گونه اطلاعات به منظور ارزیابی زمین‌شناسی زیر سطحی به ویژه ساختارهای خطی در مطالعات زمین‌ساختی گسترش یافته است. توسعه روزافزون صنعت و گسترش شریان‌های حیاتی در جای‌جای این مرزو بوم ایجاب می‌کند تا

2006). Biswas و Sil از الگوریتم تشخیص لبه کنی بهبود یافته برای شناسایی خطوط و بارز کردن عکسها بر روی تصویر استفاده کردند (Biswas and Sil, 2012). Sharma و Rani برای بارزسازی خطوط بیضی در اجسام مختلف از الگوریتم کنی بهره گرفتند (Sharma and Rani, 2012).

Rahnama و Gloaguen خطواره‌ها را بر روی تصاویر ماهواره‌ای و تصویر مدل ارتفاعی رقومی (DEM) منتقل کردند و سپس با استفاده از روش تبدیل هاف نتایج را تفسیر کردند (Rahnama and Gloaguen, 2014). Nakini و همکاران از روش کنی با به کارگیری دو حد آستانه در بارزسازی خطوط استفاده کردند (Nakini et al., 2016). در بین روش‌های متنوعی که برای استخراج خطواره‌ها وجود دارد، روش‌هایی که بر اساس تلفیقی از فیلترهای آشکار ساز لبه و تبدیل هاف هستند، بهترین نتیجه را ارائه می‌کنند (Fitton and Cox, 1998; Argialas et al., 2004). در این پژوهش برای اولین بار با استفاده از داده‌های مغناطیس هوایی خطواره‌های مغناطیسی به روش چشمی برای شناسایی گسل‌های پنهان و چشمه‌های لرزه‌ای شهرستان رامسر مورد بررسی قرار گرفته است.

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

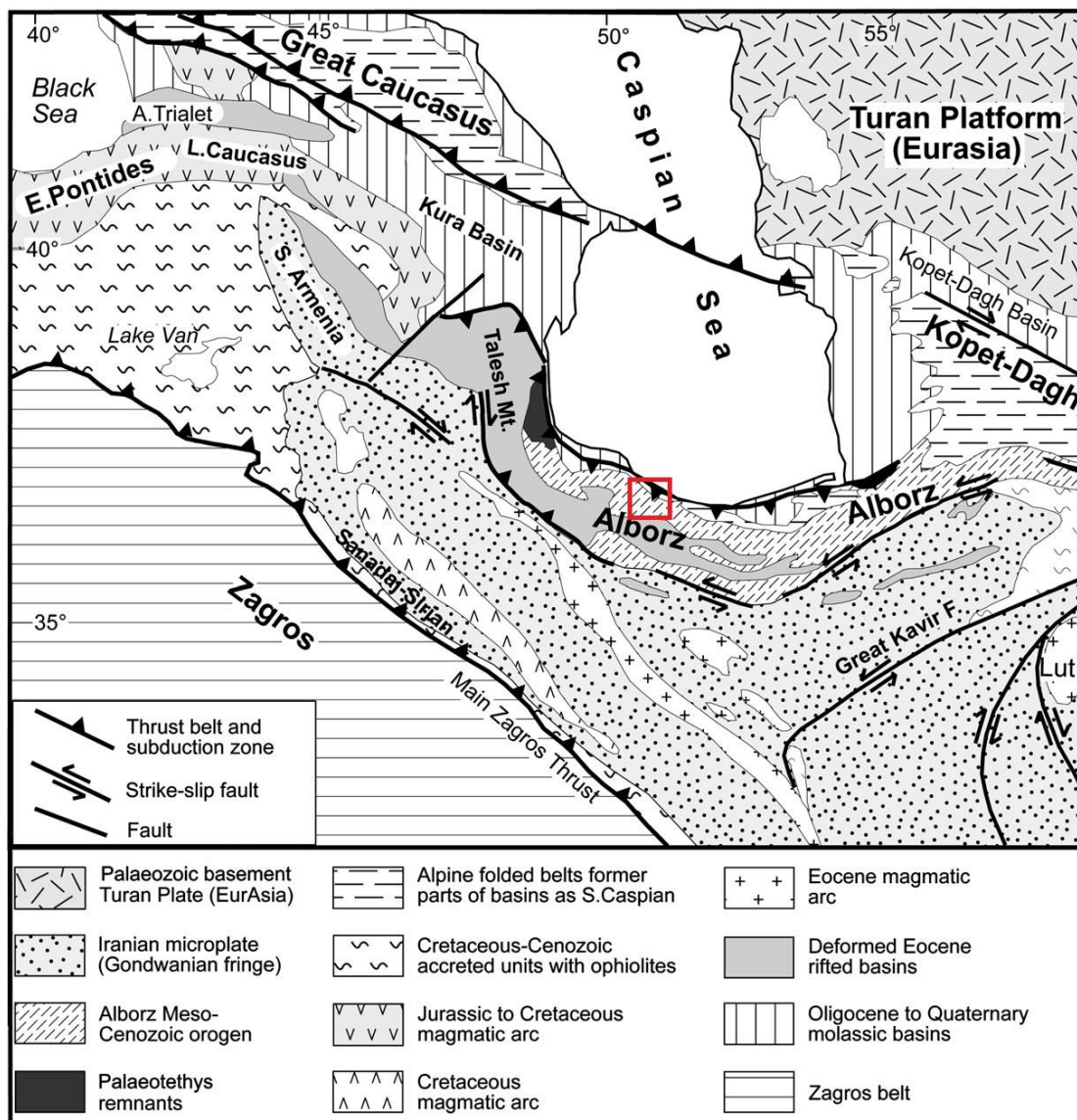
شهرستان رامسر در استان مازندران و در حد فاصل طول جغرافیایی ۵۰/۵ تا ۵۱ و عرض جغرافیایی ۳۶/۵ تا ۳۷ قرار گرفته است. این شهر از شرق به شیروود، از غرب به چابکسر دهستان اوشیان گیلان، از جنوب به کوه‌های البرز و از شمال به دریای خزر محدود می‌شود. شکل ۱ موقعیت قرارگیری منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. رامسر در تقسیمات زمین‌شناسی ایران در زون البرز مرکزی واقع شده است. سلسله کوه‌های البرز با روند تقریبی شرقی - غربی بخشی از رشته کوه آلپ - هیمالیاست که در طی حرکات کوهزایی آلپی به صورت فعلی درآمده است. این کوه‌ها از آذربایجان تا خراسان ادامه داشته و با توجه به این که از نظر چینه‌شناسی و زمین‌ساخت اختصاصات یکنواخت ندارند به واحدهای مختلفی تقسیم شده‌اند.

در محدوده رامسر سنگ‌های پرکامبرین تا سنوزوئیک رخنمون دارند (Bachmanov et al., 2004). آن چه که البرز را از ایران مرکزی متمایز می‌کند تحرک بیشتر ایران مرکزی در اواخر تریاس و سپس اوایل کرتاسه و دگرشیبی‌های شدید ناشی از آن است. به علاوه وجود افیولیت‌ها، رادیولاریت‌ها همراه با آهک‌های پلاژیک در کرتاسه بالایی ایران مرکزی نیز پدیده‌ای است که می‌تواند البرز را از ایران مرکزی متمایز سازد (Ritz et al., 2006). کوه‌های البرز تشکیل یک ساختار برشی - فشارشی را می‌دهند که در آن تمایل جابه‌جایی در دامنه جنوبی به سمت جنوب و در دامنه شمالی به سمت شمال است. به عبارت دیگر، شیب گسل‌های معکوس دامنه جنوبی به سمت شمال و شیب گسل‌های معکوس دامنه شمالی به سمت جنوب است (Allen et al., 2003).

گسل‌ها یکی از عوامل زمین‌ساخت فعال هستند؛ بنابراین مطالعه آن‌ها در مواردی مانند طرح‌های شهرسازی و عمرانی، بررسی پتانسیل‌های معدنی در ارتباط با کنی‌زایی‌های مرتبط با شکستگی‌ها و نواحی گسل، شناخت دقیق روندهای زمین‌ساختی و ... اهمیت دارد. استفاده از علم دورسنجی در مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی از سال ۱۹۷۸ با انتشار اولین تصاویر ماهواره‌ای افزایش یافت و امروزه این تصاویر به صورت گسترده برای مطالعات زمین‌شناسی به کار می‌روند (Rangzan et al., 2017). صعب‌العبور بودن بعضی از مناطق و همچنین نیاز به صرف هزینه و زمان زیاد برای مطالعه مناطق وسیع، موجب شده است تا محققان از تصاویر ماهواره‌ای در تحقیقات زمین‌شناسی و اکتشاف مواد معدنی بهره ببرند. تفسیر و الگوسازی داده‌های ژئوفیزیکی به معنای تعیین منبع بی‌هنجاری‌های یک منطقه و ویژگی‌های آن‌ها بر اساس تغییرات موجود در داده‌ها است (Sharma, 1998). با توجه به این که شدت میدان مغناطیسی کل هر نقطه، تحت تاثیر مواد و ساختارهای مغناطیسی موجود در آن نقطه است، تصاویر ماهواره‌ای از طول موج‌های مختلف طیف الکترومغناطیس به دست می‌آیند، لذا بهترین ابزار برای تشخیص و تفکیک خطواره‌ها محسوب می‌شوند و نسبت به عکس‌های هوایی اطلاعات بیشتری ارائه می‌دهند از طرفی آشکارسازی خطواره‌ها از دیدگاه پردازش تصاویر عبارت است از آشکارسازی پاره خط‌های مستقیم در تصاویر ماهواره‌ای که این پاره خط‌ها در واقع همان خطواره‌های زمین‌شناسی هستند (Rahnama and Gloaguen, 2014).

برای تشخیص خطواره‌ها از سه روش چشمی، نیمه اتوماتیک و اتوماتیک استفاده می‌شود. روش چشمی معمول‌ترین روش تشخیص خطواره است. در این روش با بررسی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و همچنین پی‌جویی صحرائی و بررسی زمین‌شناسی منطقه، شکل کاملی از خطواره‌ها، بر روی نقشه ترسیم می‌شود در روش‌های نیمه اتوماتیک از فیلترهایی مانند استارت، سوپل، کنی، فیلترهای مورفولوژیکی و الگوریتم ادیسون استفاده می‌شود. اما این روش نیز مانند روش چشمی، به تجربه و تخصص کاربر نیاز دارد. در روش‌های اتوماتیک، خطواره‌ها به طور کاملاً اتوماتیک تعیین می‌شوند (Karimpouli, 2016). به کارگیری روش‌های اتوماتیک به دلیل بهبود فرایند استخراج خطواره و صرفه‌جویی در زمان نسبت به دو روش دیگر مناسب‌تر است. در روش اتوماتیک خطواره‌هایی که با چشم قابل رویت نیستند را می‌توان شناسایی کرد (Sarp, 2005).

روش‌های اتوماتیک استخراج خطواره‌ها، به جای استخراج مستقیم کنتورهای لبه، به برجسته کردن پیکسل‌های لبه در تصویر می‌پردازد. در این روش از الگوریتم‌های تعیین عوارض خطی، همچون تبدیل هاف و رادون استفاده می‌شود. موفقیت استخراج اتوماتیک خطواره‌ها بستگی به قابلیت اطمینان و دقت مکانیزم تشخیص لبه دارد. با روش‌های مختلف می‌توان خطواره‌ها را استخراج کرد. Zhang و همکاران، از تبدیل رادون برای استخراج اتوماتیک خطواره‌ها استفاده کردند (Zhang et al., 2003).



شکل ۱- نقشه زمین شناسی و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

Fig. 1. Geological map and geographical location of the study area.

البرز است و 6.5 ± 2 mm/yr در ساحل خزر جنوبی رخ می دهد (Vernant et al., 2004).

Vernant و همکاران در مطالعات بعدی در البرز، مقدار کوتاه-شدگی البرز مرکزی را از 8 ± 2 mm/yr به 5 ± 2 mm/yr تصحیح کرده و تفاوت این دو مقدار (3 mm/yr) را ناشی از کوتاه شدگی در جنوب البرز (حاشیه شمالی بلوک ایران مرکزی) در نظر گرفتند و نشان دادند که حوضه خزر جنوبی با نرخ 6 ± 2 mm/yr رو به شمال باختری (نسبت به اوراسیا) در حرکت است. همچنین آن ها یک برش چپ گرد با آهنگ 4 ± 2 mm/yr را در سراسر کمربند مشاهده کرده و بخش عمده آن را به گسل مشا نسبت دادند. آن ها نشان دادند که راستای بیشینه کوتاه شدگی در البرز برابر $30^\circ N$ است (Vernant et al., 2004).

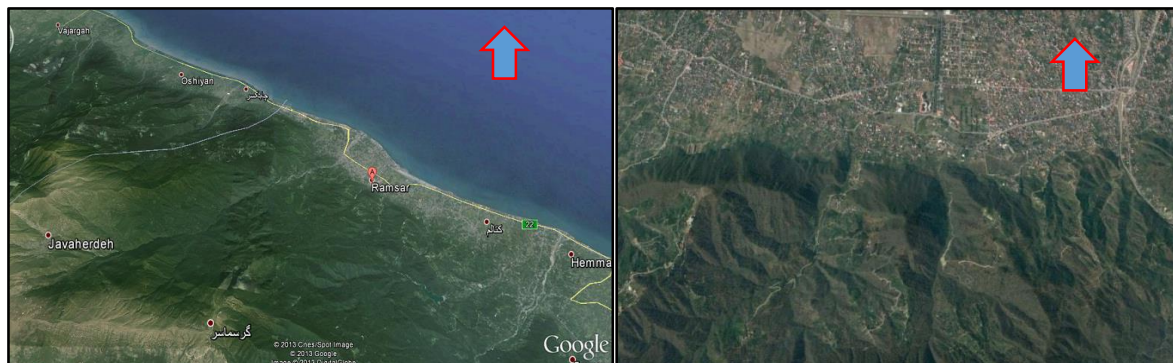
بخشی از تغییر شکل پوسته به ویژه در بخش مرکزی کوه های البرز به صورت حرکات برشی در طول گسل های راستالغز چپ گرد دیده می شود (Allen et al., 2003a; Bachmanov et al., 2004; Ritz et al., 2006).

در نخستین مطالعاتی که توسط Nilforoushan و همکاران (۲۰۰۷) و نیز Vernant و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از شبکه موردی GPS در ایران انجام شد، آهنگ تغییر شکل کنونی کلی ایران و مناطق مختلف آن از جمله البرز مرکزی برآورد شد.

حرکت رو به شمال صفحه عربستان نسبت به اوراسیا را در طول جغرافیایی برابر 22 ± 2 mm/yr و آهنگ حرکت بلوک ایران مرکزی نسبت به حوضه خزر جنوبی را 14 ± 2 mm/yr برآورد کردند، که از این مقدار حدود 8 ± 2 mm/yr مربوط به کوتاه شدگی شمالی - جنوبی

کم می‌شود. پست ترین بخش منطقه منطبق بر جلگه‌های اطراف است و ۲۰ متر از سطح آب‌های آزاد پایین‌تر می‌باشد به نحوی که این جلگه‌ها به صورت نواری باریک بین سلسله جبال البرز و دریای خزر قرار دارد (شکل ۲).

منطقه رامسر به علت وجود توپوگرافی و شیب تند ارتفاعات، مورفولوژی خاصی دارد. در منطقه مورد مطالعه در اثر چین خوردگی‌ها و شکستگی‌های حاصل از گسل، به وفور آئینه گسلی با سطح صیقلی و شیب تند دیده می‌شود و شیب لایه‌ها از جنوب غربی به جنوب شرقی



شکل ۲- شمای کلی تصویر ماهواره ای منطقه مورد مطالعه (راستای شمال رو به بالا می باشد).

Fig. 2. Aerial photographs of the study area.

پردازش مغناطیس هوایی منطقه مورد مطالعه

یکی از مراحل پردازش در داده‌های مغناطیس هوایی، محاسبه اثر مغناطیسی میدان مرجع وابسته به میدان جاذبه زمین و حذف آن از داده‌های مغناطیسی مشاهده شده در شدت کل میدان مغناطیسی است. در این مطالعه با استفاده از داده های مغناطیس هوایی با فاصله خطوط پرواز ۷/۵ کیلومتر و ارتفاع بارومتریک ۲۵۰۰ مترسازمان زمین شناسی کشور مربوط به سال ۱۹۷۸ که بطور خام اخذ شد و سپس با استفاده از نرم افزار Oasis montaj (4.1) پردازش و نقشه شدت کل میدان مغناطیسی بدست آمد. وجود توده‌های دو قطبی مغناطیسی و نحوه قرار گرفتن آنها نسبت به جهت میدان مغناطیسی زمین و امتداد خطوط برداشت، باعث تغییر در شدت میدان و یا شکل ناهنجاری حاصل از آنها می‌شود که برای حذف این مشکلات با اعمال فیلترهای رقومی این اثرات حذف می‌گردد.

اولین فیلتر اعمال شده، فیلتر برگردان به قطب است (Silva, 2003) یکی از عوامل مؤثر بر شکل ناهنجاری‌های مغناطیسی زاویه میل بردار میدان مغناطیس زمین می‌باشد. مقدار زاویه میل در قطبین مغناطیسی ۹۰ درجه، در استوا صفر درجه و سایر محل‌ها مقادیری بین صفر و ۹۰ درجه دارد. به غیر از مواردی که توده در قطب مغناطیسی واقع شده است، سایر ناهنجاری‌های مغناطیسی شکل نامتقارن دارند. تبدیل به قطب عملگری است که شکل نامتقارن ناهنجاری مغناطیسی را به شکلی متقارن تبدیل می‌کند. با استفاده از این فیلتر میدان مغناطیسی از یک عرض مغناطیسی که در آن بردار میدان زمین مایل و شیبدار است، به قطب مغناطیسی یعنی جایی که میدان القایی قائم است، منتقل می‌شود. در مناطقی که میدان زمین مایل باشد، شکل ناهنجاری‌های مغناطیسی که به صورت القایی به وجود آمده‌اند، نسبت به منابع به وجود آورنده، نامتقارن می‌شوند. در مناطقی که میدان القایی

روش کار

یکی از مزیت‌های مطالعات مغناطیس هوایی در مطالعات زمین-شناسی، پوشش وسیع ناحیه مورد مطالعه است که اطلاعات بسیار سودمندی از الگوهای ساختاری برای تحلیل عوارض زیر سطحی به دست می‌دهد. با تلفیق خطوطها بر روی تصاویر ماهواره‌ای یا نقشه‌های ژئوفیزیک هوایی، خطوطهای ساختاری به صورت رقومی رسم می‌شوند. با توجه به این که منطقه مورد مطالعه دارای پوشش گیاهی است و خطوطها در مناطق پوشیده از جنگل قابل شناسایی نیستند، لذا به جای استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از نقشه‌های ژئوفیزیک هوایی استفاده شده است.

به منظور تعیین ساختارهای اصلی منطقه مورد مطالعه، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی و نقشه‌های زمین‌شناسی مورد بررسی قرار گرفتند. با استفاده از نقشه‌های ژئوفیزیک هوایی، موقعیت گسل‌های شناسایی شده در نقشه‌های زمین‌شناسی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی، مورد بازنگری قرار گرفتند و خطوطهای ساختاری منطقه به روش چشمی و با استفاده از نرم‌افزار Geosoft استخراج شدند. با استفاده از محل تقاطع خطوطهای ساختاری، گره‌های تکتونیکی مشخص و محدوده‌های تنش تعیین شدند. با استفاده از نرم‌افزار Oasis montaj (4.1) داده‌های خام مغناطیس هوایی پردازش شدند و با استفاده از اعمال فیلترهای برگردان به قطب و مشتق اول قائم بر روی شدت کل میدان مغناطیسی، خطوطهای مغناطیسی ترسیم شدند. در نهایت با استفاده از انطباق خطوطهای مغناطیسی با موقعیت زمین لرزه‌های ثبت شده دستگاهی و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای لندست ETM⁺ گسل‌های پنهان ترسیم شده‌اند.

بر روش استفاده از خطواره‌های مغناطیسی برای تعیین گسل‌های پنهان، که نیاز به وجود گسل‌هایی با کانی‌های فرومغناطیس است، از روش گره‌های تنش نیز برای شناسایی گسل‌های پنهان استفاده شده است. این روش مکمل روش خطواره مغناطیسی است و کمک می‌کند تا آن دسته از گسل‌های پنهان که فاقد کانی‌های فرومغناطیس هستند نیز در مطالعات مغناطیس هوایی شناسایی شوند.

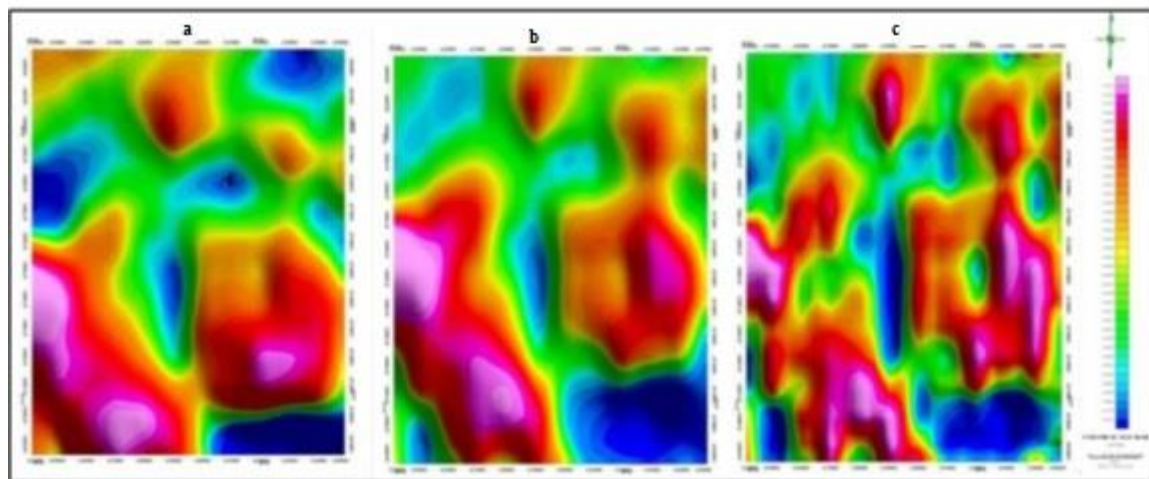
نواحی خطی و باریک دارای مغناطیس بالا (رنگ بنفش) که در اثر وجود یک عامل خارجی قطع شده باشند، مربوط به کانی‌های مغناطیسی رسوب کرده در سطح گسل است. جابه‌جایی واضح و تند در ناهنجاری‌های مغناطیسی (رنگ قرمز)، نشان‌دهنده پهنه‌های شکننده یا همان گسل‌ها هستند (Korhonen et al., 2004).

از آن جا که شدت میدان مغناطیسی کل در هر نقطه متأثر از مواد و ساختارهای مغناطیسی موجود در آن نقطه می‌باشد بر اساس تفسیر این نقشه و اعمال فیلترهای بالاگذر می‌توان به وجود ناهنجاری‌های ساختاری زیر سطحی پی برد. در شکل ۳ جایگیری پهنه‌های مغناطیسی از شدت پایین تا بالا با فیلترهای مختلف نمایش داده شده است که بر محل گسل‌ها و دگرشکلی‌های شکننده انطباق دارند. همان طور که قبلاً گفته شد مناطق آبی نشان دهنده استقرار مغناطیس ضعیف در سطح گسل‌ها است، مناطق بنفش حاکی از جایگیری مواد مغناطیسی شدید در محل گسل‌ها می‌باشد و مناطق با رنگ قرمز حاکی از پهنه‌های گسلی در منطقه مورد مطالعه است.

قائم باشد، ناهنجاری‌های به وجود آمده در اثر القاء مغناطیس بر روی منبع خود قرار می‌گیرند؛ بنابراین تفسیر داده‌های مغناطیس هوایی بر روی تصاویر مختلف برگردان به قطب صورت می‌گیرد (شکل ۳a).

در این پژوهش فیلتر برگردان به قطب با استفاده از زاویه میل و انحراف مغناطیسی صورت گرفته است، مقدار این زوایا در منطقه رامسر به ترتیب ۶۰ و ۲/۹ درجه و مقدار میانگین IGRF برابر ۵۱۰۴۱ نانوتسلا است (شکل ۳b). پس از اعمال فیلتر برگردان به قطب، برای حذف اثرات ناحیه‌ای با طول موج بلند و تداخل بین ناهنجاری‌های مجاور، از فیلتر مشتق قائم استفاده شد (شکل ۳c). مشتق قائم در واقع یک فیلتر بالاگذر است زیرا بسامدهای بالا را نسبت به بسامدهای پایین افزایش می‌دهد؛ نتیجه اثر ناهنجاری‌های بزرگ که دارای طول موج بلند و بسامد پایین هستند و مربوط به منابع ژرف و منطقه‌ای هستند، بر روی ناهنجاری‌های کوچک از بین رفته و ناهنجاری‌های کوچک و محلی به خوبی نمایان می‌شوند (Silva, 2003; Neawsuparp et al., 2005).

عوارضی مانند قطع ناگهانی در اعماق منابع مغناطیسی که به شکل نواحی خطی و باریک دیده می‌شوند، دارای مغناطیس پایین (رنگ آبی) هستند و معرف مناطق دارای دگرشکلی شکننده است. به این معنا که یک پهنه مغناطیسی باریک خطی با شدت پایین، به دلیل هوازگی در طول سطح گسل خوردگی به وجود آمده و کانی‌های مغناطیس در اثر اکسیداسیون به کانی غیر مغناطیس تبدیل شده‌اند. در این مطالعه علاوه



شکل ۳- (a) نقشه شدت کل میدان مغناطیسی، (b) نقشه برگردان به قطب و (c) نقشه مشتق اول قائم مناطق قرمز بیانگر شدت بالای میدان مغناطیسی و مناطق آبی نشان دهنده شدت پائین آن است.

Fig. 3. (a) Map of the total intensity of the magnetic field, (b) Map of the return to the pole, and (c) Map of the first vertical derivative of the red areas indicates the high intensity of the magnetic field and blue areas indicate its low intensity.

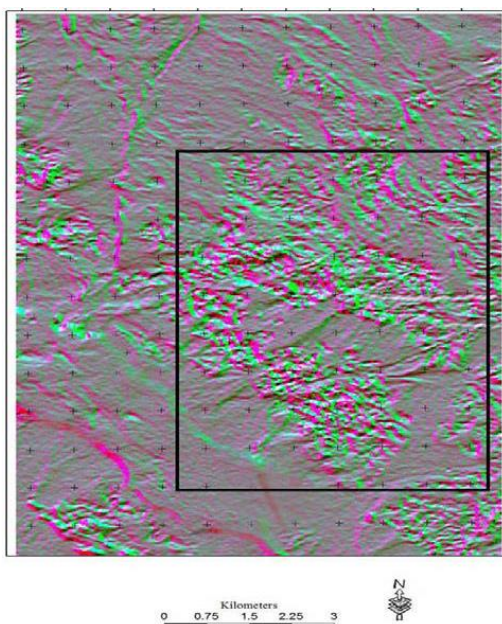
انطباق خطواره‌های مغناطیسی با گسل‌های سطحی

خطواره‌ها ساختارهای خطی هستند که به دلایل مختلف زمین‌شناسی به صورت پهنه مستقیم در سطح زمین و یا در زیر لایه‌های مدفون ایجاد شده باشد. این اثر می‌تواند در اثر اختلاف چگالی، اختلاف

بارسازی خطواره‌های منطقه با روش فیلترینگ - تصویر RGB از سه تصویر فیلترینگ در سه جهت ۴۵، ۱۳۵ و ۳۶۰ درجه انجام شده است (شکل ۴).

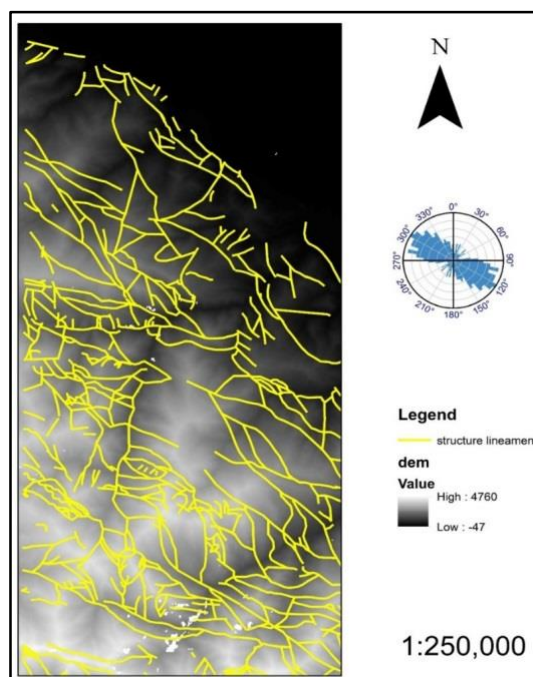
با استفاده از نرم افزار Arc GIS، گسل‌های از قبل شناسایی شده رامسر که در نقشه‌های زمین شناسی منطقه درج شده‌اند و نمودارهای گلسرخي مرتبط با آنها، از عکس‌های ماهواره‌ای استخراج و در سیستم مختصات UTM ترسیم شدند (شکل ۵).

جنس، شکستگی و یا اختلاف میدان مغناطیسی ایجاد شود. وجود تغییرهای یکنواخت و کم و بیش آرام در ژرفای پی‌سنگ مغناطیسی در منطقه نشان دهنده اثر ضعیف گسل‌ها در ایجاد مولفه جابه‌جایی قائم و یا حتی نتیجه تغییر در خواص مغناطیسی مواد ژرفایی است. البته ممکن است ویژگی‌های مغناطیسی مناطق دگرشکلی طی مراحل مختلف دگرگونی دچار تغییر شوند.



شکل ۴- بارزسازی خطوط‌های مغناطیسی منطقه مورد مطالعه، کادر مشکی محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد.

Fig. 4. Highlighting the magnetic lines of the study area. The black box indicates the scope of the study.



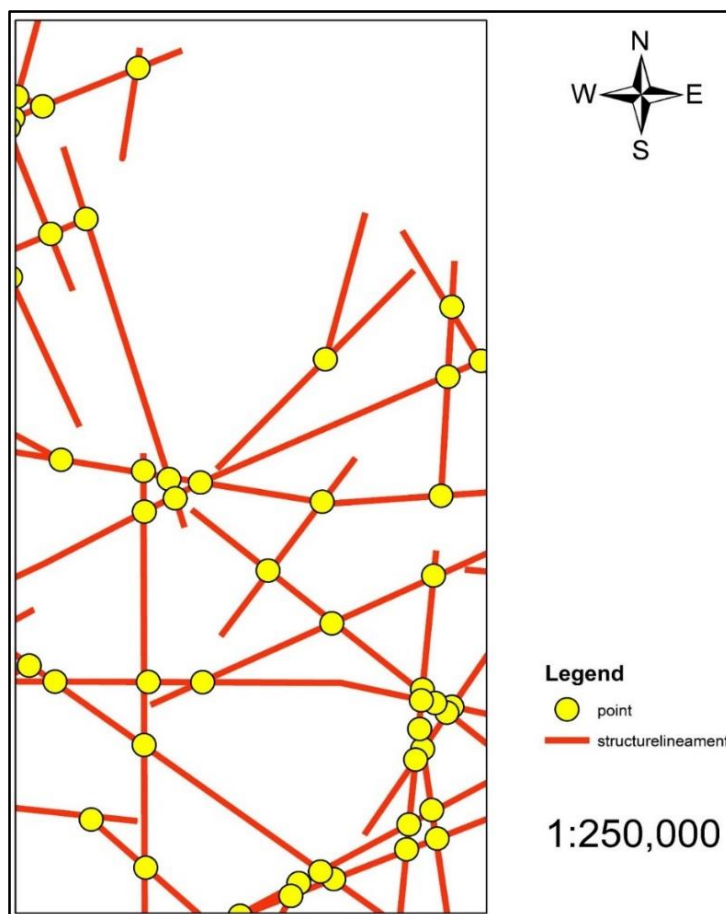
شکل ۵- گسل‌های شناسایی شده قبلی بر روی تصویر ماهواره‌ای منطقه همراه با نمودار گلسرخي آنها با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰.

Fig. 5. Previously identified faults on the satellite image of the region with their diagram rose with a scale of 1: 250,000.

مورد مطالعه، محل گره‌های حاصل از تقاطع خطواره‌ها در منطقه تعیین و نقشه آن‌ها ترسیم شد. در این پژوهش خطواره‌های مغناطیسی محدوده مورد مطالعه به روش چشمی از روی نقشه ژئوفیزیک هوایی برداشت و از تلفیق آن‌ها و با استفاده از فیلترهای برگردان به قطب و فیلترهای بالاگذر، گره‌های تنش مغناطیسی ترسیم شد (شکل ۶).

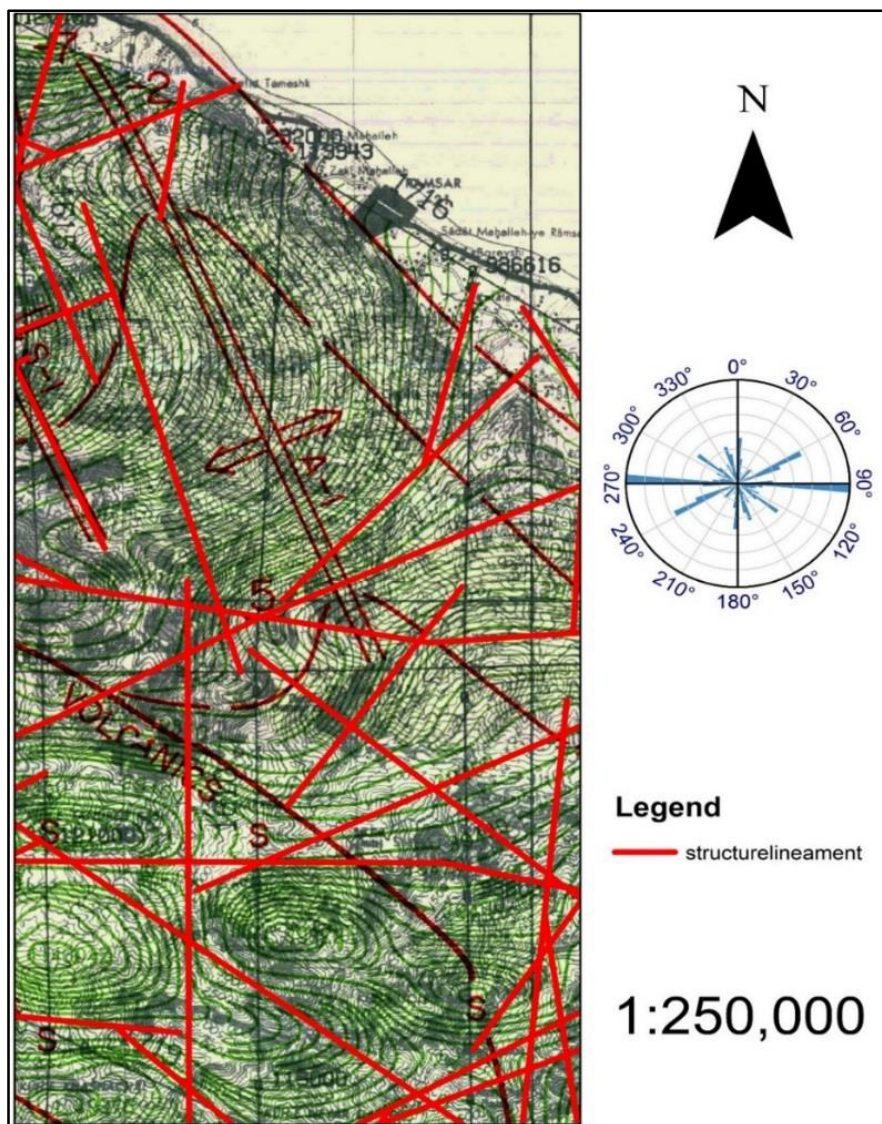
گره‌ها در واقع محل تقاطع چندین خطواره با یکدیگر هستند که نشان دهنده میزان تمرکز تنش در آن محدوده است. وقتی دو یا چند خطواره از یک محدوده مشترک عبور می‌کنند، به این معنی است که انرژی بیشتری در آن محدوده متمرکز شده است. بنابراین احتمال وقوع زمین‌لرزه و یا شکستگی‌های جدید و یا فعالیت‌های زمین‌ساختی در آن محدوده بیشتر است (Karimpouli, 2016). بنابراین با محاسبه و ترسیم گره‌های یاد شده می‌توان به مسیر احتمالی شکستگی‌های پنهان و یا شکستگی‌های آشکار در هر منطقه پی برد. به روش چشمی از محل اتصال گره‌ها امتداد گسلش و یا ساختار مورد نظر به دست می‌آید. هر چه دقت برداشت خطواره‌ها بیشتر باشد، گره‌های به دست آمده با موقعیت گسل‌ها انطباق بیشتری خواهند داشت (شکل ۷).

به منظور بررسی تغییرات (گرادیان) شدت میدان مغناطیسی در جهت‌های مختلف از مشتق‌گیری استفاده شد. برای اینکه بی‌هنجاریهای سطحی نسبت به ناهنجاریهای عمیق‌تر تقویت شوند از یک فیلتر رقومی به نام مشتق اول در جهت قائم استفاده می‌شود که با اعمال این فیلتر بروی نقشه برگردان به قطب ناهنجاری‌های سطحی نمود بیشتری پیدا می‌کند بدین وسیله می‌توان رفتار این توده‌های مغناطیسی را در سطح بهتر مورد بررسی قرارداد. یکی از کاربردهای مهم نقشه مشتق اول قائم پیدا کردن خطواره‌های مغناطیسی و تعیین دقیق تر مرز بین واحدهای سنگ شناسی است. برای تعیین این خطواره‌ها در تفسیر نهایی از این نقشه استفاده شده است و نهایتاً نقشه خطواره‌های مغناطیسی منطقه استخراج و با موقعیت گسل‌های بنیادی منطقه مقایسه شد. منظور از گسل‌های بنیادین همان گسل‌های اصلی و سطحی منطقه هستند که قبلاً توسط سایر محققین شناسایی شده‌اند و در نقشه زمین‌شناسی منطقه که توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی منتشر شده، درج و نمایش داده شده است. همچنین برای تعیین انطباق یا عدم انطباق گسل‌های سطحی با محل خطواره‌های مغناطیسی در منطقه



شکل ۶- گره‌های حاصل از تقاطع خطواره‌های مغناطیسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰.

Fig. 6. Nodes obtained from the intersection of magnetic rulers with a scale of 1: 250,000.



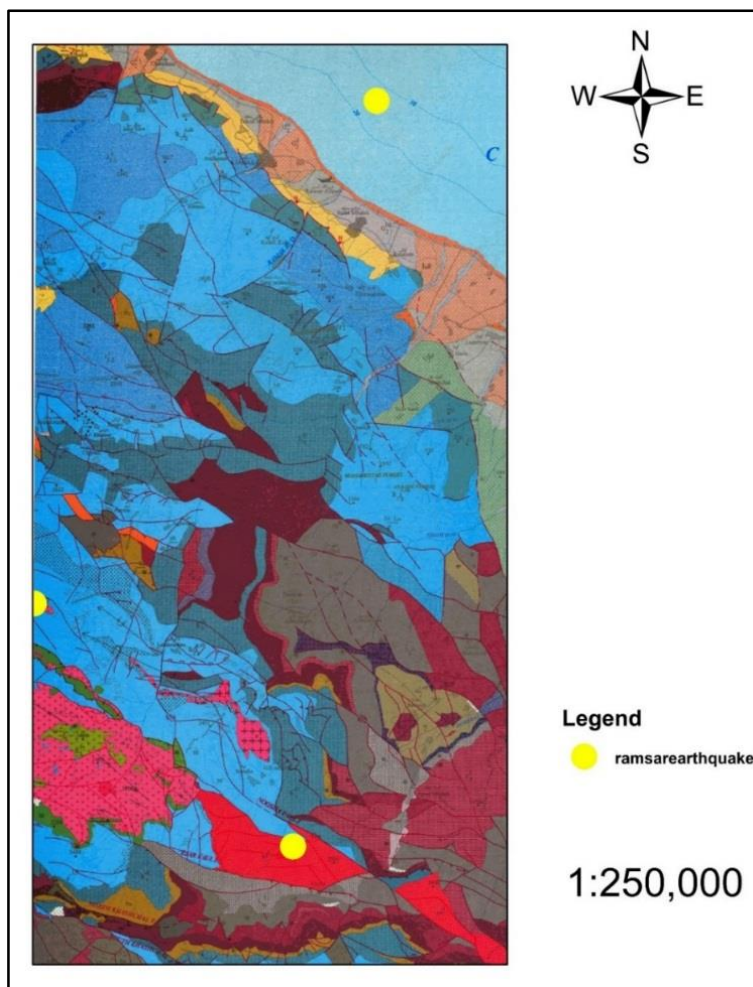
شکل ۷- خطوطاره‌های مغناطیسی تولید شده بر روی نقشه ژئوفیزیک هوایی منطقه همراه با نمودار گلسرخی آن‌ها با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰.

Fig. 7. Magnetic hotspots produced on the aerial geophysical map of the region along with their infrared diagram with a scale of 1: 250,000.

تعیین گسل‌های پنهان منطقه مورد مطالعه

کلی اختلاف در جنس رسوبات زمین شناسی باشند. بنابراین به منظور جدایش و تفکیک این گونه ناهنجاری‌ها علاوه بر مطالعات مغناطیسی، بررسی‌های لرزه‌خیزی در منطقه انجام شد. چنانچه گسلش در منطقه‌ای روی داده باشد که باعث جابه‌جایی لایه‌های عمیق زمین شده باشد می‌بایست دستگاه‌های لرزه‌نگاری موقعیت شکستگی را در محدوده مورد مطالعه ثبت کرده و آن را به عنوان کانون زمین‌لرزه نمایش داده باشند. به همین دلیل کانون زلزله‌های روی داده در سده اخیر از موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله دریافت و کانون سطحی زمین لرزه‌های منطقه مورد بررسی بر روی نقشه ترسیم شد (شکل ۸).

در این پردازش بر مبنای اختلاف میدان مغناطیسی، لایه‌های زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه بازنگری و راستای مغناطیسی در هر محدوده به صورت خطی مشخص شدند. در واقع پهنه‌های خطی برداشت شده محورهای شکسته شده و یا محدوده‌هایی هستند که از نظر زمین‌شناسی به ویژه رسوب‌شناسی با اطراف خود تفاوت‌های زیادی دارند. این پهنه‌ها می‌توانند به دلیل فشارهای زمین‌ساختی جابه‌جا و یا خرد شده باشند و یا این که به صورت افقی و یا عمودی جابه‌جا شده باشند. در برخی مناطق نیز وجود ناهنجاری‌های مغناطیسی نمی‌تواند صرفاً یک جابه‌جایی را در سطح یا در عمق زمین نشان دهد بلکه می‌تواند یال‌های چین‌های مختلف و یا حرکت گنبدی‌های نمکی و یا به طور



شکل ۸ - لرزه‌های ثبت شده در منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰.

Fig. 8. Earthquakes recorded in the region with a scale of 1: 250,000.

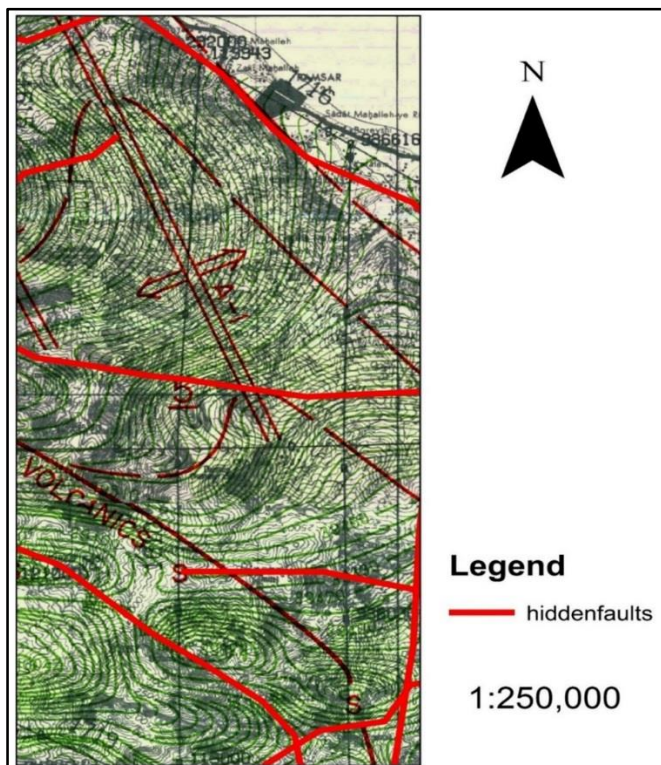
ب- استفاده از خطواره‌های مغناطیسی برای تعیین گسل‌های پنهان: خطواره‌های مغناطیسی نیز همانند کانون‌های زمین لرزه، منطبق بر مکان گسل‌های قدیمی شناخته شده، گسل‌های جدید سطحی و گسل‌های پنهان است. برای تفکیک گسل‌های جدید، گسل‌های پنهان و گسل‌های قدیمی از یکدیگر، نقشه خطواره‌های مغناطیسی و نقشه گسل‌های سطحی در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) قرار داده شد و فیلتر هم‌پوشانی برای آن‌ها صورت گرفت. خطواره‌ها یا پهنه‌های خطی که در هر دو نقشه مشترک بودند در واقع نشان دهنده موقعیت گسل‌های قدیمی شناخته شده و گسل‌های جدید سطحی هستند (شکل ۱۰). بقیه خطواره‌ها نشان دهنده موقعیت گسل‌های پنهان می‌باشند (شکل ۱۱). در منطقه مورد مطالعه شش گسل شناسایی شدند. از این میان به دلیل انطباق محل‌گیری یکی از گسل‌های پنهان با مرکز سطحی زمین‌لرزه که در شکل ۸ به آن اشاره شده است، یک گسل به عنوان گسل لرزه‌خیز و پنج گسل دیگر به عنوان گسل پنهان معرفی شدند. راستای عمومی گسل‌های شناسایی شده به شرح جدول ۱ می‌باشد. در نهایت انطباق گسل‌های پنهان شناسایی شده با مورفوتکتونیک رودخانه-

کانون زلزله‌های روی داده در سده اخیر و موقعیت آن‌ها با پهنه‌های خطی شناسایی شده تطبیق داده شدند. انطباق محل کانون زمین لرزه-های ثبت شده با پهنه‌های خطی حاکی از آن است که پهنه خطی شناسایی شده در واقع یک گسل لرزه‌زا است. اگر این گسل لرزه‌زا به وسیله رسوبات آبرفتی و یا رودخانه‌ای پوشیده شده باشند گسل پنهان خواهد بود.

برای شناسایی گسل‌های پنهان منطقه از دو روش گره‌های تنش مغناطیسی و خطواره‌های مغناطیسی استفاده شد:

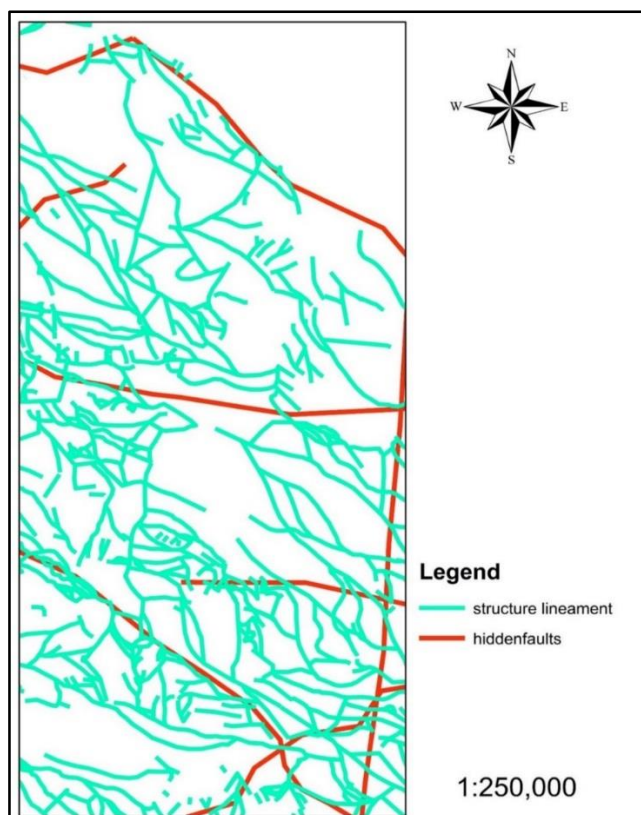
الف- استفاده از گره‌های تنش مغناطیسی برای تعیین گسل‌های پنهان: با توجه به این که دستگاه‌های لرزه‌نگاری در منطقه مورد مطالعه قدمت زیادی ندارند، بسیاری از زمین لرزه‌های محلی روی داده در سال‌های اخیر ثبت نشده است، لذا امکان شناسایی همه گسل‌ها و تعیین وضعیت لرزه‌خیزی آن‌ها فراهم نشد. بسیاری از پهنه‌های خطی که در سطح زمین رخنمون نداشتند با استفاده از موقعیت گره‌های تنش مغناطیسی شناسایی شدند. از آن جا که این گره‌ها اغلب در راستای شکستگی‌های زیر سطحی روی می‌دهند، از اتصال آن‌ها، راستا و امتداد گسل‌های پنهان شده تعیین شد (شکل ۹).

ها، تاقدیس‌ها، ناودیس‌ها و لرزه‌های ثبت شده در منطقه مورد مطالعه در شکل ۱۲ نمایش داده شده است.



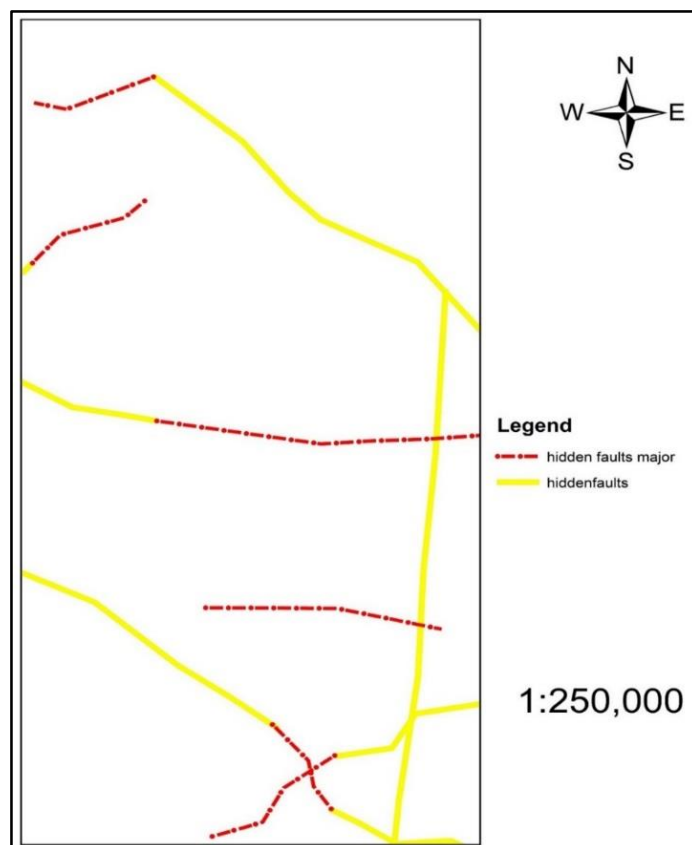
شکل ۹- گسل‌های شناسایی شده بر روی نقشه ژئوفیزیک هوایی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰.

Fig. 9. Faults identified on the aerial geophysical map of the region with a scale of 1: 250,000.



شکل ۱۰- انطباق گسل‌های جدا شده با استفاده از داده‌های مغناطیس هوایی و گسل‌های آشکار منطقه در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰۰.

Fig. 10. Adaptation of isolated faults using aerial magnetic data and obvious faults in the scale 1: 20000.



شکل ۱۱- گسل‌های پنهان شناسایی شده اصلی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰.

Fig. 11. The main hidden faults identified on a scale of 1: 250,000.

نتایج

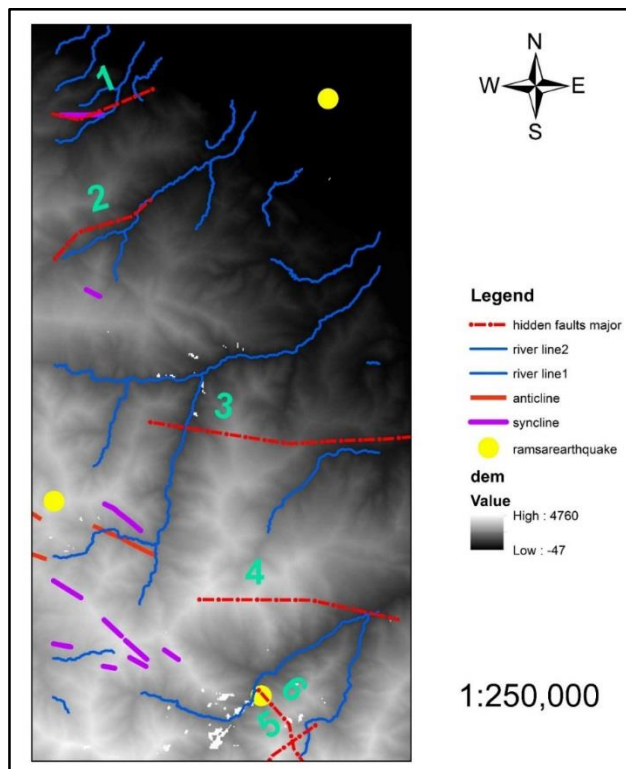
توریستی کشور می‌باشد اما تاکنون مطالعات لرزه زمین‌ساختی در آن به خوبی انجام نشده است. به همین علت هدف اصلی این پژوهش ضرورت بر انجام مطالعات لرزه زمین‌ساختی و به کارگیری آن در توسعه عمرانی شهرستان می‌باشد. زیرا گسل‌ها نشانگر نواحی فعال زمین‌ساختی هستند و مطالعه آن‌ها در مواردی مانند بررسی لرزه‌خیزی در ارتباط با طرح‌های شهرسازی و عمرانی، بررسی پتانسیل‌های معدنی در ارتباط با کانی‌زایی‌های مرتبط با شکستگی‌ها و نواحی گسل، شناخت دقیق روندهای زمین‌ساختی و ... اهمیت دارد.

در فرآیند استخراج خطواره‌ها از تصاویر ماهواره‌ای، روش‌های تمام اتوماتیک نسبت به روش‌های بصری و نیمه اتوماتیک، علاوه بر صرفه‌جویی در وقت و هزینه، دقت را نیز افزایش می‌دهند. تطابق خطواره‌های استخراجی از الگوریتم با گسل‌های سطحی، صحت روند کار را نشان می‌دهد. البته باید در نظر داشت که همه گسل‌ها در تصاویر ماهواره‌ای قابل شناسایی نیستند و در استنباط تجربی و زمین‌شناسی نیز همواره خطاهایی وجود دارد. با توجه به این که شهرستان رامسر جزء مناطق

جدول ۱- اطلاعات مربوط به گسل‌های پنهان شناسایی شده.

Table 1. Information about hidden faults identified.

Fault name	Along (Bering)	Length (KM)	Fault type
L1	E50N	7	Hidden
L2	E45N	8	Hidden
L3	E85N	12	Hidden
L4	W84N	14	Hidden
L5	E37N	9	Hidden
L6	W33N	7	Seismic



شکل ۱۲- انطباق گسل‌های پنهان شناسایی شده با مورفوتکتونیک رودخانه‌ها، تاق‌دیس‌ها، ناودیس‌ها و لرزه‌های ثبت شده در منطقه مورد مطالعه.
 Fig. 12. Adaptation of hidden faults identified by river morphotectonics, anticlines, studs and earthquakes recorded in the study area.

پژوهش‌های تحلیل خطر زمین‌لرزه کافی نیست و حتما باید از داده‌های ژئوفیزیک به منظور تکمیل موقعیت گسل‌های هر منطقه بهره‌برداری کرد.

برای داشتن دقت بالاتر و شناسایی بهتر گسل‌ها و خطواره‌ها پیشنهاد می‌شود که از روش‌های دقیق‌تری همچون روش‌های مغناطیس‌سنجی و گرانی‌سنجی نیز استفاده شود. برای تشخیص ارتباط بین لرزه‌ها و گسل‌های پنهان شناسایی شده پیشنهاد می‌شود که سازوکار کانونی زمین لرزه‌ها بررسی شود. با توجه به راستای گسل‌های پنهان شناسایی شده پیشنهاد می‌شود در صورت اجرای پروژه‌های عمرانی که منطبق بر امتداد پهنه‌های یاد شده باشند، حداکثر دقت لازم در اعمال ضریب اطمینان تحلیل خطر زمین لرزه و گسلش در نظر گرفته شود.

کشور و آقای دکتر محمد خلیج از همکاران دانشگاه پیام نور که نهایت همکاری را در تفسیر داده‌ها داشته‌اند صمیمانه قدردانی می‌شود.

نتایج به دست آمده از این پژوهش به شرح زیر می‌باشد:

با استفاده از روش فیلترینگ، تصویر ETM^+ منطقه و تعیین مناطق با شدت شکستگی بالا از طریق شاخص فاکتور خطورگی و با تلفیق داده‌های ژئوفیزیک هوایی، شدت میدان مغناطیسی کل و نیز خطواره‌های منطقه مطالعه شد. برای شناسایی گسل‌های پنهان منطقه از دو روش گره‌های تنش مغناطیسی و خطواره‌های مغناطیسی استفاده شد که منجر به شناسایی گسل‌های پنهان شده است. هیچ گسل پنهانی تا قبل از این پژوهش گزارش نشده است؛ تعداد ۶ گسل پنهان در این پژوهش شناسایی و معرفی شده است.

با توجه به گره‌های ترسیم شده محل تمرکز تنش در محدوده مورد مطالعه با گسل‌های پنهان شناسایی شده انطباق دارد. ارزیابی اخیر نشان داد که مطالعات صحرایی و نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه شده برای

سپاسگزاری

بدین وسیله از سازمان انرژی اتمی کشور برای در اختیار گذاشتن داده‌های مغناطیس هوایی و سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی

منابع

Allen, M.B., Ghassemi, M.R., Shahrabi, M., Qoreshi, M., 2003. Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran. *Journal of Structural Geology* 25, 659- 672.

- Argialas, D., Mavrantza, O.D., Polytechniou, H., 2004. Comparison of edge detection and hough transform techniques for the extraction of geologic features. In the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 4, 790–795.
- Bachmanov, D.M., Trifonov, V.G., Hessami, K.H.T., Kozhurin, A.I., Ivanova, T. P., Rogozhin, E.A., Hademi, M.C., Jamali, F.H., 2004. Active Faults in the Zagros and Central Iran 6, 125- 133.
- Biswas, R., Sil, J., 2012. An improved canny edge detection algorithm based on type-2 fuzzy sets. *Procedia Technology* 4, 820–824 .
- Fitton, N.C., Cox, S.J.D., 1998. Optimising the application of the hough transform for automatic feature extraction from geoscientific images. *Computers & Geosciences* 24, 933–951.
- Karimpouli, S., 2016. Automatic detection of lineation in satellite images and aerial photos using Radon transform. *Iranian Journal of Mining Engineering* 10, 41–49.
- Korhonen, K., Paanaaen, M., Paulamaki, S., 2004. Interpretation of lineaments from airborne geophysical and topographic data, Geological Survey of Finland.
- Nakini, A., Mohajjal, M., Tadaion, M., 2016. Relationship of lead and zinc mineralization with faulting structure in Dareh-Zanjir mine, southwest of Yazd. *Advanced Applied Geology* 5, 25–33.
- Neawsuparp, K., Charusiri, P., Meyers, J., 2005. New processing of airborne magnetic and electromagnetic data and interpretation for subsurface structures in the Loei area, Northeastern Thailand, *Science Asia*. 31, 283-298.
- Nilforoushan, F., Masson, F., Vernant, P., Vigny, C., Martinod, J., Abbassi, M., Chéry, J., 2003. GPS network monitors the Arabia-Eurasia collision deformation in Iran. *Journal of Geodesy* 77(7), 411-422.
- Rahnama, M., Gloaguen, R., 2014. TecLines: A MATLAB-based toolbox for tectonic lineament analysis from satellite images and DEMs, Part 1: Line segment detection and extraction. *Remote Sensing* 6, 5938–5958 .
- Rangzan, K., Kavooosi, F., Samani, B., Saberi, A., 2017. Investigation of thermal flow anomalies in the salt dome structure of the global, consortium and the sun using landslide satellite OLI and TIRS imaging 8. *Advanced Applied Geology* 7, 35–48.
- 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 .
- Sarp, G., 2005. Lineament analysis from satellite images, North- West of Ankara. *Middle East Technical University* 56, 91-103 .
- Sharma, S., Rani, U. 2012. Ellipse Detection Using Canny Edge Detection Algorithm, 45–47.
- Silva, A.M., Pires, A.C., McCaffery, A., 2003. Application of airborne geophysical data to mineral exploration in the uneven exposed terrains of the Rio DasVelhas green stone belt, *Revista Brasileira de Geociencias* 33, 17-28.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Che'ry, J., Bayer, R., Djamour, Y., Masson, F., Nankali, H., Ritz, J. F., Sedighi, M., Tavakoli, F., 2004. Deciphering oblique shortening of central Alborz in Iran using geodetic data: *Earth and Planetary Science Letters* 223, 177-185.
- Zhang, L., Wu, J., Hao, T., Wang, J., 2006. Automatic lineament extraction from potential-field images using the Radon transform and gradient calculation. *Geophysics* 71, 31-40.