



فصلنامه زمین ساخت

پائیز ۱۴۰۰، سال پنجم، شماره ۱۹

doi 10.22077/JT.2022.4626.1121

بررسی پارامترهای تکتونیک جنبا در جنوب البرز مرکزی

الهام محمدیها^۱، محسن پور کرمانی^{۲*}، علی سلگی^۳، مهرا آرین^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه زمین شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲. استاد، گروه زمین شناسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳. دانشیار، گروه زمین شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۴. استاد، گروه زمین شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

چکیده:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۱

استخراج و آنالیز خطواره‌ها از تصاویر ماهواره‌ای، رهیافت مهمی در مطالعات منطقه‌ای زمین شناسی و تکتونیک است. با توجه به پیشینه لرزه ای و بالابودن فعالیت لرزه ای در منطقه مورد مطالعه و داده های برداشت شده از ایستگاه های لرزه نگاری، نشان از الگوی نامنظم و متداوم لرزه خیزی در منطقه است و عمده زمین لرزه ها نیز کم عمق می باشند. در این پژوهش، جهت استخراج خطواره های گستره مورد پژوهش از تکنیک تحلیل مولفه های اصلی (PCA) استفاده شده است. در کنار بررسی خطواره ها، تراکم خطواره ها، ارتباط خطواره های حاصل از تصویر ماهواره ای و خطواره های مغناطیسی مورد تحلیل قرار گرفت. پس از بررسی خطواره های ناحیه، مشخص گردید که خطواره های L1, L2, L3, L4, L5 فاقد همتا در نقشه مغناطیسی هوایی هستند و لذا یک گسل سطحی می باشند و نیز خطواره های سطحی L1 دارای انطباق مناسبی با گسل داوودیه G27 و خطواره های سطحی L2, L3, L4, L5 دارای انطباق با هیچ کدام از گسل های رخنمون یافته در نقشه زمین شناسی و خطواره مغناطیسی نمی باشند و تأیید گسلی بودن آن ها نیاز به بررسی های صحرائی دارد.

واژه های کلیدی: استخراج خطواره، سنجش از دور، تحلیل مولفه اصلی (PCA)، تراکم خطواره

Investigation of tectonic parameters of Janba in the south of Central Alborz

Elham Mohammadiha¹, Mohsen Purkermani^{2*}, Ali Solgi³, Mehran Arian⁴

1-PhD Candidate, Department of Geology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2- Professor, Department of Geology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3-Associate professor, Department of Geology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran.

4-Professor, Department of Geology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Abstract:

Extraction and analysis of lines from satellite images is an important approach in geological and tectonic regional studies. Due to the seismic background and high seismic activity in the study area and data collected from seismic stations show an irregular and continuous seismic pattern in the region and most earthquakes are shallow. In this research, the principal component analysis (PCA) technique has been used to extract the routes of the study area. In addition to examining the routes, the density of the routes, the relationship between the routes resulting from the satellite image and the magnetic routes were analyzed. After examining the area lines, it was found that lines L1, L2, L3, L4, L5 do not have a counterpart in the aerial magnetic map and therefore are a surface fault. surface lines L2, L3, L4, L5 do not have any compatibility with any of the faults exposed in the geological map and magnetic line and their faulting needs to be investigated. It has a desert.

Keywords: Linear Extraction, Remote Sensing, Principal Component Analysis (PCA), Linear Density

*Email: Mohsen.porkermani@gmail.com

Tel: +982144565994

مقدمه

(2005)، نواحی زهکشی هستند (Hobbs, 1912). بررسی خطواره‌ها، تراکم خطواره‌ها، ارتباط خطواره‌های حاصل از تصویر ماهواره‌ای و خطواره‌های مغناطیسی مورد تحلیل قرار گرفت. در گستره مورد مطالعه تعداد گسل اصلی بالاتر از ۱۰ کیلومتر (۶ خطواره و ۴۹ گسل رقومی شده و ۵ گسل احتمالی داده مغناطیسی) وجود دارد که پس از حذف خطای موقعیت مکانی با سایر لایه‌های اطلاعاتی در مجموع تعداد ۴ گسل احتمالی از خطواره‌های بالاتر از ۱۰ کیلومتر برای گستره مورد مطالعه شناسایی شد.

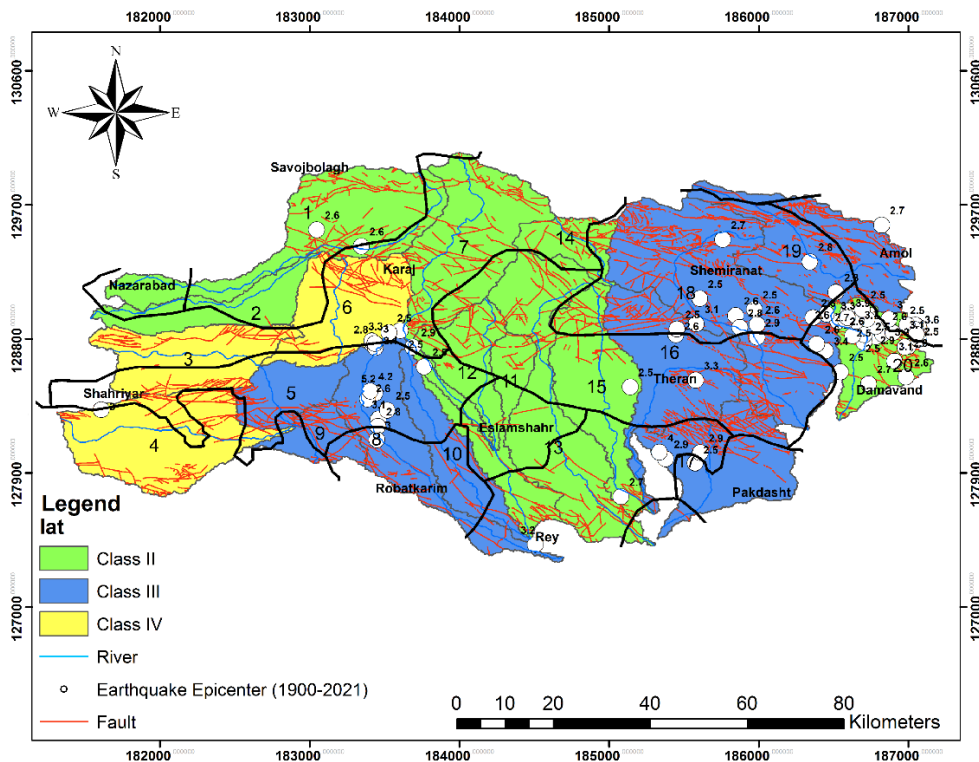
روش مطالعه

در این پژوهش از تصاویر ماهواره لندست ۸ که در تاریخ ۲۰۱۶/۰۸/۱۷ در گذر ۱۶۸ و در ردیف ۳۵ برداشت شده، استفاده گردید. ماهواره لندست ۸ در سال ۲۰۱۳ در مدار قرار گرفت (Roy et al, 2014).

داده‌های لرزه‌ای دستگاهی

داده‌های لرزه‌ای از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۲۲ میلادی نشان می‌دهد که چهار زمین لرزه با قدرت بالای ۴ ریشتر (شکل ۱) و بیشترین آن ۵٫۲ ریشتر در نزدیکی گسل‌های اصلی و جنبای ناحیه مورد مطالعه رخ داده است و با پهنه‌های نسبی زمین‌ساختی همخوانی آشکاری را نشان می‌دهد.

گستره مورد پژوهش استان تهران و حومه آن می‌باشد و از نظر طبیعی بخشی از البرز مرکزی را تشکیل می‌دهد. در مورفوتکتونیک ۳ موضوع اصلی مورد توجه است. ۱- ژئومورفولوژی، ۲- تکتونیک ژئومورفولوژی ۳- زمان سنجی کواترنری. مورفوتکتونیک به عنوان مطالعه زمین‌منظرهای ایجاد شده بر اثر فرایندهای تکتونیک یا کاربرد اصول ژئومورفیک در حل مسائل تکتونیک تعریف شده است یکی از مهم‌ترین زمین‌منظرها رودخانه‌ها هستند که به حرکات تکتونیک بسیار حساس‌اند، برای ارزیابی تکتونیک فعال ناحیه، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. اندازه‌گیری‌ها براساس محاسبه شاخص‌های ژئومورفیک بوده و دیگر پارامترها با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌هوایی و ماهواره‌ای و کارهای صحرائی صورت می‌گیرد. پادگان‌ها در منطقه مورد مطالعه از سمت باختر به خاور در مسیر رودخانه از نوع پادگان‌های تکتونیک مشخص شده است و همچنین لایه‌های مختلف نیز در زمان رسوبگذاری با سن و شیب متفاوت مشاهده گردید. با توجه به پیشینه لرزه‌ای و بالابودن فعالیت لرزه‌ای در منطقه مورد مطالعه و داده‌های برداشت شده از ایستگاه‌های لرزه‌نگاری نشان از الگوی نامنظم و متداوم لرزه‌خیزی در منطقه است و عمده زمین لرزه‌ها نیز کم عمق می‌باشند. در این پژوهش جهت استخراج خطواره‌های گستره مورد پژوهش از تکنیک تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA¹) استفاده شده است. روش PCA جهت کاهش بعد داده‌های موجود در لندست به تعداد کمتری مولفه اصلی به کار می‌رود. خطواره‌ها، عارضه‌های خطی هستند که از دیگر عارضه‌های مجاور قابل تشخیص بوده و احتمالاً پدیده‌های زیر سطحی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (O'Leary et al, 1976). همچنین خطواره‌ها، سازندهای مختلف را جدا می‌کنند که شامل عارضه‌های طبیعی مانند هم‌ترازی ساختاری (Faure, 2001)، توالی ژئومورفولوژیک (Corgne et al, 2010)، ساختارهای ضعیف (Masoud and Koike, 2006)، گسل‌ها (معماریان، ۱۳۷۷)، دره‌ها (Lacina, 1996; Hung et al,)



شکل ۱- پراکنش داده های لرزه ای دستگاهی (۱۹۰۰-۲۰۲۱ میلادی) به همراه نقشه پراکنندگی فعالیت نسبی زمین ساختی و گسل های گسترده مورد بررسی (داده های لرزه ای برگرفته از مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران)

استخراج خطواره‌ها

کاربرد موثری می‌باشند (محمودزاده، ۱۳۸۸). قبل از انجام پردازش تصاویر اخذ شده توسط ماهواره های تکنولوژی مساحی زمینی یا ERTS (لندست)، این تصاویر به علل مختلف نیاز به تصحیح دارند. زیرا تمام تصاویر دارای خطاهای هندسی می باشند که از عوامل زیادی منتج می شوند. بنابراین قدم اول در واقع بازسازی مقادیر کالیبره شده یا درجه بندی شده فیزیکی از داده های مشاهده شده است. تصحیح در قالب تصحیحات هندسی و تصحیحات رادیومتریکی می باشد. تصحیحات هندسی داده های نقشه های زمین شناسی تهران نسبت به سنجنده ماهواره لندست ۱:۱۰۰۰۰۰ با استفاده از ۴ نقطه که در آن پس از معرفی نقاط با مختصات (x و y) مشخص به سیستم و تعیین نقاط مشابه آن در تصویر و به کارگیری روش های آماری مختلف برای انطباق پهنه آن ها، تصویر تصحیح گردید. تصحیحات رادیومتریکی خود برای کاهش و یا حذف دو نوع خطاهای عمده به کار می روند. در تصحیحات رادیومتریکی اثر زاویه تابش خورشید، اثر توپوگرافی و اثرات جوی تصحیح می گردند. حال باتوجه به این که برگه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰

نقشه خطواره‌ها براساس روش های مرسوم صحرائی تهیه می شوند و به خاطر مقیاس بزرگ و کم بودن میدان دید نمی تواند همه خطواره‌ها را مشخص سازد، اگر چه نقشه های تهیه شده از این راه از دقت و اعتبار بیشتری برخوردار می باشد (Suzen and Toprak, 1998). در این پژوهش، جهت استخراج خطواره های گسترده مورد پژوهش از روش PCA استفاده شده است. روش آنالیز مولفه های اصلی (PC) یک ابزار سیستماتیک فشرده سازی تصاویر چند طیفی است و برای تشخیص بهتر خطواره ها می باشد. به عبارت دیگر در این روش به منظور کاهش باندهای زیاد موجود در لندست و نشان دادن اطلاعات طیفی مناسب برای رسیدن به تصویری با کیفیت مناسب (باند های اصلی یا مولفه اصلی) در تصویر ترکیب رنگی RGB از ۳ مولفه (PC1, PC2, PC3) استفاده شده است. در تحلیل مولفه اصلی تجمع اطلاعات در چند مولفه اول بیشتر بوده و مولفه های بعدی بیشتری شامل نویز می باشند و تنها وقتی که با تصاویر قوی تر ترکیب شوند دارای

امکانات سنجش از دور پرهیز از بروز خطا (خطوط مربوط به جاده‌ها، زمین‌های کشاورزی، آبراهه‌ها، سازه‌های انسانی، محور چین‌ها و...) از روش PCA بهره‌جسته‌ایم.

تحلیل مولفه‌های اصلی (Principal Component Analysis)

اطلاعات وارد شده به PCA در همه باندهای تصویر می‌تواند به تعداد باندهای کمتری تبدیل شود بدون این که اطلاعات باندها از دست بروند. روش PCA برای حذف اطلاعات زائد در داده‌های ماهواره‌ای از جمله سایه، اثرات توپوگرافی و زاویه تابش خورشید، کاربرد فراوانی دارد. در این روش می‌توان با تراکم نمودن اطلاعات موجود، در تعدادی از باندها، به ۲ یا ۳ باند تبدیل شده به کار رود. این توانایی کاهش ابعاد، یعنی کم کردن داده‌ها و باندهایی که برای تولید نتایج قابل استفاده تجزیه می‌شوند، از نظر صرف دقت و هزینه حائز اهمیت است، به ویژه اگر قابلیت استخراج اطلاعات از مولفه‌های جدید، بالاتر از قابلیت استخراج اطلاعات از داده‌های خام باشد. اهداف متعددی از به کارگیری این تکنیک مدنظر می‌باشد مانند کاهش ابعاد داده‌ها، کشف تغییرات در تصاویر چند زمانه و بازسازی پدیده‌ای خاص. در این روش داده‌ها یا باندهای تصویر در فضای جدیدی قرار می‌گیرند و مولفه‌های جدید جایگزین باندها و یا مولفه‌های قبلی می‌باشند و در این فضای جدید همبستگی بین باندها از بین رفته و باندهای مستقلی ایجاد می‌شوند:

$$P = \sum_{i=1}^n W_k DN_i$$

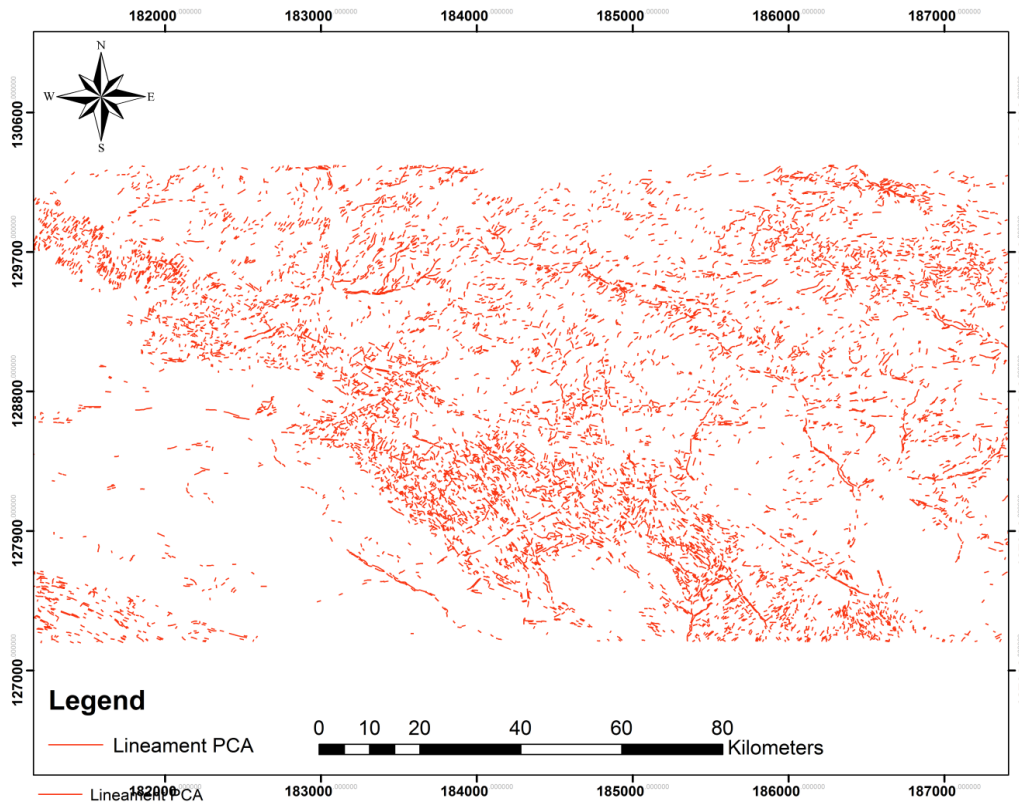
در این معادله P_{ck} مولفه k ام، W_i بردار ویژه و DN_i مقدار روشنایی باند i ام می‌باشد (صادقی ناد و سهامی نوش آبادی، ۱۳۸۷). با به کارگیری این روش ۷۶۸۵ خطواره گسلی شناسایی شد (شکل ۲).

گستره مورد مطالعه در دو Scene تصویر ماهواره لندست ۸ قرار داشتند، لذا نیاز به ایجاد تصویری یک پارچه بوده، بدین منظور تصاویر زیر توسط نرم افزار ENVI 4.7 تهیه گردید.

پردازش تصاویر ماهواره‌ای به روش دستی و استخراج خطواره‌ها

طرح خطواره در یک تصویر معمولاً یا به صورت یک خط راست یا دارای کمی انحناست. در یک تصویر ماهواره‌ای خطواره‌های مشاهده شده می‌توانند نتیجه سازه‌هایی باشند که توسط انسان ساخته شده است مانند شبکه‌های حمل و نقل (جاده‌ها، کانال‌ها و...) یا ساختارهایی طبیعی مانند ساختارهای زمین‌شناسی (شکستگی‌ها و ناپیوستگی‌ها) یا شبکه‌های زهکشی (رودخانه‌ها) که البته تشخیص آن با استفاده از نرم افزارها و یا حتی به صورت بررسی‌های چشمی و دستی ممکن است که همراه با کمی خطا باشد و برای تکمیل این روند می‌بایست با پیمایش‌های صحرائی تکمیلی این گونه تحقیقات را کامل کرد (دمتری و همکاران، ۲۰۱۲).

در روش دستی خطواره‌ها از تصاویر ماهواره‌ای به صورت دستی استخراج می‌شود. خطوط به طور معمول به صورت خطوط مستقیم یا لبه‌دار (مانند ضلع یک مربع) در تصاویر ماهواره‌ای با تفاوت تناژ رنگ دیده می‌شوند که دانش، قدرت چشمی و تبحر کاربر نکته کلیدی است که خطه‌ای کوچک را بتواند به یکدیگر متصل کند تا بتواند خطواره‌ها را ترسیم کند (Wang et al, 1990). از مزیت‌های این روش این است که به راحتی می‌توان خطواره‌های غیر مرتبط با زمین‌شناسی، همانند جاده، ریل راه آهن و غیره را از خطواره‌های طبیعی تمیز داد. همچنین چشم انسان یک خطواره را که ممکن است در امتداد طول آن تغییری ایجاد شود، به صورت یک خطواره بلند و تک می‌بیند، بطوریکه، برخی عارضه‌هایی که به صورت خط دیده می‌شوند دره‌های مستقیم، مرزهای مستقیم سنگها، انحراف رودخانه‌ها، تغییر ناگهانی تناژ و همترازی پوشش گیاهی است (یحیایی، ۱۳۸۹). در این پژوهش برای رسم خطواره‌ها با استفاده از تصویربرداری لندست ۸ به منظور بهره‌گیری بهینه از



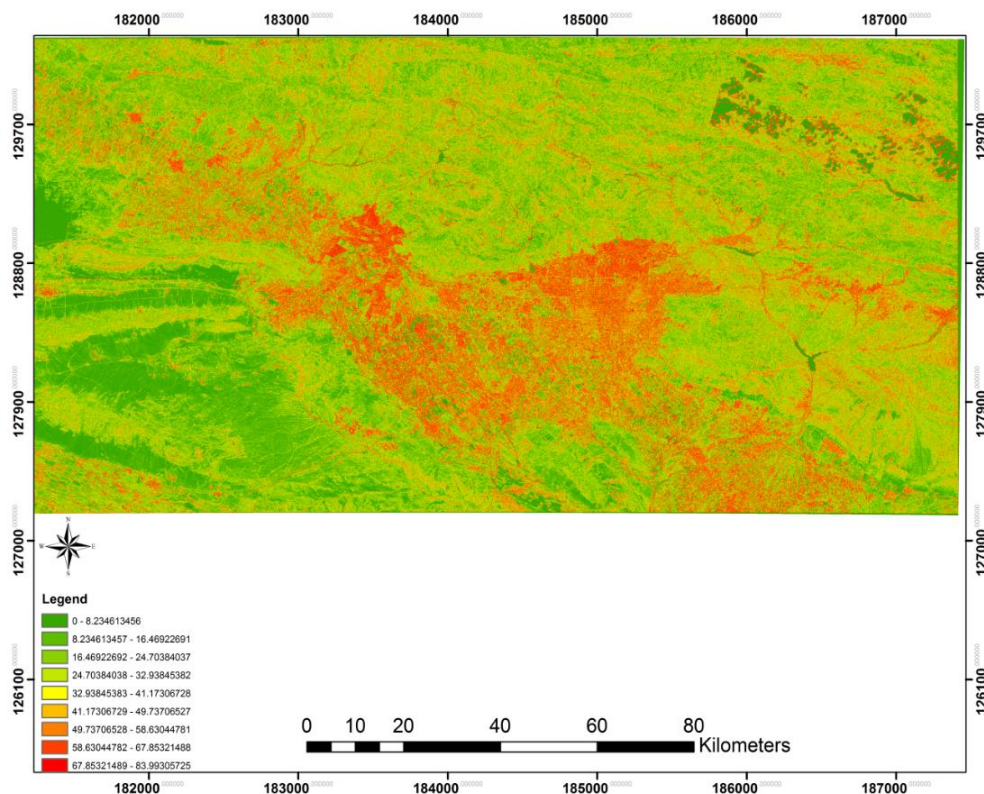
شکل ۲- خطواره‌های به دست آمده به روش PCA

می‌کند، می‌توان به سازوکار راستگرد و چپگرد بودن گسل‌ها هم پی برد.

بررسی تراکم خطواره‌ها

پس از تهیه نقشه خطواره‌های گستره، نقشه تراکم خطواره‌ها در نرم افزار Arc GIS به دست آمد (شکل ۳). هدف از ترسیم نقشه چگالی خطواره‌ها، محاسبه فراوانی خطوط در هر واحد است که با نام فراوانی خطواره هم شناخته می‌شود که هر واحد از منطقه مورد مطالعه به میزان یک کیلو متر مربع می‌باشد (Greenbaum, 1985). در واقع پس از وارد نمودن خطواره‌ها در نرم افزار فوق تراکم خطواره‌ها در هر واحد تعیین گردید.

در نهایت خطواره‌های موجود بر روی تصویر ETM+ ماهواره لندست ۸ با اعمال فیلترینگ مختلف توسط نرم افزار Envi و انتقال آن‌ها به نرم افزار ArcGIS استخراج و مشخص شده که خطواره‌های احتمالی به گسل به عنوان گسل اصلی و سایر خطواره‌ها به عنوان گسل فرعی معرفی شده است. با ایجاد فیلترهای مختلف (فیلتر کردن روشی است که برای استخراج اطلاعات ویژه مانند خطوط، لبه‌ها، گسل‌ها و غیره استفاده می‌شود) سعی بر این بوده که گسل‌ها در تصاویر مختلف آنالیز شوند و قطعه بندی صحیحی از آن‌ها ارائه شود. وجود تغییراتی در تصاویر مانند جابه‌جایی‌هایی در سطح زمین و یا روشن تر شدن بخشی از تصویر نمایانگر وجود گسل و مناطق شکستگی می‌باشد (Lillesand et al, 2000). با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌توان به شاخص‌های گوناگونی دستیابی پیدا کرد، به عنوان مثال گسل‌هایی که فعال هستند را می‌توان به وسیله پرتگاه‌ها و بریدگی‌هایی که در رسوبات ایجاد می‌کنند شناسایی کرد و میزان جابه‌جایی افقی گسل را بررسی یا حتی تعیین کرد و همچنین با جابه‌جایی‌هایی که در سنگ‌ها ایجاد



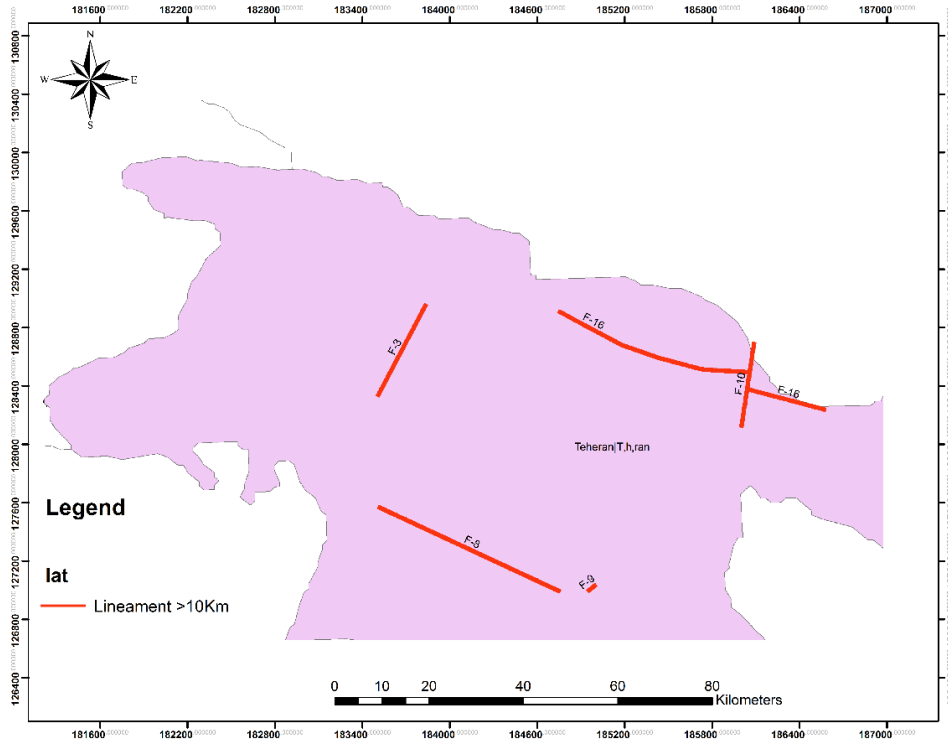
شکل ۳- نقشه تراکم خطواره‌های گستره مورد پژوهش

در منطقه مورد مطالعه از باند ۸ تصویر ETM+ (باند پانکروماتیک) ماهواره لندست استفاده شد که قدرت تفکیک مکانی آن ۱۵ متر می‌باشد. به این ترتیب که سه فیلتر جهت دار بر تصویر ماهواره ای اثر داده شدند. سپس سه تصویر به دست آمده با رنگ‌های قرمز، سبز و آبی با هم ترکیب شدند و یک تصویر کاذب رنگی حاصل گردید. در نتیجه این عمل خطواره‌هایی که در جهت‌های شمال غربی- جنوب شرقی، شمال شرقی- جنوب غربی و شرقی- غربی واضح شده بودند در یک تصویر و به رنگ‌های مختلف درآمدند (وستر، ۱۹۹۲). بعد از آن که تصویر رنگی مورد نظر به دست آمد، این تصویر به نرم افزار Arc GIS منتقل می‌شود و خطواره‌های بارز شده آن به صورت رقمی استخراج شده و به صورت جداگانه ذخیره شدند. این ۵ گسل استخراج شده و همچنین خطواره‌های اصلی ناحیه دارای معادل گسلی بر روی نقشه زمین شناسی و خطواره مغناطیسی (گسل‌های احتمالی F3, F8, F9, F10, F16) می‌باشند (شکل ۴).

در تصویر بالا رنگ‌ها بیانگر شدت تراکم خطواره‌ها هستند. به طوری که رنگ قرمز تعیین کننده تراکم بیشینه می‌باشد و روند شمال باختر - جنوب خاور را نشان می‌دهد.

ارتباط خطواره‌های حاصل از تصویر ماهواره ای و خطواره‌های مغناطیسی

در بررسی خطواره و استخراج آنها مشخص گردید هرچه قدر تصاویر با دقت پایین تری برای استخراج خطواره‌ها انتخاب شده باشد، دقت در استخراج آنها کمتر شده و چند خطواره کوچک را تلفیق کرده و به صورت یک خطواره بزرگ نشان می‌دهد، در این میان بعضی از خط‌ها را نیز در بررسی‌ها نمایش نمی‌دهد. بنابراین در استخراج خطواره‌های بزرگ نیز استفاده از تصاویر با کیفیت بالا می‌بایست در اولویت کاری قرار گیرد. به صورت کلی می‌توان گفت که مناطق با چگالی بالای خطواره‌ها دارای شکستگی‌های فراوان تری بوده و زون‌های شکستگی به حساب می‌آیند. در این راستا برای بارزسازی خطواره‌ها

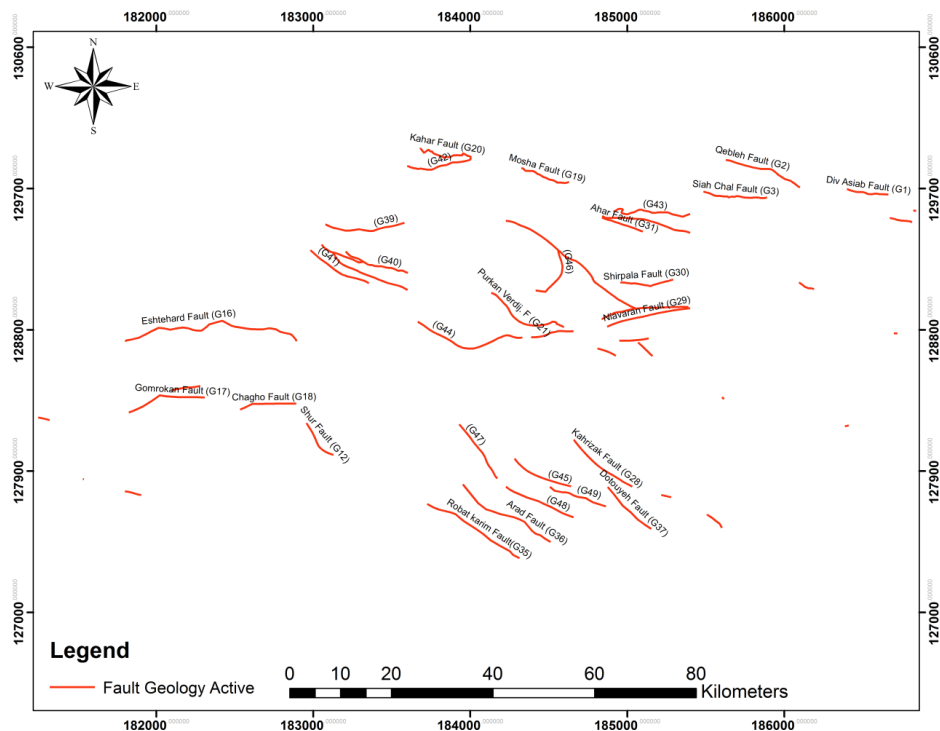


شکل ۴ - نقشه خطواره‌های مغناطیسی (گسل های احتمالی F3, F8, F9, F10, F16)

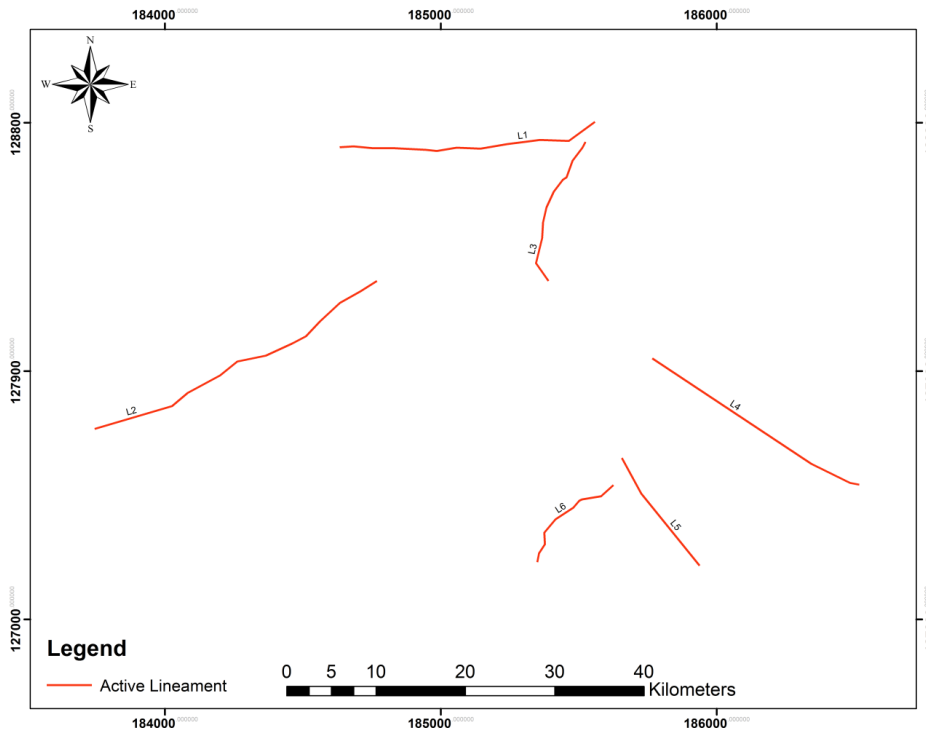
گسل ها در نقشه های زمین شناسی گستره مورد پژوهش و نیز تهیه لایه گسل های جنبه، به مقایسه گسل های رقومی شده و خطواره های حاصل از تصویر ماهواره ای پرداختیم (اشکال ۵، ۶ و ۷).

بررسی خطواره‌هایی با درازای بیش از ۱۰ کیلومتر (گسل های احتمالی)

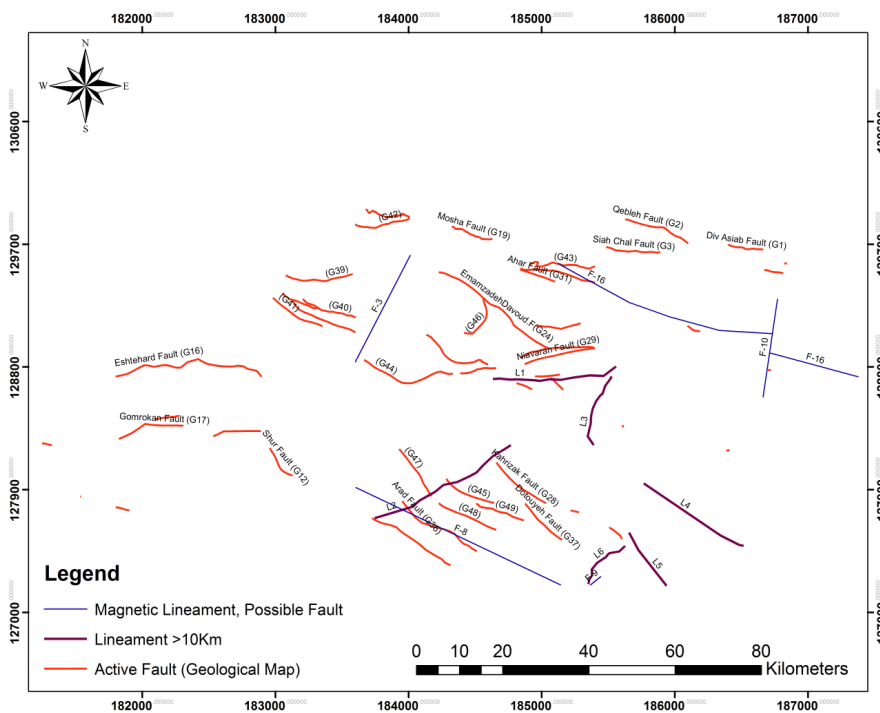
پس از استفاده از نقشه های زمین شناسی تهران و حومه آن به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و همین طور رقومی نمودن



شکل ۵ - گسل های رقومی شده بر گه های ۱:۱۰۰۰۰۰ ناحیه (گسل های جنبه با طول تقریبی بالاتر از ۱۰ کیلومتر)



شکل ۶ - خطواره شناسایی شده بالاتر از ۱۰ کیلومتر در منطقه مورد مطالعه با روش دور سنجی (PCA)



شکل ۷ - مقایسه خطواره‌های سطحی با گسل‌های مغناطیسی و اصلی (گسل‌های بیش از ۱۰ کیلومتر شامل خطواره‌ها، لایه‌های رقومی و داده‌های مغناطیسی)



خطواره‌ها در هر سلول، d تعداد جهت‌های خطواره در هر سلول و A, B, C و D میانگین آن‌ها در کل نقشه هستند.

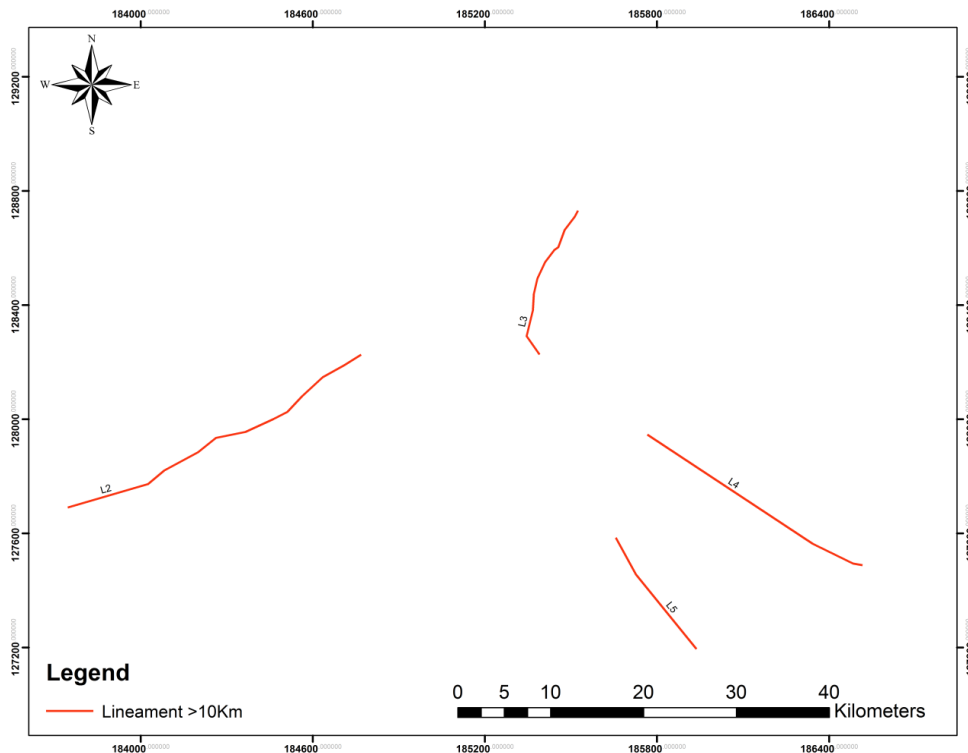
مدل‌های رقومی ارتفاع (DEM) نیز که حاصل جمع آوری داده‌های ارتفاعی به روش‌های سنجش از دور است، طی دهه‌های اخیر کاربردهای وسیعی در ژئومورفولوژی و سایر علوم زمین داشته و به کمک الگوریتم‌های رایانه‌ای همچنان رو به توسعه است. منابع تولید DEMها امروزه از تنوع زیادی برخوردار بوده و دقت‌های مختلف از چند صدمتر تا کمتر از دو متر را در بر می‌گیرد. در بسیاری از موارد نیز که در کشور ما مرسوم است، نقشه‌های توپوگرافی کاغذی را اسکن و پس از رقومی سازی توسط نرم افزار Arc-Gis به یک رستر ارتفاعی تبدیل می‌نمایند. گسل‌های اصلی موجود در ناحیه همانند نقشه زمین شناسی و تصویر ماهواره ای +ETM در یک راستا و تقریباً با یک اندازه قرار گرفته‌اند. در نهایت دو خطواره $L1, L6$ از لایه نهایی خطواره‌های گسلی احتمالی به دلیل خطای موقعیت مکانی گسل‌های نقشه زمین شناسی و ساختارهای خطی در نقشه زمین شناسی حذف گردید، عبارتی این خطواره‌ها همان موقعیت ساختارهای تکنیکی می‌باشند و بدلیل تکرار حذف گردیده‌اند (شکل ۸).

خطواره‌های موجود بر روی تصویر +ETM ماهواره لندست ۸ با اعمال فیلترینگ مختلف توسط نرم افزار Envi و انتقال آن‌ها به نرم افزار Arc GIS استخراج و مشخص شده که خطواره‌های احتمالی به گسل به‌عنوان گسل اصلی و سایر خطواره‌ها به‌عنوان گسل فرعی معرفی شده است. با ایجاد فیلترهای مختلف سعی بر این بوده که گسل‌ها در تصاویر مختلف آنالیز شوند و قطعه بندی صحیحی از آن‌ها ارائه شود. وجود تغییراتی در تصاویر مانند جابه‌جایی‌هایی در سطح زمین و یا روشن تر شدن بخشی از تصویر نمایانگر وجود گسل و مناطق شکستگی می‌باشد. به طور کلی خطواره‌ها نشان دهنده زون‌های ضعیف سطح زمین هستند. با توجه به تصاویر به‌دست آمده از استخراج خطواره‌های کوچک و بزرگ می‌توان این استنباط را داشت که اکثر گسل‌های منطقه در مکان‌هایی هستند که خطواره‌های زیادی در آن نقاط وجود دارد، همچنین زمانی که زمین‌لرزه به وقوع می‌پیوندد، بیشترین تخریب در نزدیکی گسل‌ها مشاهده می‌شود. بنابراین می‌توان رابطه مستقیمی بین تراکم خطواره‌ها و زمین‌لرزه‌های روی داده در منطقه در نظر گرفت.

محاسبه فاکتور خطواره‌گی^۲ یکی از روش‌هایی است که برای آنالیز خطواره‌ها استفاده می‌شود و کاربرد زیادی در موارد مختلفی چون اکتشاف کانسارها، اکتشاف آب‌های زیرزمینی، اکتشاف نفت، زهکشی معادن، پژوهش‌های زمین شناسی و ... دارد. در این روش ابتدا باید یک شبکه سلولی مناسب به سطح محدوده مورد نظر نسبت داده شود (ابعاد این شبکه با توجه به مقیاس عملیاتی مورد نظر انتخاب می‌شود) و سپس فاکتور خطواره‌گی در هر سلول محاسبه گردد. هارد کاستل (۱۹۹۵) برای محاسبه فاکتور خطواره‌گی در تصاویر ماهواره‌ای یا عکس‌های هوایی رابطه^۲ زیر را پیشنهاد کرده است:

$$PF = \frac{a}{A} + \frac{b}{B} + \frac{c}{C} + \frac{d}{D} \quad \text{رابطه ۴-۱}$$

در این رابطه a تعداد خطواره‌ها در هر سلول، b طول خطواره‌ها در هر سلول، c تعداد تقاطع (برخورد)



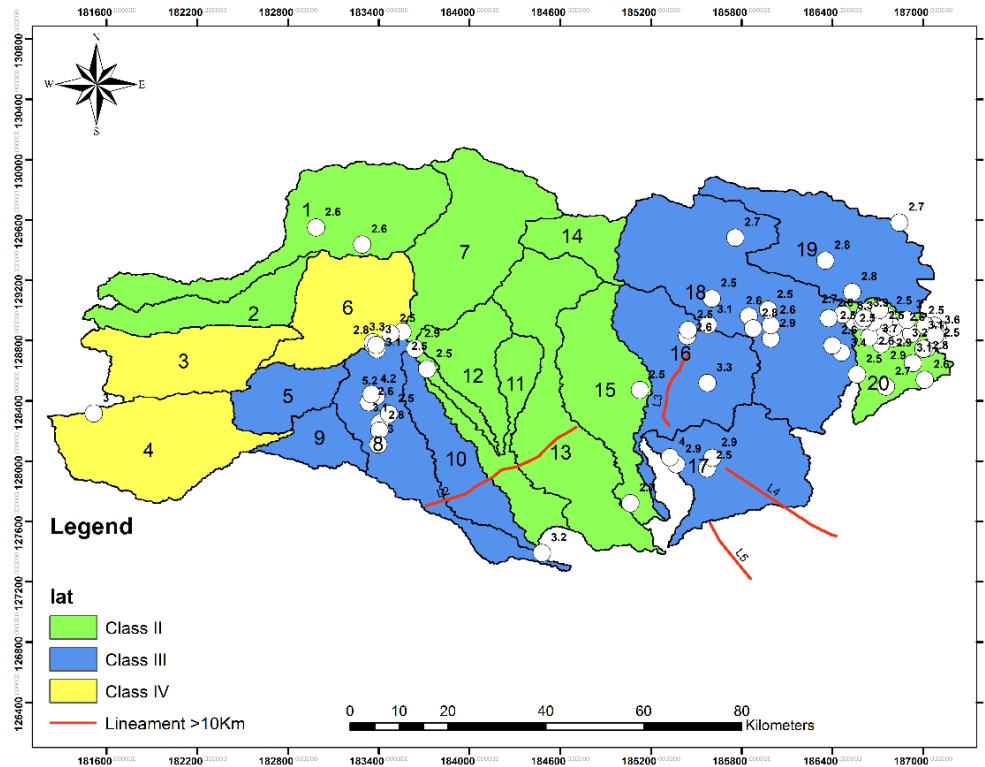
شکل ۸- نقشه گسل‌های احتمالی نهایی در گستره مورد مطالعه

زمین‌لرزه‌هایی که در ژرفای ۱۴ تا ۱۸ کیلومتری به وقوع پیوسته‌اند بیشینه فراوانی را تعیین می‌کنند. بنابراین با توجه به کاتالوگ زمین‌لرزه‌های رخ داده در گستره مورد مطالعه، مشخص شد، از نوع کم ژرفا بوده که عمدتاً در پوسته زمین رخ داده‌اند. نقشه زیر (شکل ۹) موقعیت مراکز سطحی زمین‌لرزه‌های دستگاهی بر اساس بزرگای گشتاوری (Mw) بر روی خطواره‌ها، گسل‌های احتمالی مورد پژوهش را نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی زمین‌لرزه‌ها در نزدیکی خطواره‌های مغناطیسی (گسل‌های احتمالی نمایش داده شده) رخ داده است، نکته مهم پراکندگی زمین‌لرزه‌ها در نزدیکی خطواره‌های بدست نیامده است و با یک روند کلی شمال‌خاور- جنوب‌باختر و عمود بر روند کلی خطواره‌های گسلی احتمالی به دست آمده می‌باشد که نمایانگر تجمع تنش و جنبش بودن ساختارهای تکتونیکی گسترده بوده است که در جنوب خاور گستره نمایان می‌باشند و این روند تجمع تنش در ادامه می‌تواند جنوب خاور شهر تهران را مورد تهدید قرار دهد.

در گستره مورد مطالعه تعدادی گسل اصلی بالاتر از ۱۰ کیلومتر (۶ خطواره و ۴۹ گسل رقومی شده و ۵ گسل احتمالی داده مغناطیسی) و پس از حذف خطای موقعیت مکانی با سایر لایه‌های اطلاعاتی در مجموع تعداد ۴ گسل احتمالی از خطواره‌های بالاتر از ۱۰ کیلومتر برای گستره مورد مطالعه شناسایی شد. پس از شناسایی خطواره‌ها، خطواره‌های با درازای بیش از ۱۰ کیلومتر را جدا کردیم. در واقع هر کدام از این خطواره‌ها، حاصل خطواره‌های متوالی و پی در پی هستند که به عنوان خطواره‌های اصلی معرفی می‌شوند. این خطواره‌ها اگرچه به لحاظ درازا و امتداد کاملاً با گسل‌های نقشه زمین‌شناسی برابری نمی‌کند اما دارای معادل گسلی می‌باشند.

ارتباط خطواره‌ها و پراکندگی زمین‌لرزه‌ها

نقشه زیر (شکل ۹) موقعیت مراکز سطحی زمین‌لرزه‌های دستگاهی گستره مورد پژوهش را که از مرکز لرزه‌نگاری کشور بدست آمده است را بر روی خطواره‌های گسلی نشان می‌دهد.



شکل ۹- پراکندگی زمین لرزه های دستگاهی بر روی پهنه های فعالیت نسی تکتونیک نهایی منطقه به همراه چهار خطواره گسلی احتمالی گستره مورد پژوهش

نتیجه گیری

۱- خطواره های سطحی زیر دارای انطباق مناسبی با گسل های ذکر شده در مقابل آن ها هستند.

۲- خطواره سطحی L1 دارای انطباق مناسبی با گسل داوودیه G27

۳- خطواره سطحی زیر دارای انطباق مناسبی با خطواره مغناطیسی ذکر شده در مقابل آن می باشد.

۴- خطواره سطحی زیر دارای انطباق با هیچ کدام از گسل های رخنمون یافته در نقشه زمین شناسی و خطواره مغناطیسی نمی باشند و تأیید گسلی بودن آن ها نیاز به بررسی های صحرائی دارد. L2, L3, L4, L5

۵- پردازش داده های ماهواره ای، بهترین گزینه جهت بارز سازی خطواره های گسلی در مناطق وسیع و فاقد شرایط بازدید صحرائی می باشد، به ویژه در شناسایی خطواره هایی که معادل گسلی در نقشه های زمین شناسی ندارند.

۶- در نقشه تراکم خطواره ها بخش های قرمز یک روند روند شمال باختر - جنوب خاور را تعیین کرده است که نشانگر

تراکم بیشینه خطواره های گسلی در مناطقی به شدت تغییر شکل یافته و گسل خورده می باشد، که به خوبی در جنوب گستره مورد مطالعه نمایان است.

۷- بیشترین فراوانی زمین لرزه ها در نزدیکی خطواره های مغناطیسی (گسل های احتمالی نمایش داده شده) رخ داده است، نکته مهم پراکندگی زمین لرزه ها در نزدیکی خطواره های بدست نیامده است و با یک روند کلی شمال خاور - جنوب باختر و عمود بر روند کلی خطواره های گسلی احتمالی به دست آمده می باشد که نمایانگر تجمع تنش و جنبه بودن ساختارهای تکتونیک گستره بوده است که در جنوب خاور گستره نمایان می باشند و این روند تجمع تنش، در ادامه می تواند جنوب خاور شهر تهران را مورد تهدید قرار دهد

منابع

- پازنگ، س. و زمانی، ب.، ۱۳۹۱، تحلیل خطر لرزه ای در حوضه رودخانه قزل اوزون، سی و یکمین گرده همایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات مدنی کشور.
- صادقی ناد، ع.، سهامی نوش آبادی، ح.، ۱۳۸۷؛ مبانی دور

sous-provinces d'abitibi et dopatica (Québec).

Lillesand, T. and Keifer (2000). "Remote sensing and Image interpretation." John Willey, New York forth edition: 724-743.

Suzen, M.L., and Toprak, V., "Filtering of satellite images in geological lineament analyses: an application to a fault zone in Central Turkey," International Journal of Remote Sensing, vol. 19, no. 6, pp. 1101-1114, 1998.

Masoud, A. and Koike, K., 2006. Tectonic architecture through Landsat-7 ETM+/SRTM DEM-derived lineaments and relationship to the hydrogeologic setting in Siwa region, NW Egypt: Journal of African Earth Sciences, 467-477.

O'leary, D.W., Friedman, J.D. and Pohn, H.A., 1976. Lineament, linear lineation: some proposed new standards for old terms: Geological Society of America Bulletin, 1463-1469.

Roy, D.P., Wulder, M.A., Loveland, T.R., Woodcock, C.E., Allen, R.G., Anderson, M.C., Helder, D., Irons, J.R., Johnson, D.M., Kennedy, R. and Scambos, T.A., 2014. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research: Remote Sensing of Environment, 154-172.

Wang, J. and Howarth, P.J., 1990. Use of the Hough transform in automated lineament. IEEE transactions on geoscience and remote sensing, 561-567.

Wester, K., 1992, Spectral signature measurements and image processing for geological remote sensing: PhD Thesis, Department of Physical Geography, Stockholm University, Stockholm.

سنجی، انتشارات دانشگاه امام حسین، ۳۵۷ صفحه.

محمودزاده، م. تحلیل تکنیکی سامانه گسل تبریز بر اساس تصاویر ماهواره‌ای، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه واحد اسلامی تهران شمال، ۱۳۸۸

معماریان، ح، ۱۳۷۷. مین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک. تهران: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران. شابک ۹۶۴-۰۳-۰۰۰-۴۰۰۰-۶
یحیایی حقیقی، ن.، ۱۳۸۹، تحلیل و بررسی خطواره‌های موجود در چهارگوش تهران با استفاده از سنجش از دور، پایان نامه کارشناسی ارشد، زمین‌شناسی ساختمانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.

Corgne, S., Magagi, R., Yergeau, M. and Sylla, D., 2010. An integrated approach to hydro-geological lineament mapping of a semi-arid region of West Africa using Radarsat-1 and GIS: Remote Sensing of Environment, 1863-1875.

Demetre, A., Ourania, M., Marianthi, S., 2012, Automatic mapping of tectonic lineaments (faults) using methods and techniques of photointerpretation / Digital Remote Sensing and Expert Systems. THALES Project No. 1174.

Faure, S., 2001. Analyse des linéaments géophysiques en relation avec les minéralisations en or et métaux de base de l'Abitibi: Projet, 03A.

Greenbaum, D., 1985 Review of remote sensing applications to groundwater exploration in basement and regolith. Nottingham, UK, British Geological Survey, 63pp.

Hobbs, W.H., 1912. Earth features and their meaning: an introduction to geology for the student and the general reader: The Macmillan Company, New York, 347 p.

Hung, L.Q., Batelaan, O. and De Smedt, F., 2005. Lineament extraction and analysis, comparison of LANDSAT ETM and ASTER imagery, Case study: Suoimuoi tropical karst catchment, Vietnam, In Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology V (Vol. 5983, p. 59830T): International Society for Optics and Photonics.

Lacina, C., 1996. Interprétation structural des linéament par traitement d'image satellitaire; Cas des

