

## Influences of structural parameters on geohazard zonations in Vatan-Farsian area

Hojjat Ollah Safari<sup>1\*</sup>, Farzaneh Barani<sup>1</sup>, Mostafa Raghimi<sup>1</sup>

1- Geology Department, College of Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran

**Keywords:** Vatan-Farsian area, Geohazards, Fault, GIS, Remote sensing

### 1- Introduction

The active Alborz Mountain Range is placed in the central part of Alpine Orogen (Berberian and Yeats, 1999; Allen et al., 2003; Allen et al., 2004; Zanchi et al., 2006; Gorshkov et al., 2009) and thus due to active faulting have numerous geohazards such as landslides, and seismicity (Rezaei et al., 2014; Ghogoghi et al., 2016), especially in Golestan Province which located in Northern limb of Eastern Alborz. One of the hazardous areas in this province is Vatan- Farsian area with eastern longitude 55 12 53.69 to 55 29 28.44 and northern latitude 36 53 59.56 to 37 00 42.13, which is selected as a case study for investigation on the relationship between faulting and geohazards such as faulting, seismicity, landslide, other gravitational movements, and different erosion types.

### 2- Material and Methods

In this research, the principal and minor faults were determined by using remote sensing techniques, consist of filtering and enhancement of image and visual analysis (Lillesand and Keifer, 2006; Sabins and Floyd, 1996; Safari and Gholami, 2011), together carefully field surveys and then, mapped in a GIS environment. Geohazards' location and geographical distribution were defined using image processing together carefully field surveys and entering the GIS environment as data layers. Subsequently, these geohazards were categorized as faulting, seismicity, landslides, slope movements (i.e., sliding, creep, and rock falling), and different types of erosion (i.e., gully, weathering, sloppy and river related types). These data layers are then overlaid on extracted fault layers, and finally, the relationship between them is investigated.

### 3- Results and Discussion

The results of this research show that:

- 1- The maximum density of fractures related to fault zones of Farsian, Susara, and Rahim-abad faults.
- 2- The defined faults in the study area can occur earthquakes with a magnitude  $< 4$ .
- 3- Many known landslides are aligned as a wide strip with an east-west trend between Tilabad and Susara faults. Some rockfalls were taken in reverse Qeshlaq and Vatan fault zones (which caused the study area's uplifting and high slope topography). Much of the sliding occurred on the floor of fault scarps, but the creeps showed a weakened relationship with Susara and Rahim-abad fault zones.
- 4- The weathering was shown in Qeshlaq, Farsian fault zones, and in a fault zone that controlled the Tillabad river trend in the central part of the study area. Sloppy erosions show in fault scarps of main faults. River erosions have no direct relationship with structures, but the river trends were aligned in fault zones.

### 4- Conclusion

The investigation of this research results showed that structures directly caused to take the place of faulting and earthquake geohazards. On the other hand, these structures with establishment weak zones in rocky outcrops and uplifting cause high angle slopes and, consequently, occurrences of gravitational movements and different types of erosions. Thus, the influences on them are indirect.

### References

Allen, M.B., Ghassemi, M.R., Shahrabi, M., Qorashi, M., 2003, Accommodation of Late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, Northern Iran. *Journal of structural Geology* 25, 659-672.

\* Corresponding author: h.safari@gmail.com

DOI: 10.22055/AAG.2021.35594.2178

Received 2020-11-01

Accepted 2021-02-07

- Allen, M., Jackson, J., Walker, R., 2004. Late Cenozoic reorganization of the Arabia- Eurasia collision & comparison of short- term & long- term deformation rates. *Tectonics* 23(2).
- Berberian, M., Yeats, R.S., 1999. Patterns of Historical Earthquake Rupture in Iranian Plateau. *Bulletin of the Seismological Society of America* 89, 120-139.
- Ghojoghi, A., Safari, H., Rezaei, H., 2016. Investigation of fault influence on Landslides of Northern limb of Eastern Alborz using of Remote Sensing and GIS techniques, 34<sup>th</sup> Geoscience Conference, Tehran.
- Gorshkov, A.L, Mokhtari, M., Piotrovskaya, E.P, 2009. The Alborz Region: Identification of Seismogenic Nodes with Morphostructural Zoning & Pattern Recognition. *Spring Journal* 11, 1- 15.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., 2000. *Remote Sensing and Image Interpretation*, 4<sup>th</sup> ed., John Wiley and Sons, New York, USA, pp. 20-180.
- Rezaei, H., 2014. Safety studies and Nargeschal landslide stability analysis, Research Project, Golestan University, 146p.
- Sabins, Floyd, F., 1996. *Remote sensing principle and interpretation*, W.H. Freeman and company, New York, pp. 119-176.
- Safari, H., Gholami, M., 2011. Tectonic Evolution of Southern Limb of Eastern Alborz, Iran. *International Geoinformatics Research Development Journal* 2(1) 1-13.
- Zanchi, A., Berra, F., Matti, M., Ghasemi, M., Sabouri, J., 2006. Inversion tectonics in central Alborz, Iran. *Journal of Structural Geology* 28, 2023-2037.

**HOW TO CITE THIS ARTICLE:**

Safari, H., Barani, F., Raghimi, M., 2021. Influences of structural parameters on geohazard zonations in Vatan-Farsian area. *Adv. Appl. Geol.* 11(3), 629-646.

DOI: 10.22055/AAG.2021.35594.2178

url: [https://aag.scu.ac.ir/article\\_16802.html?lang=en](https://aag.scu.ac.ir/article_16802.html?lang=en)

## بررسی اثر عوامل ساختاری بر پهنه‌بندی مخاطرات زمین‌شناسی در منطقه وطن - فارسین

حجت‌اله صفری\*

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

فرزانه بارانی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

مصطفی رقیمی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۹

\*safari.ho@gmail.com

### چکیده

یکی از پر مخاطرات‌ترین مناطق استان گلستان، منطقه وطن- فارسین می‌باشد که به عنوان مورد مطالعاتی انتخاب شده است. عمده‌ترین مخاطرات شامل: خطر گسلش، خطر زلزله، خطر زمین‌لغزش، خطر انواع حرکات دامنه‌ای (ریزش، خزش و سنگ‌افتان) و خطر انواع فرسایش (خندقی، هوازگی، شیبی و رودخانه‌ای) می‌باشند. با کمک تصاویر ماهواره‌ای و کنترل‌های زمینی، ساختارهای زمین‌شناسی و همچنین محل و گسترش جغرافیایی انواع مخاطرات مشخص شده و سپس این لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS بر روی ساختارها قرار داده شدند و نسبت به ارتباط سنجی مخاطرات با این ساختارها اقدام گردید. نتایج نشان داد که بیشترین چگالی شکستگی‌ها مربوط به زون‌های گسلش در گسل‌های فارسین، سوسرا و رحیم‌آباد می‌باشد. عمده کانون‌های زلزله بر گسل‌های تیل‌آباد، سوسرا و فارسین قرار گرفته‌اند. اکثر زمین‌لغزش‌ها به صورت نواری شرقی- غربی در حد فاصل بین دو گسل تیل‌آباد و سوسرا قرار می‌گیرند. عمده سنگ‌افتان‌ها در زون‌های گسلیده قشلاق و وطن رخ داده‌اند. بیش‌تر ریزش‌ها نیز در زون‌های گسله مشاهده هستند. اما خزش‌ها ارتباط کمی با زون‌های گسله سوسرا و رحیم‌آباد نشان می‌دهند. هوازگی در زون‌های خردشده گسل‌های قشلاق و فارسین قابل مشاهده هستند. فرسایش شیبی نیز در پای صخره‌های گسلیده دیده می‌شوند. فرسایش رودخانه‌ای ارتباط مستقیمی با گسل‌ها ندارند. به این ترتیب این پژوهش نشان می‌دهد که عوامل ساختاری به صورت مستقیم یا غیر مستقیم بر ایجاد و یا تعیین محدوده‌های مخاطرات زمینی تاثیرگذار می‌باشند.

**کلمات کلیدی:** منطقه وطن - فارسین، مخاطرات زمینی، ارتباط سنجی با گسل‌ها، GIS، سنجش از دور

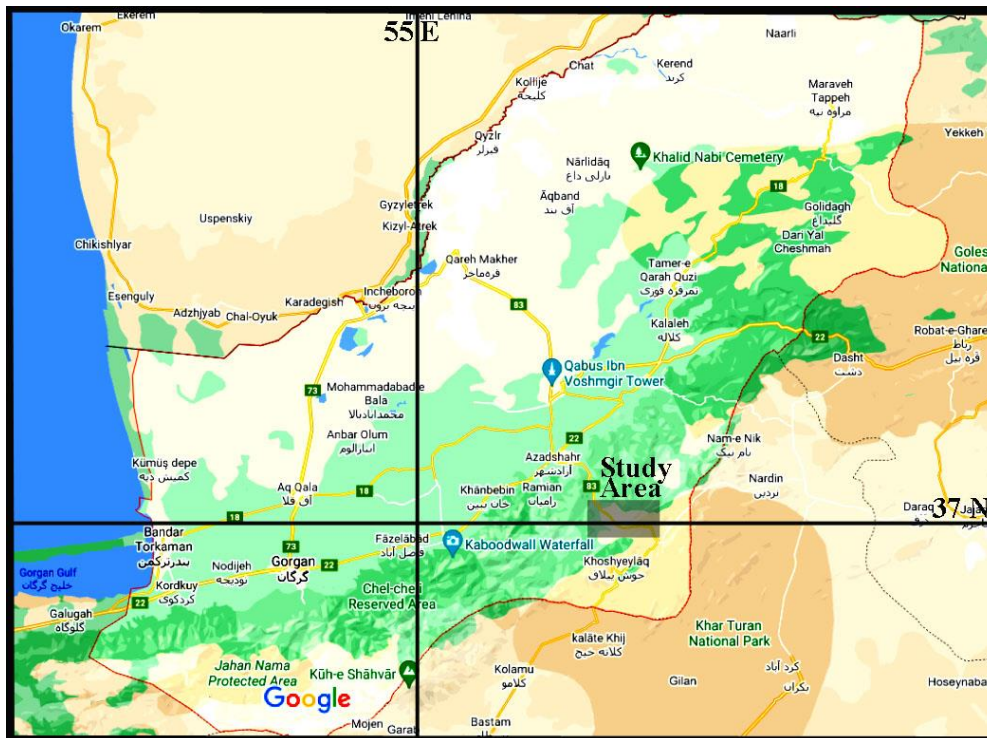
### مقدمه

می‌باشد و در نهایت، ارتباط بین مخاطرات زمین‌شناسی و عوامل ساختاری ایجادکننده و یا تشدید کننده مشخص گردند. افراد بسیاری در ارتباط با بررسی مخاطرات زمین‌شناسی (از جمله حرکات دامنه‌ای) در البرز کار نموده‌اند که متأسفانه کار کمی بر روی این منطقه بسیار خطرناک صورت پذیرفته است. با این حال، رضایی و همکاران (Rezaei et al., 2014) مطالعات ایمن‌سازی و تحلیل پایداری زمین لغزش روستای نرگس چال را انجام دادند. قحقی و همکاران (Ghojoghi et al., 2016) به بررسی اثر گسلش بر زمین‌لغزش‌های یال شمالی البرز شرقی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS پرداختند. برومندی و همکاران (Borumandi et al., 2009) روی استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در استان کار کرده‌اند. مهدویان (Mahdavian, 2013) پهنه‌بندی لرزه‌ای استان گلستان

ایران در کمربند جوان و فعال آلپ - هیمالیا قرار گرفته و مخاطرات طبیعی مربوط به عوامل زمین‌شناسی در آن به وفور اتفاق می‌افتد. استان گلستان رتبه ۶ کشوری را در تعداد وقوع مخاطرات طبیعی دارد. عمده مخاطرات طبیعی زمین‌شناسی بوقوع پیوسته در این استان شامل: زمین‌لغزش، فروریزش، حرکات دامنه‌ای، گسلش، زلزله و فرسایش و سیلاب می‌باشند. یکی از پر مخاطرات‌ترین مناطق در استان گلستان منطقه وطن - فارسین با مختصات جغرافیایی طول  $53^{\circ}12'53.69''$  تا  $28^{\circ}29'55.00''$  درجه شرقی و  $59^{\circ}56'$   $36^{\circ}53'$  تا  $42^{\circ}13'00.00''$  درجه شمالی (در جنوب شرق شهرستان آزادشهر) می‌باشد (شکل ۱) که به عنوان مورد مطالعاتی انتخاب گردید. از مهمترین اهداف این پژوهش، شناسایی نوع مخاطرات زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه و دسته‌بندی آنها

با اطلاعات زمین‌شناسی و ژئودتیک از سوی دیگر تطابق قابل قبولی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند. بنابراین اندازه‌گیری‌های زمین‌شناسی و ژئودتیک می‌توانند ابزاری مفید برای محاسبه خطر زمین‌لرزه در این بخش از فلات ایران باشند.

را انجام داده و به این نتیجه رسید که بخش‌های باختر و شمال باختری جزء نواحی کم خطر لرزه‌ای قرار گرفته‌اند و مناطق جنوب استان جزء مناطق پر خطر لرزه‌ای می‌باشد. طالبیان ( Talebian, 2012) به این نتیجه رسید که در البرز خاوری، نرخ گشتاور لرزه‌ای



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی منطقه مورد مطالعه.

Fig. 1. Geographic setting and available roads in study area.

زمین‌لغزه‌ها معرفی شد و با اطمینان بیشتر از سایر روش‌ها، نشان داد که در حدود ۴۲ درصد از مساحت حوضه از درجه آسیب پذیری بالا و خیلی بالایی برخوردار می‌باشند. شمس‌الدینی و همکاران (Shamseddini et al., 2004) در اصلاح پهنه بندی خطر زمین‌لغزش در روش حائری - سمیعی ( Haeri and Samiei, 1998) ، به این نتیجه رسید که استفاده از عامل کاربری اراضی در معادلات این روش می‌تواند بجای عامل طول گسل و آبراهه و راه از عوامل فاصله از گسل، راه و آبراهه استفاده گردد.

#### جایگاه زمین‌ساختی و زمین‌شناسی منطقه

بر اساس تقسیم‌بندی زمین‌ساختی ایران، محدوده مورد نظر در بخش شرقی البرز قرار گرفته است (شکل ۲). رشته کوه‌های البرز با پهنای حدود ۱۰۰ کیلومتر و طولی حدود ۹۰۰ کیلومتر از قفقاز کوچک در غرب تا کپه داغ در شرق گسترش دارند ( Berberian and Yeats, 1999; Gorshkov et al., 2009; Safari and Gholami, 2011) و بخشی از رشته کوه‌های آلپ - هیمالیا در آسیای غربی هستند (Shahpasandzade, 2004) که شکل-

در سایر نقاط ایران نیز افراد بسیاری در زمینه مخاطرات کار نموده‌اند که مهمترین آنها عبارتند از: فرهادی‌نژاد و همکاران (Farhadinejad et al., 2011) ضمن بررسی لغزش‌های حوضه کشوری نوزیان، برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها از روش‌های مورا- وارسون و نیلسن اصلاح شده (Nilsen et al., 1979) استفاده نمود. بدین منظور ضمن بازدیدهای صحرایی و استفاده از نقشه‌ها و اطلاعات مختلف و پس از تلفیق این اطلاعات نقشه زمین‌لغزش حوضه تهیه شده است. همچنین، جباری و میرنظری ( Jabbari and Mirnuzari, 2007) در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز پشت تنگ (شهرستان سرپل ذهاب) از شش عامل لیتولوژی، شیب، بارش، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و ارتفاع استفاده نموده و آنها را همپوشانی داد و از طریق چهار روش تراکم سطح، وزن متغیرها، تحلیل سلسله مراتبی و ارزش اطلاعاتی نقشه‌های پهنه‌بندی زمین لغزش حوضه آبریز پشت تهیه نمود. سرانجام با استفاده از شاخص زمین‌لغزش، روش تراکم سطح به عنوان مناسب‌ترین شیوه برای پیش‌بینی پراکندگی مکانی وقوع

- سازند روته با ۲۳۰ متر ضخامت شامل سنگ آهک‌های لایه‌ای، خاکستری با تناوب‌هایی از لایه‌های نازک مارنی به سن پرمین میانی.

- سازند نسن با ضخامت ۲۳۰ متر شامل ماسه‌سنگ و سنگ آهک سیاه رنگ مارنی - شیلی ریزدانه در پایین و شیل‌های مارنی سیاه‌رنگ و سنگ آهک‌های گرهک‌دار در بالا به سن پرمین بالایی.

- سازند الیکا با ضخامت ۲۹۵ متر شامل ردیف‌های کربناتی آهکی - دولومیتی با سن تریاس پایینی تا میانی.

- سازند شمشک با ضخامت ۱۲۰۰ متر شامل تناوب شیل، شیل ذغال‌دار و ذغال سنگ و ماسه سنگ به تریاس بالایی - ژوراسیک پایینی.

- سازند دلیچای با ضخامت ۱۰۷ متر شامل آهک مارنی تا ماسه‌ای نازک‌لایه به رنگ سبز خاکستری به سن ژوراسیک میانی.

- سازند لار با ضخامت حدود ۳۰۰ متر شامل آهک‌های ضخیم لایه تا توده‌ای به سن ژوراسیک فوقانی.

- کنگلومرایی با ضخامت‌های مختلف به سن پلیوسن تا پلیو- پلیستوسن.

مهمترین رسوبات کواترنری در منطقه عبارتند از: تراس‌های آبرفتی قدیمی که شامل مجموعه‌ای از کنگلومرا همراه با افق‌هایی از سنگریزه هستند که با جورشدگی ضعیف و گردشگی خوب و سیمان متوسط تا ضعیف دیده می‌شوند و به شکل تراسهایی در ارتفاعات واقع شده‌اند. مخروط‌افکنه‌های جوان که ترکیبی از اجزای ماسه‌سنگی، شیلی و سیلتی فاقد ساخت رسوبی هستند و میزان جورشدگی و گردشگی این رسوبات کم تا متوسط و میزان نفوذ-پذیری این رسوبات زیاد می‌باشد. رسوبات رودخانه‌ای شامل مجموعه‌ای از آبرفت‌ها و قلوه‌های آبرفتی بوده که در سراسر طول کانال‌های اصلی، آبراه‌ها و رودخانه‌ها رویت می‌شوند.

گیری آن در اثر برخورد گندوانا - اوراسیا در طی تریاس پسین بوده است (Zanchi et al., 2006; Allen et al., 2003; Allen et al., 2004). این رشته کوه از شمال به زمین درز تئیس کهن (حاصل برخورد سنگ‌کره قاره‌ای البرز با سنگ‌کره توران) و از جنوب با یک سری گسل نظیر: گسل‌های گرمسار، سمنان، شمال دامغان و عطاری شناخته می‌شود این مسئله موجب شده گذر از پهنه ایران مرکزی به پهنه البرز تدریجی باشد.

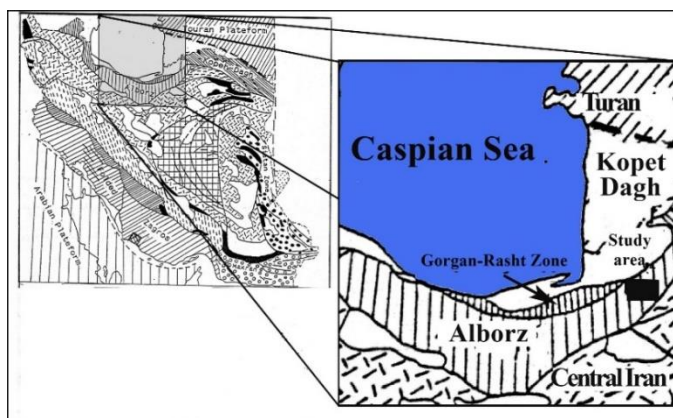
در بخش غربی البرز، ساختارها روند شمال غربی - جنوب شرقی دارند ولی در بخش شرقی، روند ساختارها شمال شرقی - جنوب غربی است که در البرز مرکزی این دو روند ناهمسان به یکدیگر می‌رسند (Allen et al., 2004). گفتنی است که عواملی مانند برخورد صفحه ایران و توران، عملکرد گسل‌های راندگی و سرانجام عملکرد گسل‌های امتداد لغز شمال غربی - جنوب شرقی در بخش البرز غربی و شمال شرقی - جنوب غربی در بخش البرز شرقی، در شکل‌گیری ساختارهای چین‌خورده البرز نقش دارند (Allen et al., 2003). به همین دلیل باید ادعان داشت که در منطقه مورد مطالعه مهمترین گسل‌ها، گسل‌هایی با روند شمال شرق - جنوب غربی (N60-75) که دارای مکانیسم حرکتی معکوس با مقداری مولفه امتدادلغز چپ‌بر می‌باشند.

سکانس نسبتاً کامل به سن دونین تا ژوراسیک متشکل از سنگ‌های رسوبی در منطقه نهشته شده‌اند (شکل ۳). این توالی رسوبی از قدیم به جدید شامل موارد زیر می‌باشد:

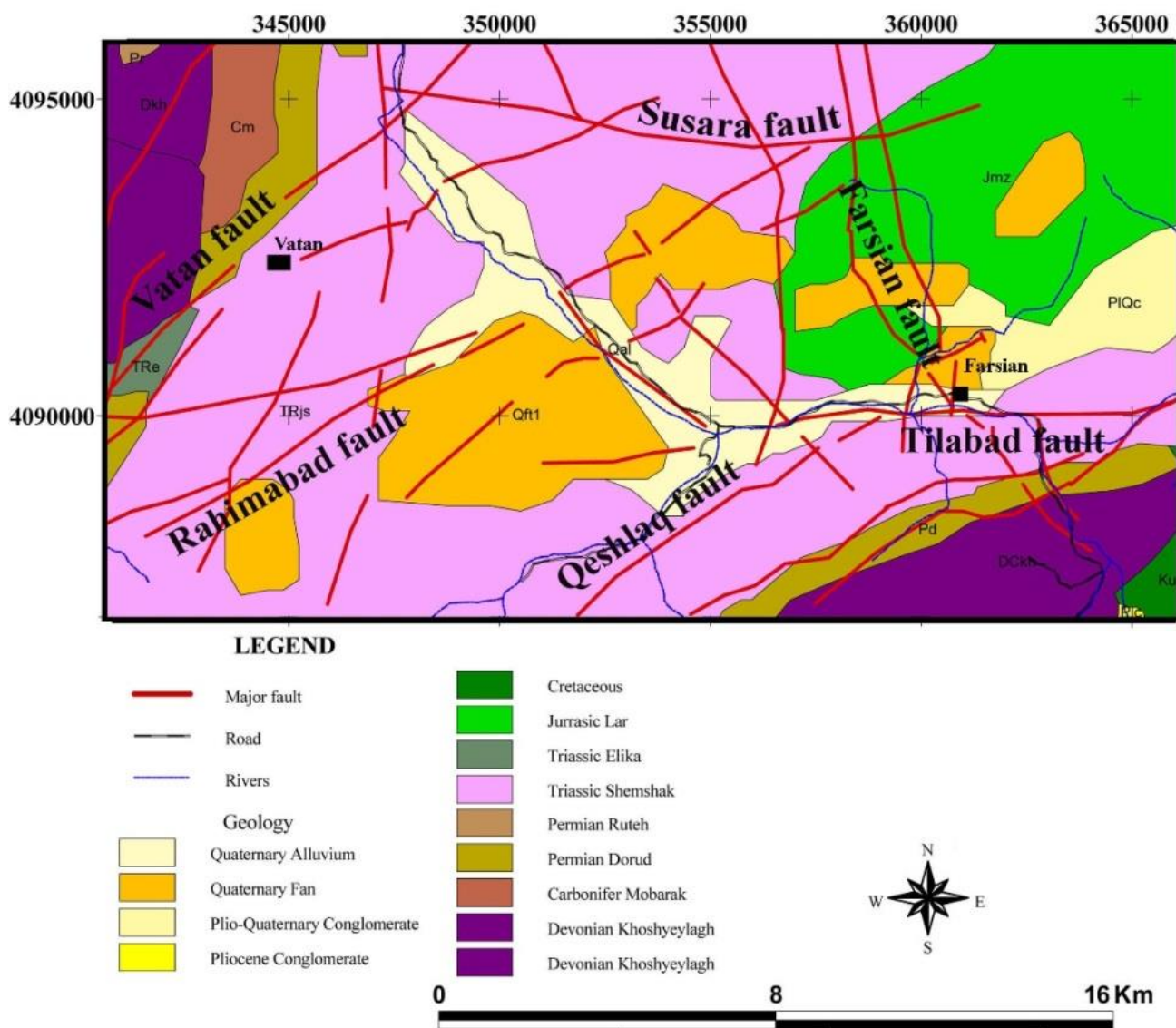
- سازند خوش‌بیلاق با ۱۳۰۰ متر ضخامت و با رخساره سنگی ماسه سنگ، سنگ جوش، سنگ آهک و مارن و شیل با سن دونین (Aghanabati, 2004).

- سازند مبارک با ۱۳۰۰ متر ضخامت و با رخساره سنگی ماسه سنگ، سنگ جوش، سنگ آهک و مارن و شیل با سن کربونیفر.

- سازند درود با ۱۵۰ متر ضخامت و با رخساره سنگی مارن رُسی زرد - خاکستری، کنگلومرای ضخیم لایه، سنگ آهک‌های فوزولین‌دار و سیلت سنگ سُرخ به سن پرمین زیرین.



شکل ۲- موقعیت زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه (با تصحیحات از Nogol-e-Sadat, 1988).  
 Fig. 2. Tectonic setting of study area. Modified from Nogol-e-Sadat (1988).

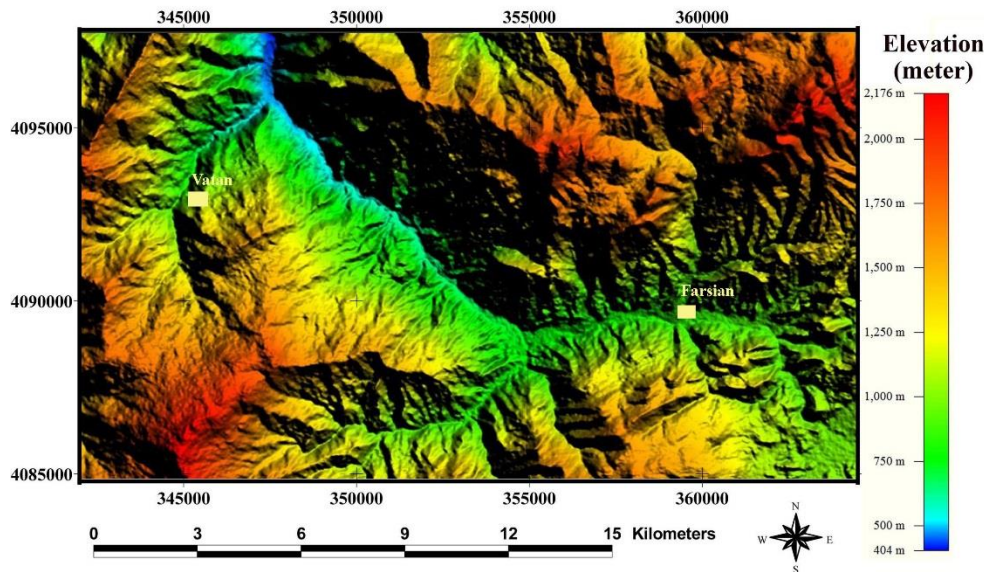


شکل ۳- نقشه زمین شناسی منطقه مورد بررسی.

Fig. 3. Geological map of study area.

رودخانه منطقه مورد مطالعه، رود تیل آباد - خرمارود می باشد که در جهت جنوب به شمال در جریان است هرچند که در بخش مرکزی (حد فاصل غزنوی تا رودبار) مسیر شرق به غرب را با توجه به ساختارهای منطقه (گسل رودبار) انتخاب نموده است. روند کلی مورفولوژی این مناطق تقریباً شمال شرق - جنوب غرب است.

از نظر وضعیت ریخت شناسی، این منطقه در حد فاصل ارتفاعات ۵۰۰ متر (در پایین دست ترین بخش رود در شمال غرب منطقه) تا نزدیک به ۲۰۰۰ متر (قله ای در شرق روستای رحیم آباد) قرار گرفته است (شکل ۴). از نظر پوشش گیاهی، در شمال و غرب بیشتر جنگل متراکم و نیمه انبوه است. بعلاوه نقاط با پوشش تنک و بدون پوشش (کوهستانی و مسکونی) نیز در منطقه وجود دارد. اصلی ترین



شکل ۴- وضعیت ریخت‌شناسی منطقه مورد مطالعه.

Fig. 4. Geomorphological condition of study area.

زمین لغزش، ریزش، خزش، سنگ‌افت گردیده است. مهمترین عوامل موثر بر این حرکات (بخصوص زمین لغزش‌ها) عبارتند از: وزن توده (این نیرو باعث افزایش ناپایداری و نهایتاً می‌تواند منجر به گسیختگی شیب شود)، شیب دامنه (مقدار شیب باعث افزایش میزان مولفه نیروی وزن در راستای شیب دامنه و یا سطح لغزش می‌گردد)، تغییرات ساختاری (همان‌طور که بارگذاری روی شیب می‌تواند ایجادکننده ناپایداری باشد، باربرداری نیز می‌تواند در بعضی خاک‌ها و یا سنگ‌ها باعث ناپایداری شود)، شرایط خاک‌شناسی و سنگ‌شناسی (شامل مقاومت برشی خاک و سنگ که می‌تواند برای گسیختگی یا لغزش در امتداد هر صفحه داخلی بروز دهد)، اثر باران و ذوب برف (بارندگی‌ها ضمن نفوذ در داخل توده‌های سنگ و خاک موجب افزایش وزن توده‌ای می‌شود و می‌تواند باعث کاهش متوسط مقاومت برشی شود)، ارتعاش (تنش‌های افزایش یافته دوره‌ای و موقت ناشی از بارگذاری زلزله سبب ناپایداری توده می‌شود)، پوشش گیاهی (ریشه گیاهان باعث افزایش چسبندگی بین ذرات خاک و در نتیجه افزایش پایداری شیب می‌شود) و حرکات گسل‌ها (باعث افزایش زاویه شیب زمین شده و در دراز مدت به ایجاد حرکات دامنه‌ای شده و همچنین با ایجاد درز شکاف و شرایطی برای هوازگی نیز فراهم می‌کنند) می‌باشند. مهمترین انواع این حرکات عبارتند از:

**زمین لغزش:** لرزه‌خیزی فعال، شیب‌های تند دامنه‌ای، رخنمون-های سنگی گسلیده و نرم به‌مراه متوسط بارش بالا شرایطی را فراهم نموده است که در منطقه مورد مطالعه، حرکات ثقلی بزرگ مقیاس از نوع زمین لغزش رخ دهد (شکل ۵).

**ریزش:** افتادن قطعات سنگ در پای دامنه.

#### مخاطرات زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه

از آنجایی که منطقه مورد مطالعه از نظر پدیده‌های زمین‌شناسی (به‌خصوص فعالیت‌های تکتونیکی) فعال است (Ghojoghi et al., 2016)، به همین دلیل احتمال رخداد مخاطرات طبیعی مرتبط با زمین‌شناسی نیز زیاد می‌باشد. مهمترین این مخاطرات عبارتند از: خطر حرکات توده‌ای، گسلش، زمین‌لرزه و فرسایش می‌باشند.

**خطر گسلش:** بواسطه قرارگیری منطقه مورد مطالعه در کمربند فعال کوهزاد البرز، احتمال رخداد گسلش در آن بالا بوده و شاهد آن نیز گسل‌های فراوانی است که در طی این پژوهش شناسایی شده و به نقشه درآمده‌اند (شکل ۵). گسلش فعال علاوه بر حرکات بزرگ مقیاس زمین، سبب رخداد زلزله و سایر مخاطرات زمین‌شناسی خواهد شد (Ghojoghi et al., 2016).

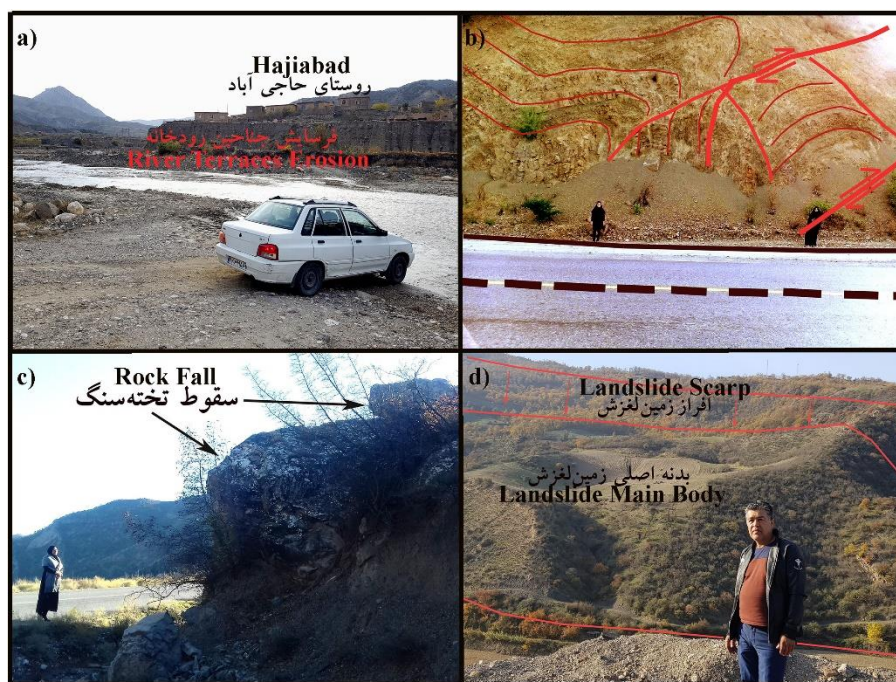
**خطر زلزله:** به آزاد شدن سریع انرژی ناشی از گسیختگی در طول گسل‌ها زلزله می‌گویند. بزرگی زلزله متناسب با مقدار انرژی آزاد شده است. محل آزاد شدن انرژی کانون ژرفی است و محل سطحی آن مرکز سطحی (رومرکز) نام دارد. زلزله‌های بیش از ۶ دارای خسارات جانی و مالی هستند. شایان توجه است که به دلیل قرارگیری منطقه مورد مطالعه در پهنه ساختاری کاملاً فعال البرز شرقی، تعداد رخداد زلزله‌ها بسیار زیاد می‌باشد که در برخی موارد سبب خسارت‌های جانی و مالی شده و یا بعضاً سبب تحریک زمین‌لغزش‌ها شده است.

**خطر حرکات توده‌ای:** در دامنه‌های شیب‌دار منطقه، هر جزئی از بافت زمین که دچار انفصال شده، تحت تاثیر نیروی جاذبه زمین قرار گرفته و به این ترتیب دچار رخداد حرکات دامنه‌ای نظیر:

**خطر فرسایش:** فرسایش در منطقه شامل فرسودگی و از بین رفتگی مداوم سنگ و یا خاک و به معنای انتقال یا حرکت آن از نقطه‌ای به نقطه دیگر در سطح زمین که در طی آن ذرات از بستر خود جدا شده و به کمک یک عامل انتقال‌دهنده (نیروی ثقل، آب و یا باد) به مکان دیگر حمل می‌شوند. فرسایش‌پذیری در منطقه را می‌توان به چهار دسته فرسایش رودخانه‌ای، خندقی، شیبی و هوازگی تقسیم نمود (شکل b۵).

**خزش:** در دامنه‌هایی که پوشش خاک از ماسه است، عمل خزش به صورت دانه دانه در شیب‌های ملایم انجام می‌شود. خزش عمل کندی است که سانتیمتر در قرن رخ می‌هد.

**سقوط سنگی (سنگ‌افتان):** در دامنه‌ها و ترانشه‌ها، سقوط سنگ به سه حالت غلتیدن، پرش و افتان اتفاق می‌افتد. با توجه به این که این حرکات دامنه‌ای فاقد سطح گسیختگی (صفحه‌ی برشی) هستند، به این پدیده سقوط سنگ نام نهاده‌اند (شکل d۵).



شکل ۵- نماهایی از خطرات زمین‌شناسی رخ داده در منطقه مورد مطالعه؛ (a) فرسایش در جناحین رودخانه (در مجاورت روستای حاجی‌آباد)، (b) رخداد گسلش (گسل سوسرا در شمال منطقه)، (c) سقوط تخته‌سنگ‌های بزرگ (روستای وطن) و (d) رخداد زمین‌لغزش (شرق نرگس‌چال).

Fig. 5. The views of occurred geohazards in study area; (a) Erosion in river flanks (adjacent to Hajiabad village), (b) Faulting (Susara fault in North), (c) Great rock falls (Vatan village), and (d) Landslide (East of Nargeschal).

## روش کار

در این پژوهش جهت نمایان ساختن ساختارهای اصلی و فرعی و همچنین لایه‌های مورد نیاز جهت بررسی و پهنه‌بندی زمین-لغزش‌ها و دیگر مخاطرات زمین‌شناسی، از برداشت‌های صحرایی و روش‌های سنجش از دور و GIS استفاده شد و در نهایت خروجی این روش‌ها آماده شدن لایه‌های اطلاعاتی جهت تهیه نقشه‌های مورد نیاز بوده است.

**استخراج واحدهای سنگی منطقه:** جهت تشخیص لیتولوژی‌های مختلف، ابتدا ترکیب رنگی کاذب (از ترکیب باندهای ۱-۴-۷) از تصویر ماهواره‌ای لندست ETM+ تشکیل گردید. با اعمال فیلترهای بالاگذر<sup>۱</sup> بر روی تصویر ماهواره‌ای منطقه (در محیط نرم

افزار ENVI 4.3) تصویر بارسازی گردید (Lillesand and Keifer, 2006) (شکل a۶). در ادامه لایه‌های مختلف با سنگ‌شناسی متفاوت در منطقه به کمک روش نیمه خودکار مشاهده‌ای<sup>۲</sup> (Visional) شناسایی شده و به صورت نقشه چینه‌شناسی مهیا شد. سپس از طریق کنترل‌های میدانی لایه‌های سنگی با لیتولوژی‌های متفاوت از هم تفکیک شده و لایه برداری واحدهای چینه‌ای ایجاد شده و نقشه زمین‌شناسی تهیه گردید (شکل ۳).

**تهیه لایه گسل‌ها:** ابتدا تصاویر ماهواره‌ای ETM+ (مربوط به سال ۲۰۱۴) تهیه و تصویری با رنگ کاذب (از ترکیب باندهای ۱-۴-۷) آماده گردید. پس از آن با اعمال فیلترهای بالاگذر تصویر یاد شده بارسازی گردیده شد (شکل a۶). با اعمال فیلترهای

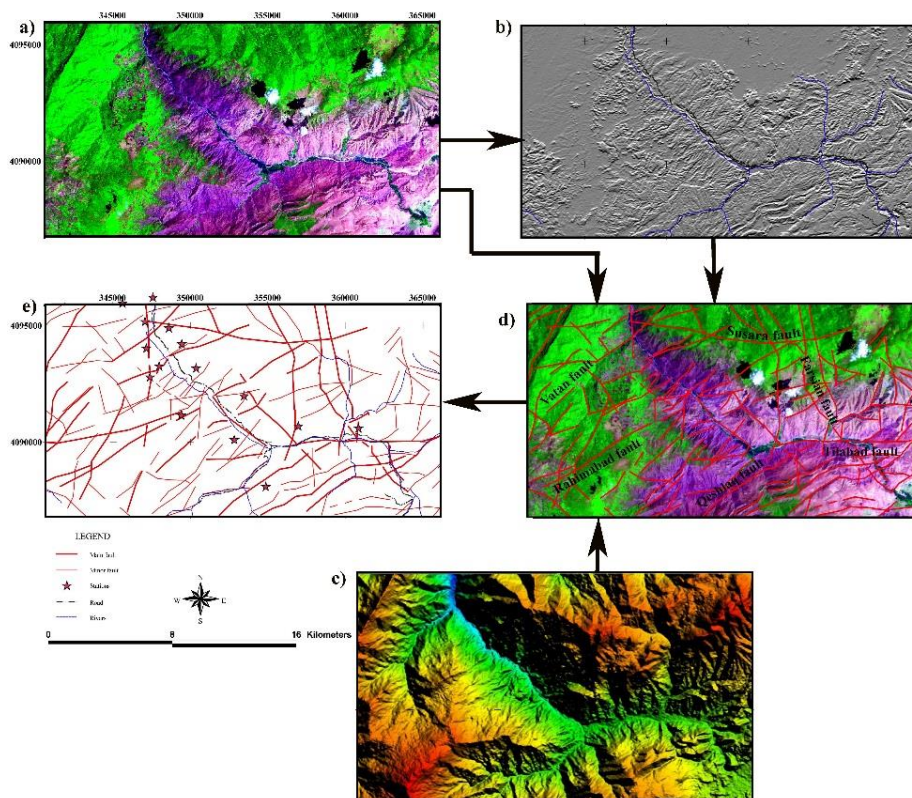
2- Visonal

1- High pass



نرم‌افزاری GIS (با استفاده از نرم افزار Arcview 3.2) اقدام به رقومی نمودن گسل‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل رقومی ارتفاعی گردیده و به این صورت دو لایه برداری مربوط به گسله‌های اصلی و فرعی در این محیط تهیه شد. همچنین با انجام پیمایش‌های صحرایی مهمترین خصوصیات گسل‌ها (شامل طول، عرض، مکانیسم و عملکرد گسل) برداشت گردید (شکل ۸) و نمودار گل‌سرخ‌ی شکستگی‌ها برای ایستگاه‌های مختلف ترسیم شده (شکل ۷). در پایان، با روی هم قرار دادن لایه‌های مختلف برداری، نقشه ساختاری منطقه و محیط پیرامون آن تهیه شد (شکل ۷).

Convolution/Directional در جهات ۴۵، ۹۰، ۱۳۵، ۱۸۰ درجه بر روی تصویر بارزسازی شده (شکل a۶) در محیط نرم افزار ENVI 4.3 خطواره‌ها (شکستگی‌ها) شناسایی و استخراج گردیدند (Sabins and Floyd, 1996). جهت درک بهتر ساختارهای خطی از مدل رقومی منطقه نیز استفاده شد (شکل c۶). این گونه عوارض خطی (شامل گسل‌ها و سایر شکستگی‌ها) موجود در منطقه مورد مطالعه در قالب خطواره شناسایی شدند (شکل d۶). پس از آن از طریق کنترل‌های میدانی (اندازه‌گیری‌های صحرایی در حداقل ۱۵ ایستگاه) گسله‌های اصلی و فرعی مورد شناسایی و بررسی قرار گرفتند (شکل e۶). آنگاه به کمک محیط



شکل ۶- روند شناسایی گسل‌ها و به نقشه درآوردن آنها؛ (a) ایجاد ترکیب رنگی ۷۴۱ اصلاح و بارزسازی شده، (b) اعمال فیلتر جهت‌دار بر روی تصویر (باند R)، (c) تهیه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه و کنترل محل خطواره‌ها بر روی آن، (d) استخراج خطواره‌ها و ترسیم مستقیم آنها بر روی تصویر ماهواره‌ای و (e) قطعی نمودن گسل‌ها توسط پیمایش خطواره‌های استخراج شده و کلاس‌بندی آنها به دو رده اصلی و فرعی.

Fig. 6. The procedure of recognition and mapping of faults; (a) The establishment of enhanced and corrected band composition 741, (b) Applying of directional filter on R-band of image, (c) Preparation of digital elevation model (DEM) for area and controls of lineaments, (d) Extraction of lineaments and drawn on image, and (e) The finalized faults using field surveys and categorized into main and minor faults.

در جدول همراه شبکه مورد نظر ثبت شد. در پایان بر اساس جدول همراه شبکه ترسیمی، سطوح هم‌پتانسیل ترسیم شده و این خروجی به عنوان لایه (نقشه) تراکم شکستگی‌ها محسوب گردید. **تهیه لایه وضعیت لرزه‌خیزی در منطقه:** مشخصاتی نظیر مختصات جغرافیایی، زمان رخداد، بزرگای زلزله و عمق زلزله از کاتالوگ‌های موسسات معتبری مانند: موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (IGTU, 2016)، موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و

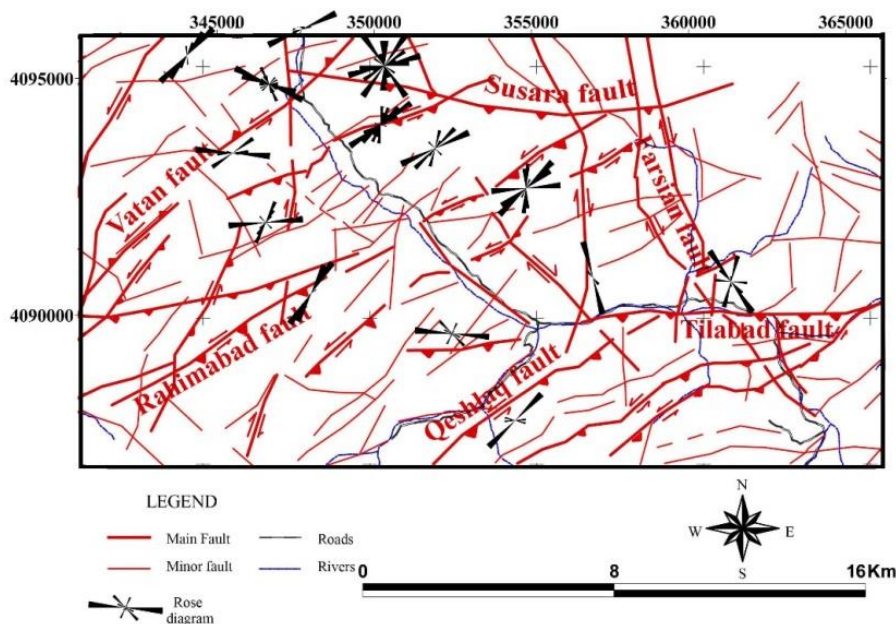
**تهیه لایه تراکم شکستگی‌ها:** برای تهیه لایه تراکم (چگالی) شکستگی‌ها در منطقه مورد مطالعه، ابتدا شبکه‌ای ترسیم گردید که سلول‌هایی با ابعاد  $1000 \times 1000$  متر را دارا بود (safari et al, 2011). پس از آن نقطه مرکزی هر سلول در مرکز آن ترسیم گردید (شکل ۹) و مختصات نقطه مرکزی هر پیکسل محاسبه شد. در ادامه در محیط نرم‌افزار Arcview اقدام به اندازه‌گیری و قرائت مجموع طول شکستگی‌های استخراج شده در هر پیکسل نموده و

تهیه لایه فرسایش پذیری: با توجه به اینکه فرسایش رودخانه‌ای اکثراً در قسمت مقعر رود قابل مشاهده می‌باشد و انواع دیگر فرسایش در اطراف زمین‌لغزش‌های بزرگ، زمین‌های سست شیب‌دار و مناطق فرسایش یافته (موجب تشکیل خاک می‌شوند) اتفاق افتاده‌اند؛ فرسایش‌پذیری در منطقه را به چهار دسته فرسایش‌پذیری رودخانه‌ای، فرسایش خندقی، فرسایش شبی و فرسایش هوازدگی تقسیم نموده و براساس مشاهدات صحرایی محدوده محل‌های فرسایش یافته را تعیین و بر روی تصاویر ماهواره مشخص و در نهایت در محیط GIS رقومی نمودیم (شکل ۱۳).

### نتایج بدست آمده

#### گسل‌های اصلی منطقه

منطقه مورد مطالعه به شدت تحت اثر گسلش قرار گرفته است و شبکه پیچیده‌ای از شکستگی‌ها در آن قابل تشخیص است. بر اساس نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه (شکل ۷) می‌توان اذعان نمود که گسل‌های پیمایش شده به دو دسته گسل‌های اصلی و فرعی قابل تقسیم هستند. مهمترین گسل‌های اصلی منطقه مورد مطالعه شامل گسل‌های فارسین، وطن، قشلاق، سوسرا، رحیم‌آباد و تیل‌آباد می‌باشند. خصوصیات هر کدام از این گسل‌ها به شرح ذیل است:



شکل ۷- نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه.

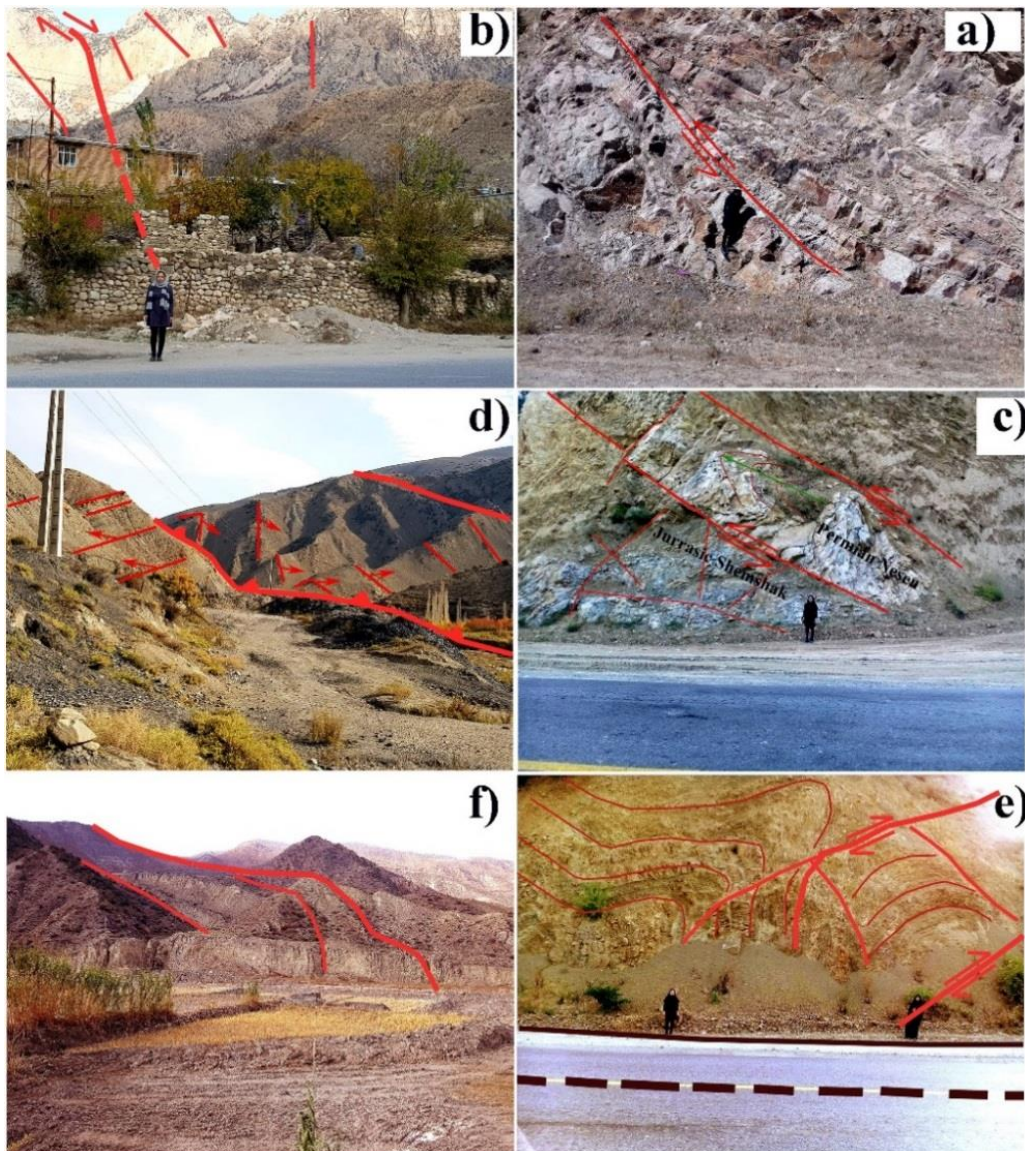
Fig. 7. Structural map of study area.

گسل حدود ۱/۵ کیلومتر است. مکانیسم گسل وطن، معکوس با کمی مولفه امتداد لغز چپ‌بر می‌باشد.  
گسل فارسین: بر طبق شواهد صحرایی این گسل با طول حدود ۱۲/۵ کیلومتر و عرض زون خرد شده حدود ۱ کیلومتری باشد. روند این گسل دچار خمش شده و امتداد آن ۱۷۰-۱۴۰ N می‌باشد به

گسل وطن: بر طبق شواهد صحرایی این گسل با طول حدود ۱۲ کیلومتر و روند  $N45$  (شمال شرق - جنوب غرب) و شبی رو به شمال غرب به صورت مایل در بخش شمالی منطقه (شمال روستای وطن) قرار گرفته است (شکل ۸a). عرض زون خرد شده در این

شمالی روستای تیل‌آباد عبور می‌کند. مکانیسم گسل تیل‌آباد، معکوس می‌باشد. عملکرد این گسل سبب ایجاد ریزچین‌هایی در جناح جنوبی رودخانه تیل‌آباد شده است (شکل ۸).

گونه‌ای که با روند N۱۷۰ در بخش شمالی و N۱۴۰ در بخش جنوبی از حوالی روستای فارسین می‌گذرد. (شکل ۸b). مکانیسم گسل فارسین، راست‌الغز راست‌بر می‌باشد. **گسل تیل‌آباد:** بر طبق شواهد صحرایی این گسل با طول حدود ۹/۴ کیلومتر و روند N۸۵ و شیبی رو به جنوب (شکل ۷) از ضلع



شکل ۸- نمایی از شواهد صحرایی از گسل‌های اصلی در منطقه مورد مطالعه؛ (a) گسل وطن، (b) گسل فارسین، (c) گسل تیل‌آباد، (d) گسل قشلاق، (e) گسل سوسرا و (f) گسل رحیم‌آباد.

Fig. 8. The views of field evidences of main faults in the study area; (a) Vatan fault, (b) Farsian fault, (c) Tilabad fault, (d) Qeshlaq fault (e) Susara fault, and (f) Rahimabad fault.

می‌باشد. عملکرد این گسل سبب تغییر ناگهانی شیب لایه‌ها در دو جناح رودخانه رودبار - قشلاق شده است (شکل ۸d). **گسل سوسرا:** طبق شواهد صحرایی این گسل با طول حدود ۱۳/۵ کیلومتر و روند N۹۰ (شرقی-غربی) و شیبی رو به جنوب در بخش شمالی منطقه قرار گرفته است. مکانیسم گسل سوسرا، معکوس

**گسل قشلاق:** روند گسل قشلاق ۶۰-۸۵ N است و با شیبی رو به سمت جنوب‌شرق در جنوب منطقه قرار گرفته است. عرض زون خرد شده در این گسل حدود ۱/۸ کیلومتر است و طول گسل حدود ۱۱ کیلومتر برآورد می‌شود و سازوکار معکوس با کمی مولفه چپ‌بر

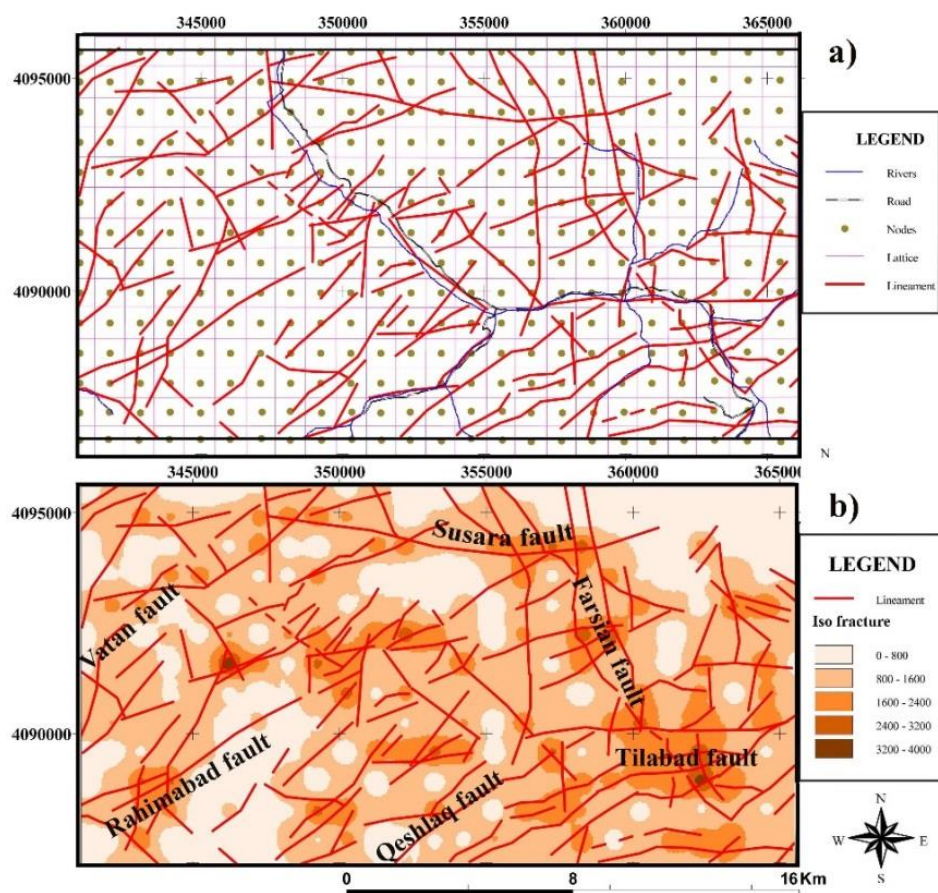
### خطرات زمین شناسی

#### بررسی خطر گسلش

تحلیل نقشه چگالی شکستگی‌ها نشان می‌دهد (شکل a۹) که شکستگی‌ها در بخش‌های شمالی، شرقی و مرکزی دارای چگالی بیش‌تری نسبت به سایر بخش‌های منطقه مورد مطالعه هستند. در شمال شرق و جنوب غرب نبود گسل مشهود است و دلیل آن را می‌توان به وجود بخش شیلی سازند شمشک (باستی کمتر) ارتباط داد. با کنترل گسل‌های منطقه مشخص می‌گردد که بیشترین چگالی شکستگی‌ها مربوط به زون‌های گسلش در گسل‌های فارسین، سوسرا و رحیم‌آباد می‌باشد (شکل b۹).

می‌باشد. عملکرد این گسل در کنار جاده سوسرا - سه راهی وطن را می‌توان در قالب راندگی‌هایی که سبب ایجاد ریز چین‌هایی شده مشاهده نمود (شکل e۸).

**گسل رحیم‌آباد:** طول این گسل حدود ۱۷/۵ کیلومتر بوده و دارای روند N۶۰ (شمال‌شرق-جنوب‌غرب) و با شیبی رو به جنوب می‌باشد. عرض زون خرد شده در این گسل حدود ۱/۶ کیلومتر است. مکانیسم گسل رحیم‌آباد معکوس با کمی مولفه چپ‌بر است. عملکرد این گسل باعث ایجاد راندگی‌هایی در جنوب روستای رحیم‌آباد شده است (شکل f۸).



شکل ۹- مراحل ترسیم نقشه هم‌شکستگی و قرار دادن لایه گسل‌ها بر روی آن؛ (a) ترسیم شبکه‌ای با سلول‌های ۱۰۰۰\*۱۰۰۰ متر و محاسبه طول شکستگی‌ها در آن و (b) نقشه هم‌شکستگی به‌مراه موقعیت گسل‌های اصلی بر روی آن.

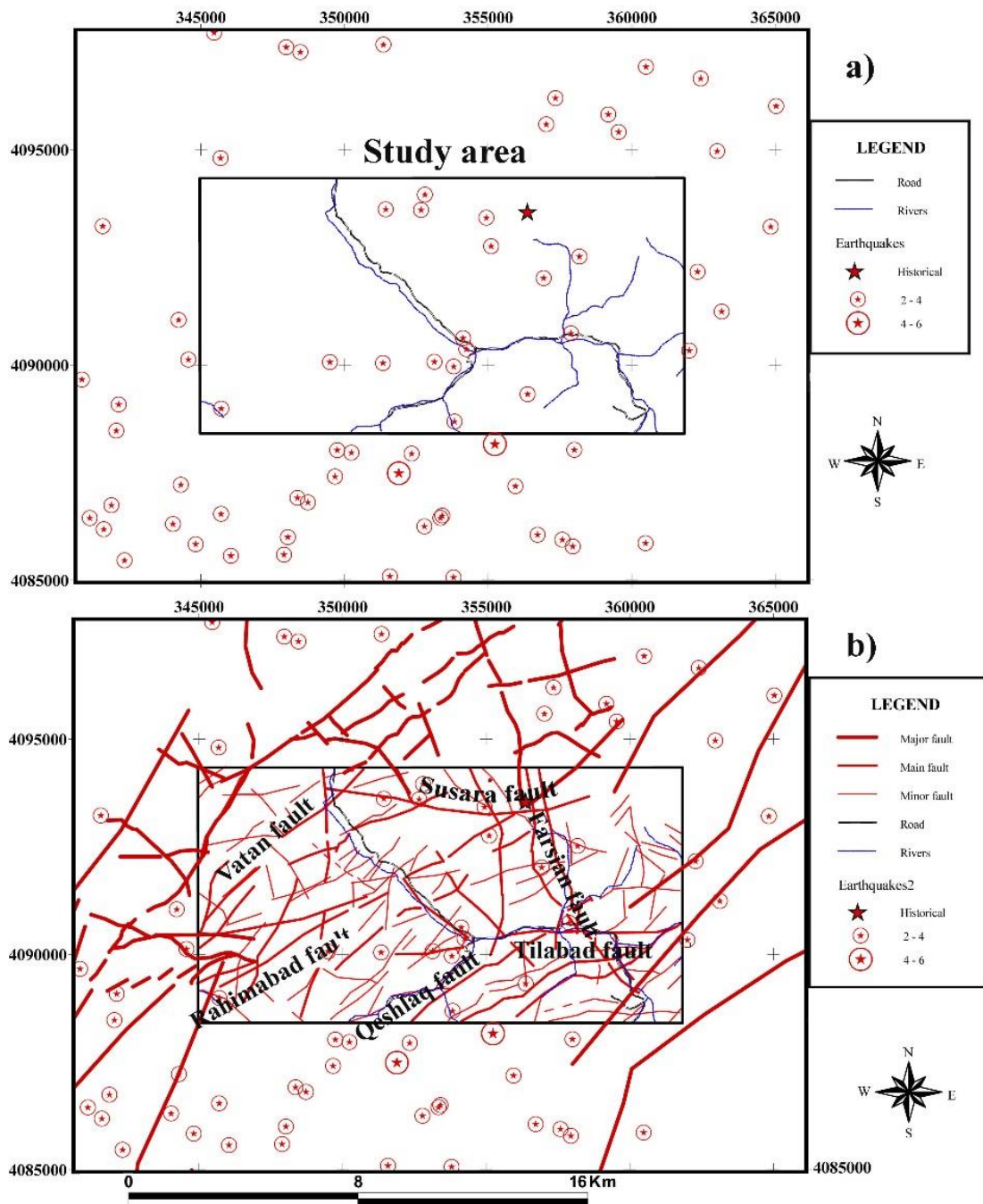
Fig. 9. The stages of drawing of iso-fracture map and overlaying fault layer on it; (a) drawing a network with 1000\*1000 cells and calculating of fracture lengths in them, and (b) The iso-fracture map together main fault locations on it.

باشند. مهمترین زلزله‌های منطقه عبارتند از زلزله ۱۹۶۲/۷/۲۱ شمال روستای فارسین با بزرگای نامشخص و عمق ۳۳ کیلومتر، زلزله ۲۰۰۹/۹/۲۹ با بزرگای  $M=4/3$  و عمق ۳۰/۹ کیلومتری و زلزله مورخ ۲۰۰۱/۸/۲۵ با بزرگای  $M=5$  در عمق ۱۸ کیلومتری می‌باشند (IIIES, 2016). گمان می‌رود خطر لرزه‌خیزی بیشتر به صورت شرقی-غربی و شمال‌شرق-جنوب‌غرب باشد.

### بررسی خطر لرزه‌خیزی در منطقه مورد مطالعه و

#### پیرامون

بررسی وضعیت فضایی کانون زلزله‌های رخ داده نشان می‌دهد (شکل a۱۰) که زلزله‌های منطقه بیشتر در بخش‌های شمالی، جنوبی و شرقی رخ داده‌اند. عمده زلزله‌ها دارای بزرگای ۲-۴ می-



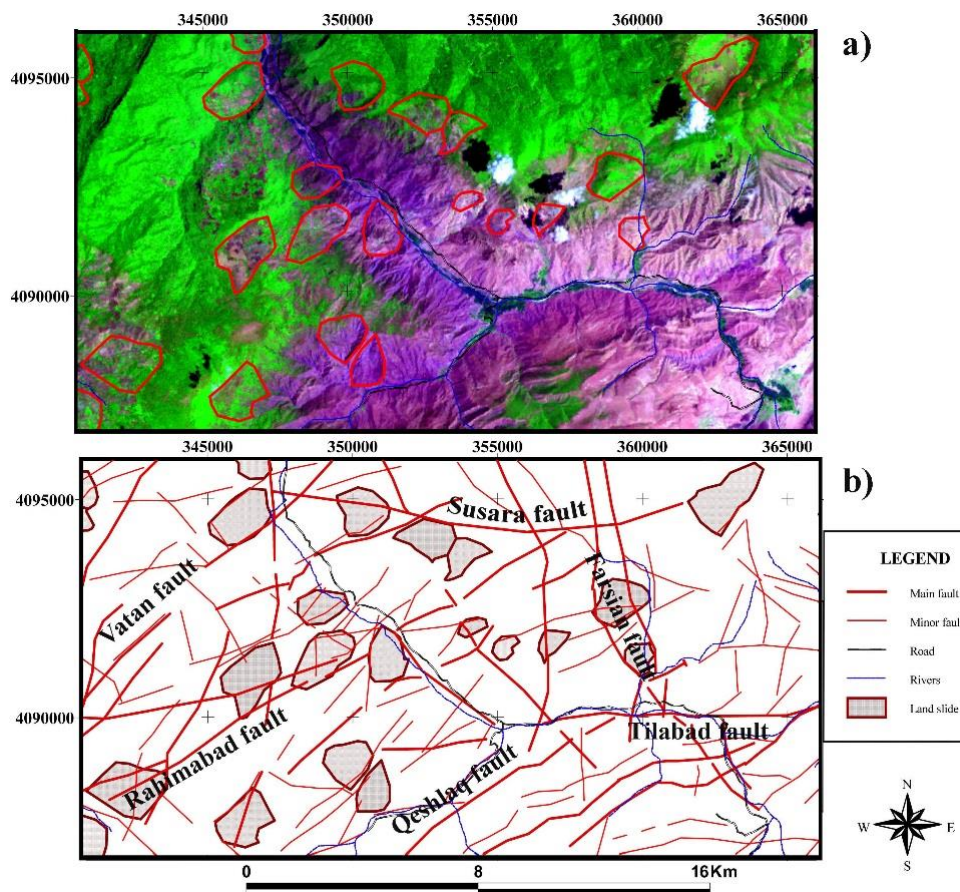
شکل ۱۰- (a) نقشه محل کانون زلزله‌های رخ داده و (b) نقشه لرزه‌زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه و پیرامون.

Fig. 10. (a) The map of occurred earthquakes foci and (b) The Seismotectonic map of study area and adjacent.

مرکزی این نوار در حدفاصل وطن - نرگس چال - رحیم‌آباد در سازند شمشک رخ داده‌اند. به این ترتیب از لحاظ ریخت‌شناسی عمده زمین‌لغزش‌ها در بخش مرکزی (پیرامون دامنه‌های رودخانه تیل‌آباد)، بخش شرقی (دامنه شمالی رودخانه تیل‌آباد) و بخش جنوبی (دامنه شمالی سرشاخه رود قشلاق) رخ داده‌اند.

### بررسی خطر زمین‌لغزش‌های منطقه

بررسی وضعیت فضایی پراکنش زمین‌لغزش‌هایی که قبلاً رخ داده‌اند (شکل ۱۱)، نشان می‌دهد که ظاهراً زمین‌لغزش‌های قدیمی به صورت پراکنده دیده می‌شوند اما با کمی دقت معلوم می‌شود که عمده زمین‌لغزش‌ها به صورت نواری پهن با امتداد شمال شرقی - جنوب غربی گسترش یافته‌اند. بزرگ‌ترین زمین‌لغزش‌ها در بخش



شکل ۱۱- (a) استخراج محل زمین لغزش‌های قدیمی از تصاویر ماهواره‌ای و (b) تهیه نقشه موقعیت زمین لغزش‌های قدیمی به همراه موقعیت گسل‌های اصلی بر روی آن.

Fig. 11. (a) Extraction of old landslides from satellite image and (b) Preparation of landslides locations map together fault places on it.

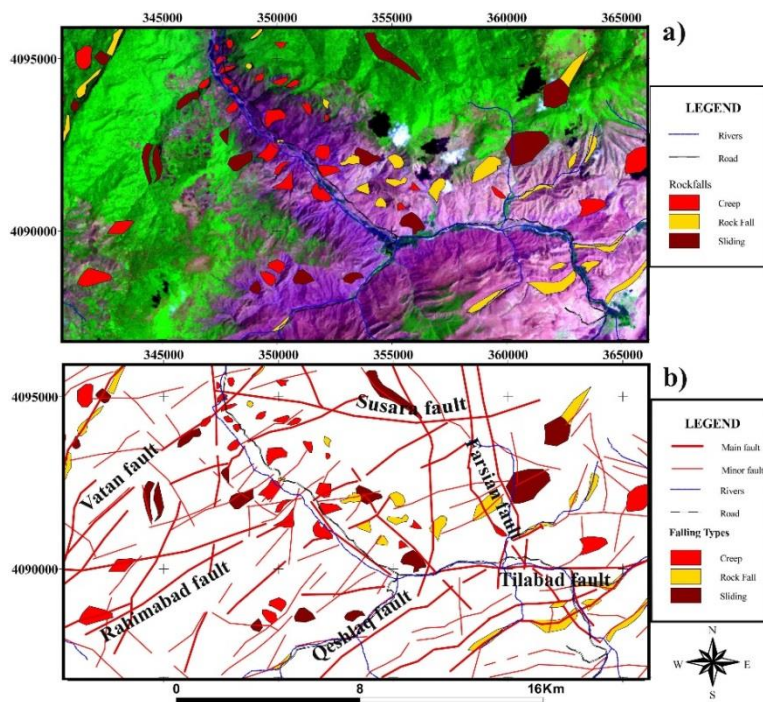
سنگ در پای دامنه‌های سنگی سازندهای لار و الیکا دیده می‌شوند (شکل ۱۲a).

#### بررسی خطر فرسایش در منطقه

انواع فرسایش‌ها در منطقه مورد مطالعه شامل فرسایش رودخانه‌ای، خندقی، شیبی و فرسایش ناشی از هوازدگی (فرسودگی سنگ) هستند. بر طبق شواهد صحرایی، کنترل انواع فرسایش نشان می‌دهد که فرسایش رودخانه‌ای در بخش‌های مقعر رودخانه (که از سازندهای نرمی چون شمشک گذشته است) دیده می‌شوند. فرسایش خندقی به صورت محدود در بخش‌های شیبی و مارنی سازند شمشک در بخش مرکزی مشاهده می‌شوند. فرسایش‌های شیبی تنها در دامنه‌های سنگی مشرف به رودخانه‌های منطقه رخ داده‌اند. فرسایش ناشی از هوازدگی (فرسودگی) عمدتاً در بخش‌های شرقی و جنوب‌شرقی در دو دامنه مشرف به رودخانه تیل‌آباد و در بخش مرکزی تنها در دامنه جنوب‌غربی رودخانه تیل‌آباد قابل مشاهده است (شکل ۱۳a).

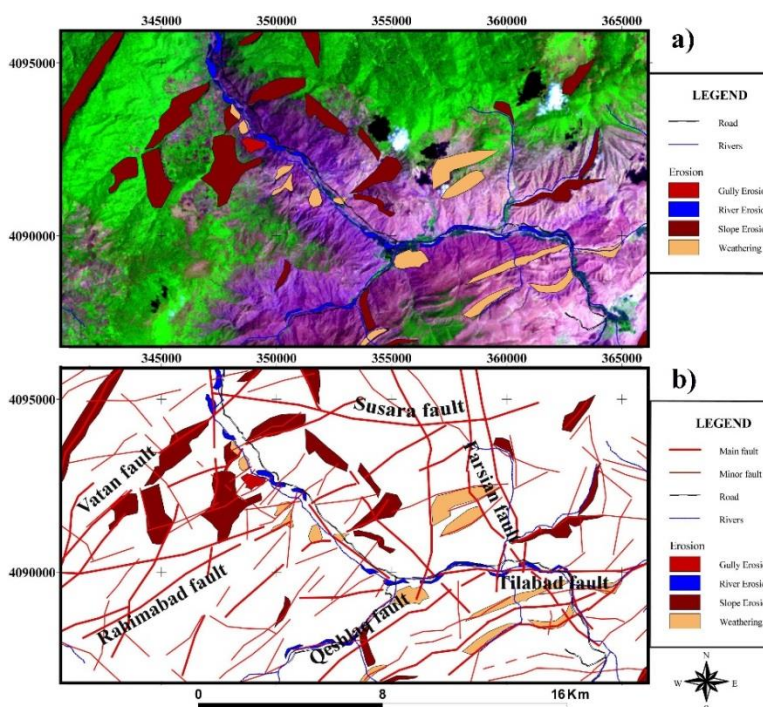
#### بررسی خطر حرکات ثقلی (ریزش‌ها، خزش‌ها و سنگ‌افتان‌ها)

عمده حرکات ثقلی شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه (به جز بخش جنوب‌شرقی) در دامنه‌های مشرف به رودهای تیل‌آباد و قشلاق قرار گرفته‌اند. به گونه‌ای که در بخش مرکزی در هر دو دامنه مشرف به رودخانه تیل‌آباد، در بخش شرقی فقط در دامنه شمالی رودخانه تیل‌آباد و در بخش جنوبی نیز تنها در دامنه شمالی رودخانه قشلاق دیده می‌شوند. حرکات ثقلی (به جز زمین‌لغزش‌ها) در منطقه مورد مطالعه به سه صورت ریزش، خزش و سقوط سنگ دیده می‌شوند. حرکات خزشی عمدتاً در بخش مرکزی (در شیب‌های تند مشرف به رودخانه تیل‌آباد)، سنگ‌افتان‌ها بیش‌تر در سازندهای سخت سنگی شرق - جنوب‌شرق و ریزش‌ها به صورت پراکنده در مناطق با شیب تند دیده می‌شود (شکل ۱۲a). از لحاظ سنگ‌شناسی ریزش‌ها و خزش‌ها اکثراً در سازند شمشک (در دامنه‌های سست) پراکنده‌اند بیش‌تر به چشم می‌خورند و سقوط



شکل ۱۲- (a) استخراج محل حرکات ثقلی (ریزشها، خزشها و سنگافتانها) از تصاویر ماهواره‌ای و (b) تهیه نقشه موقعیت حرکات ثقلی به همراه موقعیت گسل‌های اصلی بر روی آن.

Fig. 12. (a) Extraction of gravitational movements (slides, creeps and rock falls) from satellite image and (b) The preparation of gravitational movements map together main fault locations on it.



شکل ۱۳- (a) استخراج محل فرسایش‌های رخ داده (رودخانه‌ای، خندقی، شیبی و هوازدگی) از تصاویر ماهواره‌ای و (b) تهیه نقشه موقعیت فرسایش‌های رخ داده به همراه موقعیت گسل‌های اصلی بر روی آن.

Fig. 13. (a) Extraction of occurred erosion locations (river, gully, slope and Wweathering) from satellite image and (b) The preparation of occurred erosion places map together main fault locations on it.

## بحث و بررسی

در این بخش سعی شده ارتباط میان ساختارهای موجود در منطقه با یکایک مخاطرات بررسی گردیده و به این ترتیب مشخص شود که ساختارها چه نقشی در بوجود آمدن یا شدت بخشیدن به این مخاطرات داشته‌اند.

### ارتباط لرزه‌خیزی با ساختارها

با قراردادادن کانون زلزله‌ها بر روی ساختارها خواهیم دید که تجمع زلزله‌ها روی گسل‌های اصلی دیده می‌شوند، به گونه‌ای که عمده کانون‌های زلزله بر قسمت غربی گسل تیل‌آباد و غرب و مرکز گسل سوسرا و همین‌طور روی گسل فارسین قرار گرفته‌اند. همچنین تنها زلزله تاریخی در منطقه مورد مطالعه در حوالی محل تقاطع گسل فارسین و سوسرا رخ داده است که با توجه به عدم دقت رومرکز کانونی زلزله‌های تاریخی این بخش چندان قابل استناد نبوده و تنها جهت اثبات وجود زلزله‌های تاریخی در محل قابل اثبات است. شایان توجه است که عمده این زلزله‌ها دارای بزرگای کمتر از ۴ می‌باشند و زلزله‌های بزرگتر از ۴ در بیرون از محدوده مورد مطالعه بر روی ادامه جنوب‌غربی گسل قشلاق قرار گرفته‌اند (شکل ۱۰b). به این ترتیب مشخص می‌گردد که بخش‌هایی از گسل‌های اصلی که از منطقه عبور نموده‌اند؛ دارای پتانسیل ایجاد زلزله‌های کمتر از ۴ می‌باشند که بیش‌تر در فاصله زمانی ۲۰۱۵-۲۰۰۹ فعال بوده‌اند. به این ترتیب مشخص می‌گردد که ساختارهای (گسل‌های) اصلی منطقه سبب لرزه‌خیزی در منطقه بوده و مکان و الگوی آن‌ها را مشخص نموده‌اند.

### ارتباط زمین‌لغزش‌ها با ساختارها

پس از قرار دادن زمین‌لغزش‌ها بر روی ساختارهای منطقه، می‌توان مشاهده کرد که اکثر زمین‌لغزش‌های ثبت شده به صورت نواری شرقی - غربی در حد فاصل بین دو گسل اصلی تیل‌آباد و سوسرا قرار گرفته‌اند (شکل ۱۱b). مرزهای غربی و شرقی رخداد زمین‌لغزش‌ها نیز توسط گسل‌های وطن و فارسین مشخص شده، به گونه‌ای که گسل فارسین مرز شرقی و گسل وطن مرز غرب - شمال‌غربی این رخدادها را تعیین نموده است. بیش‌ترین تمرکز زمین‌لغزش‌ها نیز در بخش مرکزی (بر روی سازند شمشک) قابل مشاهده می‌باشد. شواهد صحرایی نیز این ارتباط ژنتیکی بین زمین‌لغزش‌ها و ساختارها را تایید می‌نماید (شکل ۵c).

### ارتباط ریزش‌ها، خزش‌ها و سنگ‌افتان‌ها با ساختارها

عمده سنگ‌افتان‌ها در زون‌های گسلیده گسل‌های معکوس قشلاق و وطن که سبب برخواستگی رخنمون‌های سنگی شده و شیب‌های تندی را ایجاد کرده‌اند؛ رخ داده‌اند. بیش‌تر ریزش‌ها نیز در زون‌های گسله به خصوص در پای صخره‌های گسلی قابل مشاهده هستند (شکل ۱۲b). اما خزش‌ها ارتباط کمی با زون‌های گسله سوسرا و رحیم‌آباد (به خصوص بخش مرکزی، در دامنه‌های مشرف به رودخانه تیل‌آباد) نشان می‌دهند. به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت

که ساختارها باعث ایجاد شیب‌های تند شده و شیب‌های تند سبب رخداد سنگ‌افتان‌ها و ریزش‌ها شده‌اند.

### ارتباط فرسایش با ساختارها

هوازدگی در زون‌های خردشده گسل‌های قشلاق و فارسین و به مقدار کمی رحیم‌آباد (و حتی گسله‌ای با امتداد N۱۳۵ که مسیر رودخانه را در حدفاصل سهرای قشلاق تا سهرای وطن مشخص نموده) قابل مشاهده هستند. فرسایش نوع شیپی نیز عمدتاً در پای صخره‌های گسلیده قابل مشاهده می‌باشند (شکل ۱۳b). فرسایش رودخانه‌ای ارتباط مستقیمی با گسل‌ها نداشته، ولی مسیر رودخانه‌هایی که این نوع از فرسایش در آن‌ها رخ داده است؛ توسط گسل‌های اصلی رقم زده شده است. فرسایش خندقی بسیار محدود بوده و عمدتاً توسط لیتولوژی (بخش‌های شیلی و مارنی سازند شمشک) کنترل شده و ارتباط معنی‌داری با ساختارها ندارد.

### نتیجه‌گیری

در طی این پژوهش با استفاده از روش‌های سنجش از دور و کنترل‌های صحرایی ساختارها، گسل‌های اصلی و فرعی مشخص گردیدند که با یاری جستن از محیط (GIS) به نقشه در آمدند. در ادامه معلوم شد که عمده‌ترین مخاطرات شامل: خطر گسلش، خطر زلزله، خطر زمین‌لغزش، خطر انواع حرکات دامنه‌ای (ریزش، خزش و سنگ‌افتان) و خطر انواع فرسایش (خندقی، هوازدگی، شیپی و رودخانه‌ای) می‌باشند. با کمک تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و کنترل‌های دقیق زمینی، محل و گسترش جغرافیایی انواع مخاطرات مشخص شده و به صورت لایه‌های اطلاعاتی در محیط (GIS) بر روی ساختارها قرار دادند و نسبت به ارتباطسنجی آن‌ها با این ساختارها اقدام گردید. نتایج نشان داد:

الف- بیش‌ترین چگالی شکستگی‌ها در بخش‌های شمالی، شرقی و مرکزی هستند که مربوط به زون‌های گسلش در گسل‌های فارسین، سوسرا و رحیم‌آباد می‌باشد که در اطراف روستاهای فارسین، رحیم‌آباد و شمال شرق سوسرا دیده می‌شوند.

ب- عمده کانون‌های زلزله بر قسمت غربی گسل تیل‌آباد و غرب و مرکز گسل سوسرا و همین‌طور روی گسل فارسین قرار گرفته‌اند. بخش‌هایی از گسل‌های اصلی که از منطقه عبور نموده‌اند؛ دارای پتانسیل ایجاد زلزله‌های کمتر از ۴ می‌باشند. به این ترتیب مشخص می‌گردد که ساختارهای (گسل‌های) اصلی منطقه سبب لرزه‌خیزی در منطقه بوده و مکان و الگوی آن‌ها را تعیین نموده‌اند.

ج- اکثر زمین‌لغزش‌های ثبت شده به صورت نواری شرقی - غربی در حد فاصل بین گسل‌های اصلی تیل‌آباد (در جنوب)، سوسرا (در شمال)، فارسین (در شرق) و وطن (در غرب - شمال‌غربی) قرار می‌گیرند.

د- عمده سنگ‌افتان‌ها در زون‌های گسلیده گسل‌های معکوس قشلاق و وطن رخ داده‌اند. بیش‌تر ریزش‌ها نیز در زون‌های گسله به خصوص در پای صخره‌های گسلی قابل مشاهده هستند. اما خزش‌ها ارتباط کمی با زون‌های گسله سوسرا و رحیم‌آباد نشان می‌دهند.



رودخانه‌هایی که این نوع از فرسایش در آن‌ها رخ داده است؛ توسط گسل‌های اصلی رقم زده شده است. به این ترتیب این پژوهش نشان می‌دهد که عوامل ساختاری به صورت مستقیم یا غیر مستقیم بر ایجاد و یا تعیین محدوده‌های مخاطرات زمینی تاثیرگذار می‌باشند.

ه- هوازدگی در زون‌های خردشده گسل‌های قشلاق و فارسبان و گسله‌ای با امتداد N۱۳۵ قابل مشاهده هستند. فرسایش نوع شیبی نیز عمدتاً در پای صخره‌های گسلیده دیده می‌شوند. فرسایش رودخانه‌ای ارتباط مستقیمی با گسل‌ها نداشته، ولی مسیر

## منابع

- Aghanabati, S.A., 2004. Geology of Iran, Geological Survey of Iran Publication, p.583.
- Allen, M., Jackson, J., Walker, R., 2004. Late Cenozoic reorganization of the Arabia- Eurasia collision & comparison of short- term & long- term deformation rates. *Tectonics* 23(2).
- Allen, M.B., Ghassemi, M.R., Shahrabi, M., Qorashi, M., 2003. Accommodation of Late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, Northern Iran. *Journal of structural Geology* 25, 659-672.
- Berberian, M., Yeats, R.S., 1999. Patterns of Historical Earthquake Rupture in Iranian Plateau. *Bulletin of the Seismological Society of America* 89, 120-139.
- Borumandi, M., Khamechian, M., Nikudel, M., 2009. Using of AHP in zonation of landslide hazard in Zanjan province, 6<sup>th</sup> Conference on Engineering Geology and Iranian Environment, Tarbiat-e-Modares University, Tehran.
- Farhadinejad, T., Suri, S., Lashkaripour, Gh., Ghafouri, M., 2011. Landslide Hazard Zonation in Keshvari (Noujan) basin on the basis of modified Varson-Nilson method, 6<sup>th</sup> National Congress on Structural Engineering, Semnan University.
- Ghojoghi, A., Safari, H., Rezaei, H., 2016. Investigation of fault influence on Landslides of Northern limb of Eastern Alborz using of Remote Sensing and GIS techniques, 34<sup>th</sup> Geoscience Conference, Tehran.
- Gorshkov, A.L., Mokhtari, M., Piotrovskaya, E.P., 2009. The Alborz Region: Identification of Seismogenic Nodes with Morphostructural Zoning & Pattern Recognition, *Spring Journal* 11, 1- 15.
- Haeri, M., Samiei, A., 1998. The new method of zoning of slope area against the landslides using studies of zoning in Mazandaran Province. *Geosciences* 6, 1-15.
- Institute of Geophysics of Tehran University (IGTU), 2016. Catalogue of Earthquake Data.
- International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), 2016. Catalogue of Earthquake Data.
- Jabbari, A., Mirnazari, J., 2017. Landslid Occurrences Zonation in Posht-Tang basin, Sarpolzahab. *Geographic Researches* 59, 55-67.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., 2000. Remote Sensing and Image Interpretation, 4<sup>th</sup> ed., John Wiley and Sons, New York, USA, pp. 20-180.
- Mahdavian, A., 2013. Seismic Zonation of Golestan province. *Geosciences* 23(89), 165-174.
- Nilsen, T.H., Wright, R.H., Vlasic, T.C., Spangle, W.E. 1979. Relative slope stability and land-use planning in the San Francisco Bay region, California, *Professional Paper* 944(96).
- Nogol-e-Sadat, M.A.A., 1988. Review of tectono- sedimentary zonation in Iran, *International Geology Congress*, Washington, pp. 512.
- Rezaei, H., 2014. Safety studies and Nargeschal landslide stability analysis, research Project, Golestan University, 146p.
- Sabins, Floyd, F., 1996. Remote sensing principle and interpretation, W.H. Freeman and company, New York, 119-176.
- Safari, H., Gholami, M., 2011. Tectonic Evolution of Southern Limb of Eastern Alborz, Iran. *International Geoinformatics Research Development Journal* 2, 1-13.
- Safari, H., Abbaszade, Z., Mollae, S., Raghimi, M., 2011. Structural Controls on Distribution Patterns of Springs in Alborz – Kopet Dagh Boundary, Gorgan Iran. *International Geoinformatics Research and Development Journal* 2, 11-21.
- Shahpasandzade, M., 2004. Seismicity and Seismo-tectonic of Golestan province area, Northeastern of Iran, *International Conference of Bam Earthquake Memorial*, Shahid Bahonar University.
- Talebian, M., 2012. Coparison between Seismic Moment, Geodetic and Geology of Alborz with Kopet-dagh. *Geosciences* 22 (86), 183-192.
- United States of Geological Survey (USGS), 2016. Catalogue of Earthquake Data.

Zanchi, A., Berra, F., Matti, M., Ghasemi, M., Sabouri, J., 2006. Inversion tectonics in central Alborz, Iran. *Journal of Structural Geology* 28, 2023-2037.

