

## تعیین مناطق در خطر تخریب زلزله با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای $ETM+$ و تعیین فاکتور خطوارگی در حوضه آبریز شاه‌آباد

محمد پارسا صدر<sup>۱\*</sup>، حسین حسینی<sup>۲</sup>، محمدعلی پورا ابراهیم‌عمران<sup>۱</sup>، فرید دانشور<sup>۳</sup>، عباس دره‌شیری<sup>۱</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیرکبیر - تهران - خیابان حافظ - دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر - تهران - خیابان حافظ - دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- اصفهان - دانشگاه صنعتی اصفهان

m.parsasadr@aut.ac.ir

### چکیده

افزایش تعداد شکستگی‌های بزرگ مقیاس در یک منطقه، خطر تخریب ناشی از زلزله را افزایش می‌دهد. در نتیجه، ساخت و ساز در چنین مناطقی مناسب نمی‌باشد. منطقه مورد مطالعه حوضه آبریز شاه‌آباد در استان کرمانشاه می‌باشد. در این مطالعه از تکنیک‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی برای مشخص نمودن خطوارگی‌ها و تعیین توابع تراکم خطوارگی استفاده شد. تصاویر ماهواره لندست ۷ و سنجنده  $ETM+$  برای این مطالعه به کار گرفته شد. با استفاده از فیلترهای جهت‌دار و بدون جهت، تهیه تصاویر رنگی کاذب و مطابقت با نقشه‌های زمین‌شناسی، خطوارگی‌های منطقه مشخص شد. سپس با استفاده از روابط خاص، نقشه تراکم خطوارگی به دست آمد. نتایج به دست آمده، مناطق دارای چگالی خطوارگی بالا را معرفی می‌کند که زون‌های شکستگی زمین می‌باشند و باید از ساخت و ساز در این مناطق، با مقاوم‌سازی ویژه صورت گیرد.

**کلمات کلیدی:** زلزله، سنجش از دور، سامانه اطلاعات جغرافیایی،  $ETM+$ ، خطوارگی، شاه‌آباد

### ۱- مقدمه

زمین لرزه در کشور ما تلفات جبران‌ناپذیری را بر جا گذاشته است. افزایش تعداد شکستگی‌های بزرگ مقیاس در یک منطقه، خطر تخریب ناشی از زلزله را افزایش می‌دهد. در نتیجه، ساخت و ساز در چنین مناطقی مناسب نمی‌باشد. در ابتدا باید این مناطق شناسایی شوند تا اقدامات لازم جهت تلفات احتمالی در آن‌ها صورت گیرد (Hardcastle ۱۹۹۵).

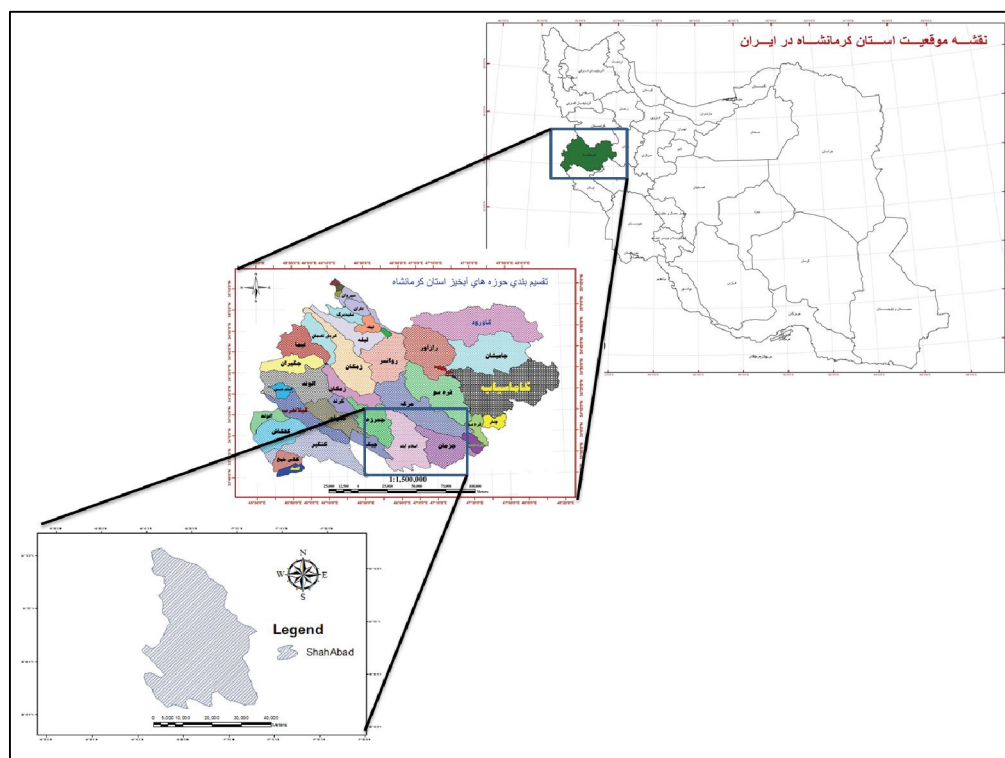
تعیین مناطق دارای شکستگی‌های بزرگ مقیاس در سطح زمین، می‌تواند محدوده‌های پرخطر در هنگام زلزله را به ما بشناساند. تعیین محل زون‌های شکستگی می‌تواند جهت تعیین محل سازه‌های بزرگ مقیاس مثل سدها و یا محل عبور خطوط فشار قوی برق، خطوط لوله سراسری و... به کمک مهندسیین بیاید. بررسی خطواره‌ها یکی از راه‌های شناسایی مناطق شکستگی در سطح زمین می‌باشد. خطواره‌ها شامل گسل‌ها، شکستگی‌ها، آبراهه‌های مستقیم و یا هر عارضه طبیعی خطی دیگری می‌باشند. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، یکی از راه‌های مناسب برای شناسایی خطوارگی‌های یک منطقه است. محیط‌های دارای چگالی خطوارگی بالا (Lineament density)، دارای شکستگی فراوان‌تری بوده و زون‌های شکستگی محسوب می‌شوند (Lillesand and Keifer ۲۰۰۰).

در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و سنجنده‌ی ETM+، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی محدوده‌ی مورد مطالعه، و بررسی‌های فیلدی برای بارز سازی خطوارگی‌های منطقه استفاده شده است؛ زیرا مشخص کردن محل گسل‌ها بدون استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و با تکیه بر تصاویر ماهواره‌ای در مناطقی که از رسوبات آبرفتی پوشیده شده‌اند، امکان‌پذیر نمی‌باشد. سپس از روش فاکتور تراکم خطوارگی محل زون‌های شکستگی در سطح زمین تعیین شده است. در این راستا از نرم‌افزارهای ARCGIS، ENVI و MATLAB استفاده شد.

## ۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه آبریز شاه‌آباد، در استان کرمانشاه می‌باشد و بین طول‌های  $46^{\circ}40'34''$  و  $47^{\circ}23'35''$  و عرض‌های  $33^{\circ}42'40''$  و  $34^{\circ}12'41''$  قرار گرفته است. این منطقه حدود  $1350$  کیلومتر مربع، وسعت دارد. میانگین دمای این منطقه  $19$  درجه سانتیگراد در سال می‌باشد. میانگین بارش این منطقه حدود  $500$  میلی‌متر در سال می‌باشد. منطقه مورد مطالعه از نظر اقلیمی معتدل و نیمه‌خشک است (شکل ۱).

گسل‌های مروارید، سرخت، کارخانه، گسل منطقه مرزی قصرشیرین و گسل سرپل ذهاب از گسل‌های زلزله خیز استان کرمانشاه هستند و همواره در طول تاریخ زلزله‌های مهیبی را ایجاد کرده‌اند. بیشترین تراکم زمین لرزه در حوالی منطقه مرزی قصرشیرین، دینور و مناطق نزدیک شاه‌آباد غرب و گهواره بوده است.



شکل ۱- ناحیه مورد مطالعه - سمت راست: ایران - وسط: استان کرمانشاه - چپ: حوضه آبریز شاه‌آباد

### ۳- آشکارسازی خطوارگی‌ها

تهیه نقشه‌های گسل‌ها، درزه‌ها و سایر عوارض خطی، بهترین راه برای آنالیز ساختاری خطوارگی‌ها می‌باشد. معمولاً خطوارگی‌های تصاویر ماهواره‌ای به راحتی قابل تشخیص نیستند، به همین دلیل باید آن‌ها را با استفاده از پردازش تصاویر واضح ساخت. برای بارزسازی خطواره‌ها از فیلترهای خاصی، استفاده می‌شود. این فیلترها به لبه و حاشیه دربرگیرنده تصاویر ماهواره‌ای اهمیت داده و عوارض خطی مثل شکستگی و گسل‌ها را آشکار می‌کنند (Lillesand and Keifer ۲۰۰۰)؛ به عبارت دیگر باید گفت فیلترها در واقع ماتریس‌هایی هستند که تصاویر را در جهت‌های خاص مورد نظر کاربر، واضح‌تر می‌کنند. برای بارزسازی خطواره‌ها در تصاویر ماهواره‌ای از دو دسته فیلتر جهت‌دار (Directional) و بدون جهت (Laplacian) استفاده می‌شود. (Wester ۱۹۹۲)

#### ۳-۱- فیلترهای بدون جهت

فیلترهای بدون جهت، خطواره‌ها را در تمام جهت‌ها، به جز آن‌هایی که در جهت حرکت فیلتر قرار دارند، آشکارسازی می‌کنند. در این روش، یک ماتریس که شامل آرایه‌هایی از ضرایب یا عوامل وزنی است، و به آن کرنل (Kernel) گفته می‌شود؛ ایجاد می‌گردد. تعداد سطر و ستون‌های موجود در این ماتریس فرد می‌باشد (۳×۳ یا ۵×۵). معمولاً برای تصاویر ناهموار، فیلترهایی با کرنل کوچک (۳×۳)، و برای تصاویر هموار فیلترهایی با کرنل بزرگ (۹×۹)، اعمال می‌شود. نمونه‌ای از این فیلترها در شکل ۲ مشاهده می‌شود. یک عدد صحیح مثبت، در مرکز این ماتریس‌ها قرار می‌گیرند و عددهای ۱- و ۰ در اطراف آن قرار می‌گیرند. این ماتریس در روی پنجره‌ای از تصویر قرار می‌گیرد که حاوی  $n \times n$  پیکسل باشد. مقادیر آرایه‌های این ماتریس، در مقادیر پیکسل‌های متناظر ضرب می‌شوند. سپس عدد به دست آمده با عدد موجود در مرکز فیلتر جمع جبری می‌شود، و مقدار آن برای پیکسل مرکزی فیلتر منظور می‌شود. سپس فیلتر به اندازه‌ی یک پیکسل جابه‌جا شده و دوباره این محاسبات، انجام می‌شود. در نتیجه این عمل مقادیر پیکسل‌های جدید، با مقادیر اولیه متفاوت می‌شوند و کنتراست بین پیکسل‌های خطواره با پیکسل‌های زمینه بیشتر می‌شوند و بدین ترتیب خطواره‌ها واضح می‌شوند.

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

شکل ۲- فیلتر لاپلاسی

#### ۳-۱- فیلترهای جهت‌دار

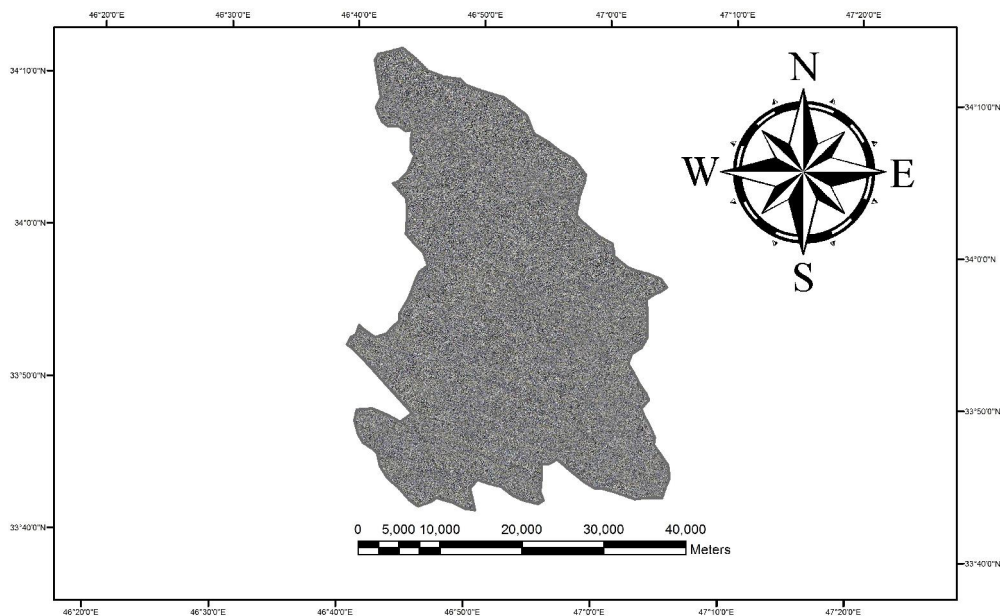
این فیلترها برای بارزسازی خطواره‌هایی که دارای روند خاصی هستند، استفاده می‌شوند و کاربرد آن‌ها بیشتر در مسایل زمین‌شناسی است. عددهای موجود در کرنل، طوری انتخاب می‌شوند، که خطواره‌ها را در جهت خاصی واضح‌تر سازند. روش کار این فیلترها مانند فیلترهای بدون جهت است. در شکل ۳ فیلترهایی که در منطقه مورد مطالعه برای بارزسازی خطواره‌ها استفاده شده، آورده شده‌است. در این شکل کرنل سمت راست، خطواره‌های با روند شمال غربی- جنوب شرقی، کرنل مرکزی، خطواره‌های با روند شمال شرقی- جنوب غربی، و کرنل سمت چپ، خطواره‌های شرقی- غربی را بارزسازی می‌کنند.

0	-2	0	-2	0	0	0	0	-2
0	4	0	0	4	0	0	4	0
0	-2	0	0	0	-2	-2	0	0

شکل ۳- فیلترهای جهت‌دار- سمت راست: بارز کننده خطواره‌های با روند شمال غرب- جنوب شرق؛ وسط: بارز کننده خطواره‌های با روند شمال شرق- جنوب غرب؛ سمت چپ: بارز کننده خطواره‌های با روند شرقی- غربی

برای بارزسازی خطواره‌های منطقه از تصاویر سنجنده‌ی ETM+، در باند پانکروماتیک (باند ۸)، از سین‌های ۱۶۶-۳۶ و ۱۶۶-۳۷ با توان تفکیک مکانی ۱۵ متر استفاده شده‌است. ابتدا دو تا تصویر مذکور با هم موزاییک شدند و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ تصحیح هندسی و سپس رادیومتریکی روی آن‌ها صورت گرفت.

فیلترهای نمایش داده شده در شکل ۳ بر تصویر باند ۸ اعمال شدند، سپس سه تصویر به دست آمده در سه باند R، G و B با هم ترکیب و یک تصویر رنگی کاذب تهیه گردید. در نتیجه این عمل خطواره‌ها در هر یک از جهات با رنگ متمایز مشخص شدند (شکل ۴).



شکل ۴- تصویر رنگی کاذب تهیه شده از منطقه، پس از اعمال فیلترهای جهتی

به علت پوشش آبرفتی منطقه، برای مشخص کردن گسل‌های موجود در منطقه از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ با مطابقت با داده‌های حاصل، و همچنین مطابقت با تصاویر فیلتر شده باندهای ۴ و ۷ سنجنده استفاده شد. پس از مشخص شدن گسل‌ها و سایر خطوارگی‌ها، این خطوط با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS برداشت شدند.

#### ۴- محاسبه فاکتور خطوارگی

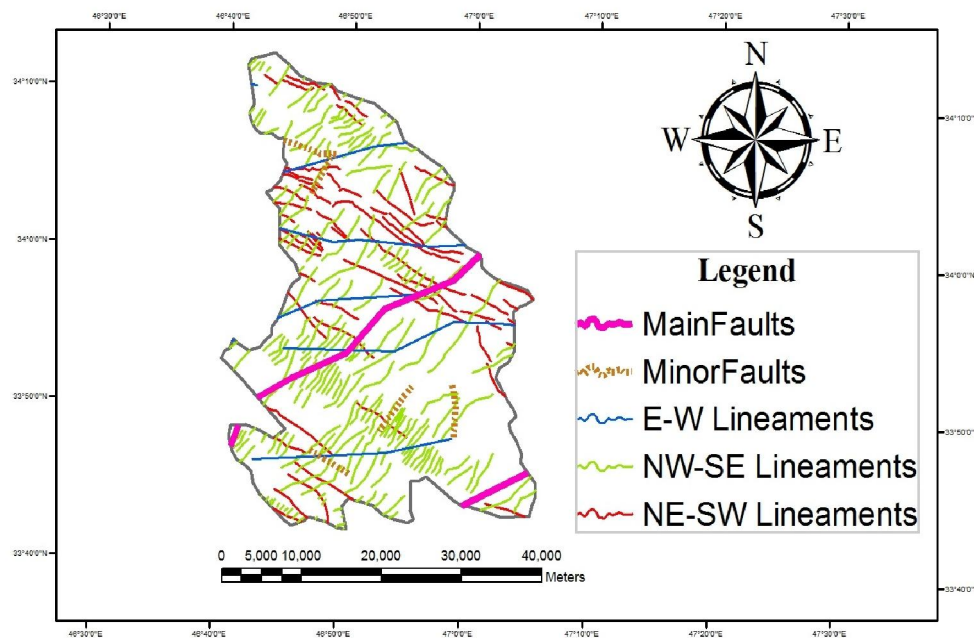
برای محاسبه فاکتور خطوارگی (Photo lineament Factor)، پس از رقومی کردن خطواره‌های موجود، با توجه به حساسیت و ابعاد منطقه مورد مطالعه یک سائز سلولی برای محدوده طرح در نظر گرفته می‌شود و فاکتور خطوارگی برای هر سلول مطابق رابطه‌ی (۱) محاسبه می‌شود.

$$\frac{n}{N} + \frac{l}{L} + \frac{j}{J} + \frac{d}{D} = PF \quad (1)$$

که در این رابطه، n تعداد خطواره‌ها در هر سلول و N میانگین آن‌ها در محدوده‌ی مورد مطالعه، l مجموع طول خطوارگی‌ها در هر سلول و L میانگین طول خطواره‌ها در محدوده‌ی مورد مطالعه، j تعداد تقاطع خطواره‌ها در هر سلول و J میانگین تقاطع خطواره‌ها در محدوده، d تعداد جهت‌های خطواره‌ها در هر سلول و D میانگین تعداد جهت‌های خطواره‌ها در محدوده و PF فاکتور خطوارگی می‌باشد (Hardcastle ۱۹۹۵).

### ۵- بحث و نتایج

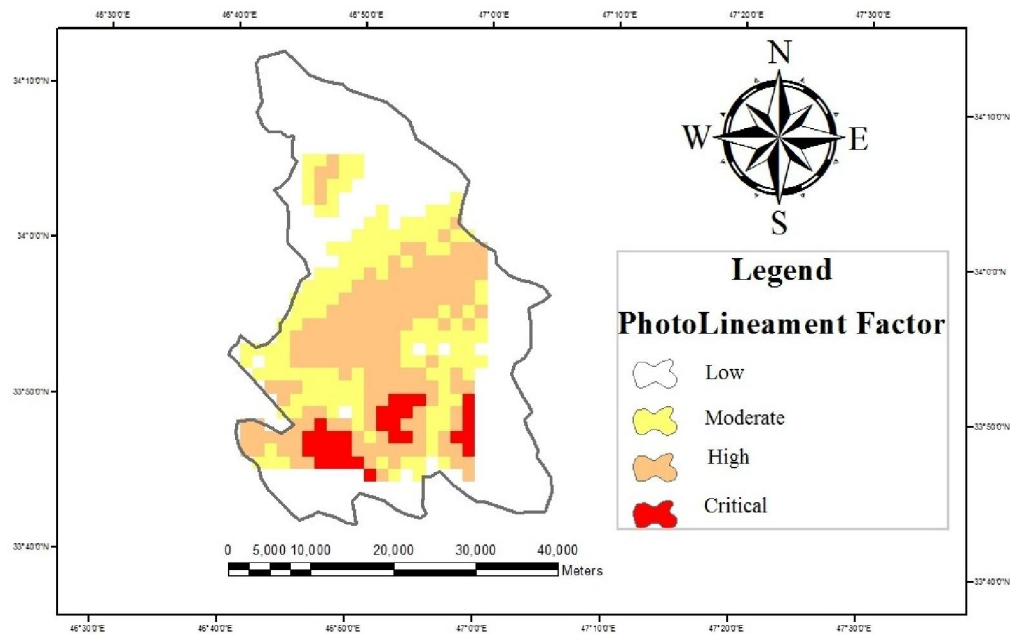
پس از تهیه تصویر رنگی کاذب، با استفاده از فیلترهای مذکور، خطوارگی‌های منطقه با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS رقومی و آماده پردازش شدند. سپس با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی منطقه، گسل‌های اصلی و فرعی منطقه نیز شناسایی و رقومی شدند (شکل ۵).



شکل ۵- گسل‌های اصلی، گسل‌ها فرعی، خطوارگی‌های با جهت NE-SW، خطوارگی‌های با جهت NW-SE و خطوارگی‌های با جهت E-W

سپس برای محاسبه فاکتور خطوارگی یک شبکه با اندازه سلول ۱۵۰۰ متر در ۱۵۰۰ متر در نظر گرفته شد. برای محاسبه هر کدام از پارامترهای فاکتور خطوارگی از نرم‌افزارهای MATLAB و ARCGIS استفاده شد و در نهایت فاکتور خطوارگی با

نرم افزار MATLAB محاسبه شد. با توجه به فاکتور محاسبه شده برای هر سلول، منطقه به چهار گروه با فاکتور خطوارگی کم، متوسط، بالا و بحرانی تقسیم بندی شد (Pareta, Kumar et al. ۲۰۱۲) (شکل ۶).

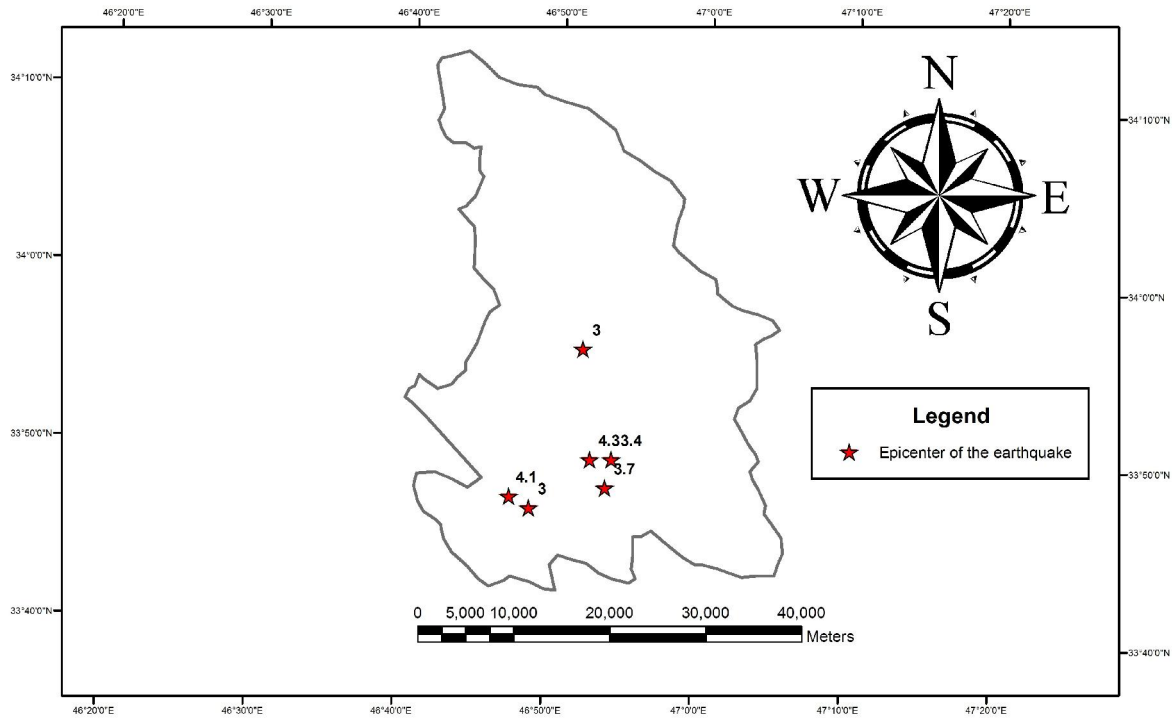


شکل ۶- تقسیم بندی منطقه بر اساس فاکتور خطوارگی، به چهار منطقه با فاکتور خطوارگی بحرانی، بالا، متوسط و کم

مطابق با نتایج به دست آمده، حدود ۴۵ درصد از وسعت منطقه مورد مطالعه در محدوده های بحرانی و باخطر بالا می باشد، که پتانسیل تخریب بالایی را در مقابل زمین لرزه های کم عمق دارند. بنابراین ساخت و ساز سازندهای مهندسی از قبیل جاده، سد، تونل، ساختمان ها و ... باید با معیارهای خاص ایمنی صورت پذیرد (Chauhan, Sharma et al. ۲۰۱۰). با مطابقت نتایج حاصل با نقشه خطوارگی ها مشخص شد، که محل های تقاطع خطوارگی ها و محل عبور گسل های اصلی تاثیر مستقیمی روی پتانسیل تخریب دارند.

#### ۵-۱- اعتبارسنجی نتایج

به منظور اعتبارسنجی، نتایج به دست آمده با کانون های اصلی وقوع زمین لرزه (Epicenter of the earthquake) در منطقه، مطابقت داده شد. کانون وقوع زمین لرزه بیشترین پتانسیل تخریبی را در زلزله های با عمق کم، دارا می باشد. چرا که کانون وقوع زلزله های سطحی دارای بالاترین قابلیت تخریب می باشد. انطباق کانون های وقوع زلزله، با محل های دارای فاکتور خطوارگی بالا، از صحت بالای نتایج حکایت داشت (شکل ۷)



شکل ۷- کانون‌های وقوع زلزله در منطقه

## ۶- نتیجه گیری و پیشنهادات

با توجه به نتایج به دست آمده، شکستگی‌های سطحی منطقه تاثیر زیادی بر افزایش شتاب لرزه‌ای دارند. با محاسبه تابع تراکم خطوارگی محل شکستگی‌های سطحی به خوبی مشخص شد. استفاده از تصویر پانکروماتیک باند ۸ سنجنده ETM+، برای مطالعات خطوارگی منطقه بسیار موثر است. با توجه به اهمیت تعیین مناطق مناسب، برای ساخت سازندهای مهندسی در این مناطق، پیشنهاد می‌شود از تابع تراکم خطوارگی برای مطالعات خطرسنجی استفاده شود. استفاده از تصاویر با توان تفکیک مکانی بالاتر از قبیل تصاویر ماهواره‌های IRS در باند پانکروماتیک و تصاویر ماهواره‌های آیکونوس، برای این کار، مناسب به نظر می‌رسد. محل‌های تقاطع خطوارگی‌ها و محل عبور گسل‌های اصلی تاثیر مستقیمی روی پتانسیل تخریب دارند، با توجه به عدم امکان ممانعت از ساخت و ساز سازندهای مهندسی عمران در این مناطق، پیشنهاد می‌شود از معیارهای مقاوم‌سازی استاندارد برای ساخت این بناها استفاده شود.

## منابع

- Chauhan, S., M. Sharma, et al. (۲۰۱۰). "Landslide Susceptibility Zonation through ratings derived from Artificial Neural Network." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* ۱۲: ۳۴۰-۳۵۰.
- Hardcastle, K. (۱۹۹۵). "Photolineament factor, a new computer aided factor for remotely sensing and GIS, the degree to which bedrock is fractured." *Photogrammetric Engineering and Remote sensing* ۶۱: ۷۳۹-۷۴۷.
- Lillesand, T. and Keifer (۲۰۰۰). "Remote sensing and Image interpretation." John willy, New York forth edition: ۷۲۴-۷۴۳.



---

Pareta, K., J. Kumar, et al. (۲۰۱۲). "Landslide Hazard Zonation using Quantitative Methods in GIS " International Journal of Geospatial Engineering and Technology ۱: ۱-۹.

Wester, K. (۱۹۹۲). "Spectral signature measurement and image processing for geological remote sensing." PHD Thesis, Department of physical geography, Stockholm university, Stockholm.