



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و هشتم، تابستان ۱۴۰۰

صص ۴۱-۲۱

doi : <https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.68682.10160>

مقاله پژوهشی

## پهنه‌بندی ناپایداری‌های ژئومورفولوژیکی ناشی از زلزله از گله (۲۱ آبان ۱۳۹۶، Mw=7.3) در استان‌های ایلام و کرمانشاه با مدل ویکور

فتح‌الله نادری - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.  
صمد فتوحی<sup>۱</sup> - دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.  
حسین نگارش - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.  
مرضیه خلیلی - استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۲/۱۲ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۲/۱۸

### چکیده

هدف اصلی این پژوهش مطالعه و پهنه‌بندی ناپایداری‌های ژئومورفولوژیکی حاصل از زمین‌لرزه از گله در ایلام و کرمانشاه با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه ویکور است. منطقه تحت تأثیر این زلزله بسیار مستعد وقوع انواع حرکات و ناپایداری‌های ژئومورفولوژیکی است. دلایل آن، وجود چین‌خوردگی‌های جوان زاگرس همراه با عملکرد گسل‌های قطع‌کننده آن‌هاست که خردشدگی‌های شدیدی را در منطقه ایجاد کرده‌اند. برای انجام این تحقیق ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و عملیات میدانی ناپایداری‌های ژئومورفولوژیکی شاخصی که در تشدید خسارات ناشی از زلزله مؤثر بوده‌اند شناسایی و تعیین موقعیت شدند. عمده‌ترین این ناپایداری‌ها شامل زمین‌لغزش‌ها، ریزش‌ها و بهمن‌های سنگی، جریان‌ها، گسیختگی‌های تاج‌تپه‌ها و فرونشست زمین که منجر به مسدود شدن راه‌ها، تخریب منازل مسکونی، آلودگی منابع آب‌و خاک، تخریب اراضی کشاورزی، باغات و ... شده است. سپس با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه VIKOR اقدام به پهنه‌بندی ناپایداری‌ها در ۵ طبقه گردید. به‌منظور صحت‌سنجی، نقشه پهنه‌بندی با نقشه توزیع ناپایداری‌های ژئومورفولوژیکی شاخص در اثر زمین‌لرزه انطباق داده شد. نتایج نشان داد که دو طبقه ناپایداری زیاد و خیلی زیاد خیلی زیاد و طبقه خطر زیاد مجموعاً با مساحتی بالغ بر ۶۵۵۸ کیلومتر مربع یعنی بیش از ۲۸

درصد از منطقه مطالعاتی را به خود اختصاص داده‌اند و از بین عوامل مؤثر در وقوع ناپایداری‌ها، عوامل زمین‌شناسی، فاصله از گسل و شیب به ترتیب با ۰/۲۳، ۰/۲۲ و ۰/۱۵ امتیاز بیشترین تأثیر در ایجاد ناپایداری‌های منطقه را دارا هستند. نتیجه انطباق نقشه پهنه‌بندی با نقشه توزیع ناپایداری‌های بیانگر انطباق بیشتر ناپایداری‌ها از جمله زمین‌لغزش‌ها، ریزش‌های سنگی و فرونشست‌ها با طبقات خطر بالاست. **کلیدواژه‌ها:** ناپایداری‌های ژئومورفولوژیکی، روش ویکور، زمین‌لرزه ازگله، ایلام، کرمانشاه.

#### ۱- مقدمه

ایران به‌عنوان یکی از کشورهای زلزله‌خیز شناخته شده است که بیشترین قربانیان را هم در رابطه با زلزله دارد. در ۱۵ سال اخیر لرزش‌های مختلفی با ریشترهای کم و زیاد ایران را لرزانده است. از زلزله بم که با بزرگای ۶/۵ ریشتر در سال ۱۳۸۲ رخ داد و حدود ۳۰ هزار نفر کشته داشت تا زلزله مردادماه سال ۹۱ آذربایجان شرقی با بزرگای ۶/۴ که شهرستان‌های اهر، ورزقان و هریس را لرزاند و ۳۰۶ نفر کشته، بیش از ۵ هزار نفر مجروح و تلفات جانی و خسارات زیادی را به دنبال داشت. مناطق خطرناک از نظر رخداد زمین‌لرزه در پیرامون گسل‌های فعال ایران هستند. این گسل‌ها بیشتر در نواحی مرز بین کوه‌ها و دشت‌های ایران قرار گرفته‌اند. در راستا و مرزهای ساختار در نواحی البرز، زاگرس، کپه داغ، ایران مرکزی، حاشیه‌های کویر مرکزی ایران، آذربایجان، لوت و مکران مهم‌ترین گسل‌های فعال ایران را می‌توان مشاهده کرد. از مهم‌ترین تحقیقات صورت گرفته در ارتباط با موضوع مورد مطالعه می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

قهرودی تالی و همکاران (۱۳۹۱)، پتانسیل تخریب لرزه‌خیزی با به‌کارگیری مدل‌های چندشاخصه در منطقه یک شهر تهران را بررسی نمودند. اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۳۹۱)، ضریب آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تاپسیس در محیط GIS در شهر اردبیل را مدل‌سازی کردند. صفاری و همکاران (۱۳۹۲)، شاخص‌های مورفوتکتونیک و زمین‌لرزه در مناطق پرخطر استان خوزستان مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. نصیری (۱۳۹۵)، در تحقیقی خطر زمین‌لرزه منطقه شهری ارومیه را با استفاده از مدل تجربی سابتا مورد پهنه‌بندی قرار دادند. صادقی و همکاران (۱۳۹۶)، میزان آسیب‌پذیری مسکن شهری در برابر زلزله در شهر گرگان را تحلیل و برآورد نمودند. همچنین به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر گرگان با توجه به شرایط و مشخصات ساختمان‌ها از بین روش‌های کیفی مختلف موجود، روش ارزیابی آسیب‌پذیری آریا انتخاب نمودند. اسدی و همکاران (۱۳۹۶)، رابطه بزرگای زمین‌لرزه با استفاده از مدت دوام امواج کدا در پهنه زاگرس و جنوب غربی ایران مرکزی را برآورد کردند و نشان دادند که همخوانی خوب و قابل قبولی بین بزرگای محاسبه شده در این تحقیق و بزرگای محلی برای فاصله کمتر از ۲۰۰ کیلومتر برقرار است. همچنین از مهم‌ترین این مطالعات انجام شده در خارج کشور در رابطه با

موضوع مورد مطالعه می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود: نگارش و خسروی<sup>۱</sup> (۲۰۰۸)، زلزله بم تجزیه و تحلیل قرار دادند و شواهد ژئومورفولوژیکی آن را مورد بررسی قرار دادند. هارا<sup>۲</sup> (۲۰۰۷)، در تحقیقی طول تابش انرژی فرکانس با فرکانس بالا و کاربرد آن برای تعیین بزرگی زلزله‌های کم عمق را اندازه‌گیری نمود. پالیزوان<sup>۳</sup> (۲۰۱۶)، مکانیسم گسل کواترن در غرب کرمانشاه و رابطه آن با لرزه‌خیزی محلی را مورد مطالعه قرار دادند. کایستا و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۷)، زلزله‌های با عمق زیاد عمیق (۷۰ تا ۳۰۰ کیلومتر) و متوسط و کم عمق (۷ تا ۷۰ کیلومتر) در منطقه هندوکوش در مرز افغانستان-پاکستان را با روش مقایسه‌ای مورد آنالیز قرار دادند در این روش از داده‌های لرزه‌ای ۳۸۲۰ زمین‌لرزه در محدوده مطالعاتی استفاده نمودند و نشان دادند که توزیع فراوانی در زلزله‌های کم عمق و متوسط بیشتر از زلزله‌های عمیق است. سلیمانی آزاد و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۷)، گزارش مقدماتی تحقیقات زمین‌شناسی زمین‌لرزه از گله کرمانشاه را انجام دادند. یانگ و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۸)، چالش‌های زلزله‌شناسی در کاهش خطر زلزله: بازتاب در زلزله ونچوان چین را بررسی نمودند. ماریا و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۱۸)، آمادگی در مقابله با بلایای طبیعی با استفاده از روش‌های ارزیابی خطر مهندسی زلزله را در کشور ترکیه بررسی نمودند. آن‌ها با استفاده از داده‌های زمین‌لرزه تاریخی ترکیه، روش جدیدی برای محاسبه احتمال وقوع زمین‌لرزه و فراوانی آن را ابداع نمودند. استاتیس<sup>۸</sup> (۲۰۱۸)، شدت زلزله‌های تاریخی، بزرگی زلزله و اثرات دینامیکی خاک در زلزله ۱۷۵۰ کرواسی را مطالعه و بررسی نمودند که نتایج نشان داد که این زلزله با یک رانش بزرگ همراه بوده است که باعث افزایش شتاب متوسط آن شده است. جیان کی و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۱۸)، توزیع و خصوصیات لرزه‌های زمین‌لغزش ناشی از زمین‌لرزه سال ۱۹۲۰ هایوان در شمال غربی چین را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تحقیقات میدانی مورد مطالعه و بررسی نمودند که نتایج تحقیق نشان داد که زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله در قسمت‌های غربی و در فاصله ۴۰ تا ۵۵ کیلومتر از گسل هایوان متمرکز شده است و عمدتاً موازی با گسل‌ها هستند. جان زی و همکاران<sup>۱۰</sup> (۲۰۱۸)، حرکت رسوب و پاسخ دیواره کانال‌ها نسبت به تغییرات بارندگی پس از یک زلزله بزرگ را مدل‌سازی کردند و از مدل لیس فلود جهت شبیه‌سازی حرکت رسوب استفاده نمودند که نتایج نشان داد که عملکرد رسوبات می‌تواند به‌طور معنی‌داری در رانندگی‌هایی که بعد از زلزله ایجاد می‌شوند نسبت به رانندگی‌های معمولی شدیدتر باشند.

1 Negaresh &amp; Khosravi

2 Hara

3 Palizvan

4 Khaista et al

5 Solaymani Azad et al

6 Yong et al

7 Maria et al

8 Stathis

9 Jianqi et al

10 Jun et al

از مهم‌ترین تحقیقات صورت گرفته راجع به مدل ویکور در زمینه مخاطرات و ناپایداری‌های دامنه‌ای می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

سپهر و همکاران (۱۳۹۲)، نقشه حساسیت پذیری زمین‌لغزش دامنه‌های شمالی بینالود بر پایه الگوریتم بهینه‌سازی توافقی ویکور تهیه کردند که نتایج این تحقیق نشان داد که زیر حوضه‌های گل‌مکان، اسجیل و اندرزی بیشترین حساسیت پذیری و زیر حوضه‌های خیرآباد، اقبال و چایش دارای کمترین حساسیت پذیری به وقوع زمین‌لغزش هستند. مددی و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ویکور در حوضه آبخیز آق لاقان چای مورد ارزیابی و پهنه‌بندی قرار دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که استفاده از مجموعه‌های فازی و روش ویکور به‌عنوان یکی از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره، از دقت نسبی بالایی جهت مطالعه زمین‌لغزش حوضه آق لاقان چای برخوردار است. مددی و همکاران (۱۳۹۴)، در تحقیقی دیگر ارزیابی و پهنه‌بندی خطر ریزش با استفاده از مدل VIKOR در حوضه آبخیز آق لاقان چای را انجام دادند که نتایج مطالعه نشان می‌دهد که حوضه آق لاقان چای دارای توان بسیار بالا از لحاظ رخداد حرکات ریزشی است. لذا انجام اقدامات حفاظتی، آبخیزداری و مدیریتی در حوضه مطالعاتی ضروری به نظر می‌رسد. انتظاری و همکاران (۱۳۹۵)، در ارزیابی خطر ریسک زمین‌لغزش حوضه طالقان رود بر پایه الگوریتم بهینه‌سازی ویکور، به این نتیجه رسیدند که با توجه به نقشه حساسیت پذیری زیر حوضه‌های طالقان رود کمتر از ۴۰ درصد مساحت حوضه مطالعاتی را زیر حوضه‌هایی با حساسیت پذیری پایین یا استعداد کم نسبت به وقوع زمین‌لغزش تشکیل می‌دهند. در مقابل ۶۰ درصد از مساحت حوضه را زیر حوضه‌هایی با شرایط حساسیت پذیری بالا و متوسط نسبت به وقوع زمین‌لغزش احاطه کرده است. بنی حبیب و چیت‌ساز (۱۳۹۵)، مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره ویکور برای ارزیابی گزینه‌های مدیریت سیلاب را اجرا کردند که نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش میزان پارامتر ویکور، حساسیت مدل نسبت به تغییر پارامتر ویکور افزایش یافته است. مدل ویکور بر خلاف مدل و زنده ساده حساسیت کمتری نسبت به تغییر وزن معیارها داشته ولی به معیارهای اقتصادی و فنی حساسیت بالایی داشته است. در این تحقیق به دلیل اهمیت بالای معیارهای اجتماعی مدل ویکور توصیه شده است. عابدینی و همکاران (۱۳۹۶)، پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهرستان مشکین‌شهر با استفاده از مدل ویکور را انجام دادند. نتایج مطالعه نشان داد، عوامل ارتفاع، لیتولوژی، بارش و شیب به ترتیب بیشترین تأثیر را بر ایجاد سیل در منطقه مطالعاتی دارند. همچنین، با توجه به نتایج به دست آمده به ترتیب ۲۳/۳۷ و ۵۲/۵۰ کیلومتر مربع از مساحت محدوده، در طبقه بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارند. شریفی کیا و همکاران (۱۳۹۷)، طبقه‌بندی زیر حوضه‌های آبخیز نکارود با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ی TOPSIS, SAW و VIKOR را مورد بررسی قرار دادند. نتایج ارزیابی مدل‌ها نشان داد مدل VIKOR با دقت بیشتری نسبت به مدل‌های دیگر به اولویت بندی و طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها پرداخته است. امیری و همکاران (۱۳۹۷)، در تحقیقی اولویت بندی

سیل خیزی زیرحوضه‌های آبخیز مهارلو در استان فارس با استفاده از پارامترهای مورفومتریکی و مدل تصمیم‌گیری VIKOR انجام دادند نتایج تحقیق نشان داد که اولویت بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از پارامترهای مورفومتری به‌منظور شناسایی حوضه‌های حساس به فرسایش روشی مناسب و کاربردی است و استفاده از پارامترهای مورفومتری در حوضه‌های بدون آمار بسیار دقیق و مناسب است. حجازی و همکاران (۱۳۹۸)، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل ویکور در حوضه آبریز حاجیلرچای را انجام دادند. نتایج پژوهش نشان دهنده این است که در حدود ۲۰/۲۲ درصد از مساحت حوضه حاجیلرچای، احتمال وقوع زمین‌لغزش خیلی زیاد بوده است. خدادادی و همکاران (۱۳۹۸)، تحلیل و پهنه‌بندی مخاطرات ژئومورفولوژیک (لغزش و سیل) استان البرز با استفاده از مدل‌های VIKOR-AHP و FR انجام دادند. طبق نتایج نهایی حاصل از نقشه‌های پهنه‌بندی هر یک از مخاطرات، ۳۳/۰۹ درصد سطح استان در پهنه با خطر زیاد زمین‌لغزش و ۲۱/۲۱ درصد از سطح استان در پهنه خطر متوسط سیل قرار دارند که شناسایی و پهنه‌بندی مناطق دارای پتانسیل خطر وقوع این گونه مخاطرات اهمیت بسیاری دارد. هانگ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۹) یک مدل اصلاح شده VIKOR برای تصمیم‌گیری با چند معیار با دیدگاه نظریه پشیمانی مورد مطالعه و بررسی قرار دادند از نتایج مثال‌ها می‌توان نتیجه گرفت که مدل پیشنهادی برای مقابله با مشکلات واقع بینانه MCDM نسبت به مدل‌های VIKOR و پشیمانی مناسب‌تر است.

محدوده مورد مطالعه به دلیل قرارگیری در میان کمربند چین خورده زاگرس، دارای گسل‌های فعال است و علاوه بر آن با سازندهای حساس به زمین‌لرزه هم مواجه است. این عوامل سبب شدند که این محدوده در گستره آینده خود در برخی مناطق با خطر بالای زمین‌لرزه مواجه باشد که در صورت وقوع زمین‌لرزه، ناپایداری‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی نظیر زمین‌لغزش‌ها، ریزش‌ها و بهمن‌های سنگی، جریان‌های واریزه‌ای و گل روانه‌ها، فرونشست زمین و ایجاد فروچاله‌ها و ... ایجاد می‌شود که می‌تواند خسارات مضاعفی حتی به مراتب بیشتر از خود زمین‌لرزه ایجاد کنند؛ بنابراین مطالعه و بررسی علمی و شناسایی دقیق این ناپایداری‌ها ضرورت پیدا می‌کند تا با مطالعه آن‌ها از ساخت و سازهای غیر اصولی و احداث تاسیسات راه‌سازی، ساختمان‌سازی، سد سازی و ... در این مناطق جلوگیری به عمل آید.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در غرب کشور ایران و در محدوده دو استان کرمانشاه و ایلام (محدوده‌ای که بیشترین خسارات و گسترده‌ترین ناپایداری‌ها در آن اتفاق افتاده است) با وسعتی معادل با ۲۴,۴۱۶ کیلومتر مربع قرار دارد

(شکل ۱). زمین‌لرزه ۲۱ آبان ۹۶ از گله یکی از بزرگ‌ترین زمین‌لرزه‌های کشور محسوب می‌شود که بزرگای این زمین‌لرزه ۷/۳ درجه در مقیاس ریشتر بوده است. شبکه لرزه‌نگاری کشوری وابسته به موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران باتوجه به استفاده از ایستگاه‌های محلی به‌ویژه قرائت‌های فاز سه ایستگاه واقع در کشور عراق کانون زمین‌لرزه را در مختصات جغرافیایی ۳۴ درجه ۴۶ دقیقه و ۱۲ ثانیه عرض شمالی و ۴۵ درجه ۴۵ دقیقه و ۳۴ ثانیه طول شرقی گزارش کرد. بر اساس آخرین مکان‌یابی صورت گرفته، عمق کانون زمین‌لرزه حدود ۱۸ کیلومتر برآورد شده است. مطابق مدل اولیه تهیه شده توسط موسسه GSI کشور ژاپن و بر پایه تحلیل داده‌های InSAR میزان جابجایی بیشینه زمین حدود ۹۰ سانتیمتر به بالا و حدود ۵۰ سانتیمتر به طرف غرب در فاصله ۲۰ کیلومتری شمال غرب شهر سرپل ذهاب مشاهده گردید. تلفات جانی این زلزله ۴۴۴ نفر کشته و بالغ بر ۷۰۰۰ نفر مجروح و بیشترین تلفات انسانی از شهر سرپل ذهاب و روستای کوئیک می‌باشد (Solaymani Azad et al., 2017). گسل‌های اصلی زاگرس در منطقه وقوع زمین‌لرزه عبارتند از: ۱- گسل زاگرس مرتفع (HZF)<sup>۱</sup> که این گسل کمربند زاگرس رورانده در شمال شرق را از کمربند زاگرس چین خورده در جنوب غرب جدا می‌سازد. ۲- گسل جبهه کوهستان (MFF)<sup>۲</sup> که کمربند زاگرس چین خورده را از برونزدهای آهکی سازند آسماری در جنوب و جنوب غرب جدا می‌کند. این گسل یک گسل رانده کور یا به عبارتی گسلی که به سطوح زمین نمی‌رسد می‌باشد. علاوه بر این دو گسل، گسل معکوس اصلی زاگرس (MZRF)<sup>۳</sup> و گسل اصلی جوان زاگرس (MRF)<sup>۴</sup> نیز در منطقه وجود دارند (شکل ۲). با توجه به پردازش داده‌های رقومی ماهواره‌ای و شناسایی دقیق گسل‌ها منطقه زلزله زده، دو گسلی که مسبب زمین‌لرزه غرب کشور بودند شناسایی شدند. گسل اول (F1) که گسل ازگله نامیده شده است، گسلی است با راستای تقریباً شمالی-جنوبی، به طول بیش از ۶ کیلومتر و از نوع راندگی با شیب کم به سمت شرق که مسبب اصلی این زلزله بوده است. در اثر جابجایی این گسل، گسل دوم (F2) در راستای شرقی-غربی و طول کمتر از ۴۵ کیلومتر دچار جابجایی شده است (صفایی، ۱۳۹۶).

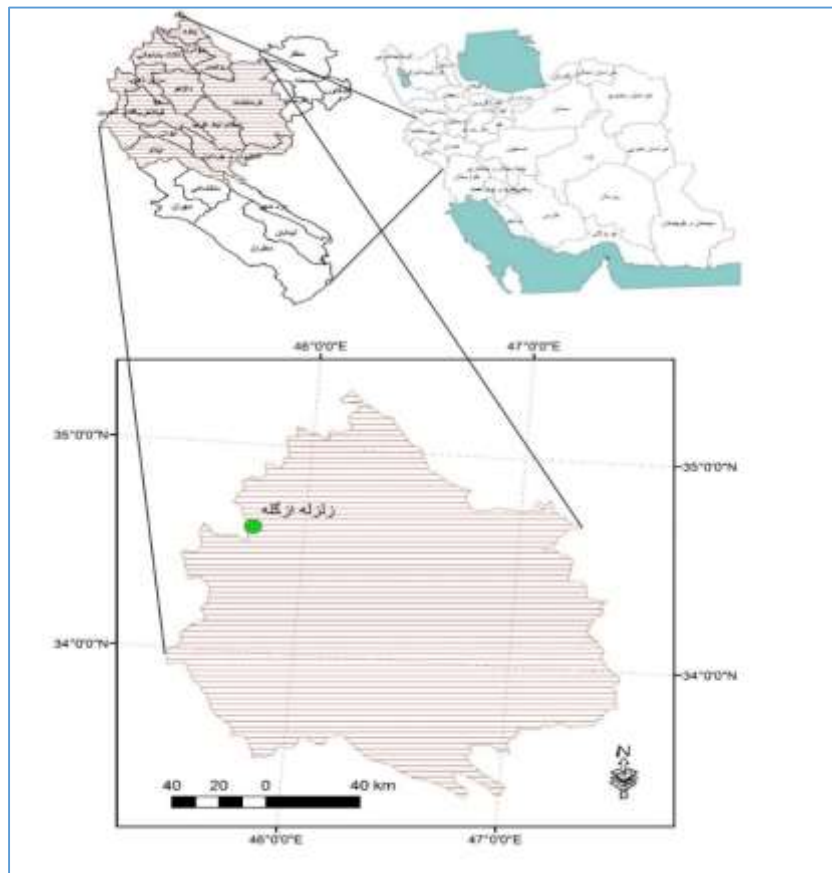
---

1 High Zagros Fault

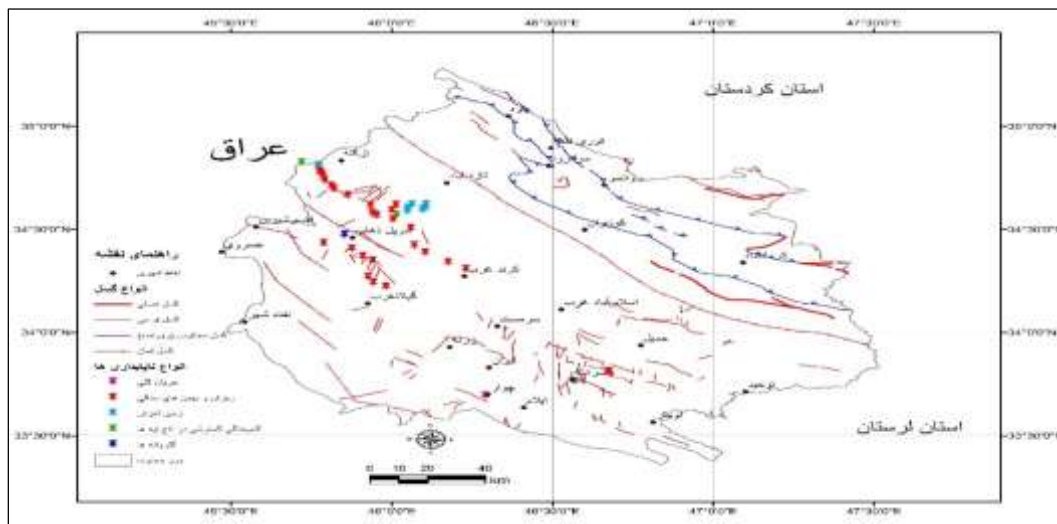
2 Mountain Front Fault

3 Main Reverse Zagros Fault

4 Main Reverse Fault



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و کانون زمین لرزه



شکل ۲- نقشه گسل‌ها و ناپایداری‌های منطقه مورد مطالعه و کانون اصلی زلزله ازگله (منبع: نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ کرمانشاه-قصر شیرین-باینگان-ایلام)

## ۲-۲- روش انجام پژوهش

به منظور پایش و بررسی پدیده‌های ژئومورفولوژیکی مرتبط با زلزله سرپل ذهاب، بازدیدهایی را در چندین مرحله از مناطق آسیب دیده انجام می‌گیرد. همچنین برخی مستندات موجود و گزارشات منتشر شده و منابع رسانه‌ای نیز در این بازه زمانی مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به ماهیت موضوع، روش تحقیق به صورت استنادی، تجربی و مشاهدات میدانی و توصیفی - تحلیلی است. داده‌های مورد نیاز به شیوه کتابخانه‌ای جمع‌آوری می‌شود. روش‌های گردآوری اطلاعات در این تحقیق شامل مطالعه کتابخانه‌ای، گزارش‌های صورت گرفته توسط پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، موسسه لرزه‌نگاری کشوری وابسته به موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، مشاهدات و بازدیدهای میدانی. همچنین ابزارهای گردآوری اطلاعات نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی و لرزه‌خیزی، شیب سنج، GPS و پرسشنامه‌های تهیه شده توسط بنیاد مسکن، مسکن و شهرسازی و ...

روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به دو دسته تصمیم‌گیری چند هدفه<sup>۱</sup> و تصمیم‌گیری چند شاخصه تقسیم می‌شوند. هدف از تصمیم‌گیری انتخاب بهترین گزینه یا وزن دهی به عوامل تصمیم‌گیری است. هر روش تصمیم‌گیری وظیفه خاصی دارد یکی هدف وزن دهی به معیارها، یکی هدفش رتبه‌بندی گزینه‌ها و دیگری هدف ارزیابی معیارها می‌باشد؛ که در اینجا به بررسی یک مورد از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه به نام "مدل ویکور" خواهیم پرداخت. این مدل یک مدل جبرانی از نوع سازشی است.

### مدل ویکور (VIKORE)<sup>۲</sup>

روش تصمیم‌گیری چند معیاره ویکور یکی از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای انتخاب بهترین گزینه است. این مدل توسط اپریکویک به سال ۱۹۸۴ ارائه شد. تکنیک ویکور یک روش سازشی است و به تصمیم‌گیری پیرامون گزینه‌ها بر اساس معیارهای مختلف کمک می‌کند. منظور از جواب سازشی نزدیکترین جواب موجه به جواب ایده آل است. کلمه سازش به یک توافق متقابل اطلاق می‌گردد. روش ویکور از طریق ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیارها، گزینه‌ها را اولویت بندی یا رتبه بندی می‌کند. در تکنیک ویکور معیارها وزن دهی نمی‌شوند بلکه معیارها از طریق روش‌های دیگر ارزیابی می‌شود و سپس گزینه‌ها بر اساس معیارها و با ترکیب در ارزش معیارها، ارزیابی شده و رتبه بندی می‌شوند. در این مدل همواره چند گزینه مختلف وجود دارد که این گزینه‌ها بر اساس چند معیار به صورت مستقل ارزیابی می‌شوند و در نهایت گزینه‌ها بر اساس ارزش، رتبه بندی می‌گردند. مراحل روش ویکور به صورت خلاصه عبارت از:

1 Multi-Purpose Decision Making

2 Vlse Kriterijumsk Optimizacija Kompromisno Resenje



۱- تشکیل ماتریس تصمیم ۲- تعیین بردار وزن معیارها (به کمک یکی از روش‌های تصمیم‌گیری مانند AHP، نظر خبرگان و ... ۳- تعیین نقطه ایده آل مثبت و ایده آل منفی ۴- محاسبه مقدار مطلوبیت ( $Si$ ) و مقدار تأسف ( $Ri$ ) برای هر راهکار ۵- محاسبه شاخص ویکور ( $Qi$ ) برای هر راهکار ۶- مرتب کردن راهکارها بر اساس مقادیر  $Si$ ،  $Ri$  و  $Qi$  ۷- پیشنهاد راهکار سازشی با توجه به دو شرط: ۱) مزیت قابل قبول: به این معناست راهکار سازشی می‌بایست با راهکار بعدی خود تفاوت قابل ملاحظه‌ای داشته باشد. ۲) ثبات قابل قبول در تصمیم‌گیری: به این معناست که راهکار سازشی انتخاب شده باید حداکثر مطلوبیت گروهی و حداقل تأثیر فردی را داشته باشد. در صورتی که شرایط بالا برای راهکار سازشی برقرار نباشد به جای یک راهکار یک مجموعه راهکار سازشی ارائه می‌شود (شکل ۳).



شکل ۲- نمودار روش مطالعاتی انجام گرفته برای رسیدن به نقشه پهنه‌بندی ناپایداری‌ها

### ۳- نتایج و بحث

پس از تهیه معیارهای انتخابی، ضریب اهمیت معیارهای مذکور از نقطه نظر درجه اهمیت در ناپایداری‌ها، به کمک الگوریتم تحلیل سلسله مراتبی AHP تعیین می‌گردد (جدول ۱).

جدول ۱- ضریب اهمیت معیارهای مؤثر در تشدید ناپایداری‌های منطقه مطالعاتی

عامل	زمین شناسی	فاصله از گسل	شیب	ارتفاع	منابع آب	فاصله از رودخانه	فاصله از جاده	کاربری اراضی
امتیاز	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۳

به منظور وزن دهی گزینه‌ها بر اساس نقش هر معیار در گزینه مورد نظر (نقش هر عامل مؤثر در ناپایداری‌ها)، از بازه وزن دهی قطعی یک تا ده استفاده شده است؛ به گونه‌ای که وزن ۱ کمترین تأثیر و ۱۰ بالاترین تأثیر را در تشدید ناپایداری‌ها نشان می‌دهد. پس از تعیین ضریب اهمیت معیارها، ماتریس تصمیم اوزان برای انجام الگوریتم ویکور، بر اساس رابطه (۱) تهیه شد. همانطور که مشخص است، هشت معیار در ارزیابی هفت گزینه نقش دارند که معرف ناحیه‌ها منطقه مطالعاتی هستند.

### مرحله اول: تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری

در این بخش هر یک از نواحی بر اساس معیارهای مختلف ارزیابی می‌شود. مزیت مدل ویکور این است که ارزیابی همه معیارها به بررسی کارشناسی نیاز ندارد بلکه می‌توان از داده‌های خام استفاده می‌کرد. تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری بر اساس پارامترهای مؤثر را در منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد جدول (۲).

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

جدول ۲- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری بر اساس معیارهای مؤثر در تشدید ناپایداری‌ها

معیار مناطق	زمین شناسی	فاصله از گسل	شیب	ارتفاع	منابع آب	فاصله از رودخانه	فاصله از جاده	کاربری اراضی
کرمانشاه	۶	۶	۸	۵	۵	۵	۵	۵
جوانرود	۴	۵	۶	۵	۶	۶	۶	۶
ایلام	۸	۳	۵	۷	۴	۴	۴	۴
سرپل ذهاب	۵	۶	۷	۶	۸	۸	۸	۸
دالاهو	۶	۴	۲	۵	۷	۷	۷	۷
اسلام آباد غرب	۹	۵	۳	۴	۵	۵	۵	۵
گیلانغرب	۷	۲	۶	۶	۴	۴	۴	۴

### مرحله دوم: نرمال کردن ماتریس تصمیم‌گیری

پس از انجام وزن دهی و تهیه ماتریس وزنی، مقادیر ماتریس با استفاده از رابطه (۲) نرمال شدند. مقادیر نرمال شده یا به گفته‌ای ماتریس وزنی نرمال شده را نشان می‌دهد جدول (۳).

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

ابتدا همه مقادیر ماتریس به توان ۲ رسانده و مجموع هر ستون جمع می‌گردد و سپس جذر مجموع هر ستون گرفته شده و در نهایت هر یک مقادیر بر جذر به دست آمده تقسیم می‌گردد (جدول ۳).

جدول ۳- نرمال سازی ماتریس تصمیم‌گیری گزینه‌ها (مرحله اول)

معیار / مناطق	زمین شناسی	فاصله از گسل	شیب	ارتفاع	منابع آب	فاصله از رودخانه	فاصله از جاده	کاربری اراضی
کرمانشاه	۳۶	۳۶	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵
جوانرود	۱۶	۲۵	۳۶	۲۵	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶
ایلام	۶۴	۹	۲۵	۴۹	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶
سرپل ذهاب	۲۵	۳۶	۴۹	۳۶	۶۴	۶۴	۶۴	۶۴
دالاهو	۳۶	۱۶	۴	۲۵	۴۹	۴۹	۴۹	۴۹
اسلام آباد غرب	۸۱	۲۵	۹	۱۶	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵
گیلانغرب	۳۰۷	۱۵۱	۲۲۳	۲۱۲	۲۳۱	۲۳۱	۲۳۱	۲۳۱
جمع	۴۹	۴	۳۶	۳۶	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶

در مرحله بعد عدد هر ماتریس را تقسیم بر مجذور مجموع هر ستون کرده و در جدول (۴) نوشته می‌شود.

جدول ۴- نرمال سازی ماتریس تصمیم‌گیری گزینه‌ها (مرحله دوم)

معیار / مناطق	زمین شناسی	فاصله از گسل	شیب	ارتفاع	منابع آب	فاصله از رودخانه	فاصله از جاده	کاربری اراضی
کرمانشاه	۰/۳۴۲	۰/۴۸۸	۰/۵۳۶	۰/۳۴۳	۰/۳۲۹	۰/۳۲۹	۰/۳۲۹	۰/۳۲۹
جوانرود	۰/۲۲۸	۰/۴۰۷	۰/۴۰۲	۰/۳۴۳	۰/۳۹۵	۰/۳۹۵	۰/۳۹۵	۰/۳۹۵
ایلام	۰/۴۵۷	۰/۲۴۴	۰/۳۳۵	۰/۴۸۱	۰/۲۶۳	۰/۲۶۳	۰/۲۶۳	۰/۲۶۳
سرپل ذهاب	۰/۲۸۵	۰/۴۸۸	۰/۴۶۹	۰/۴۱۲	۰/۵۲۶	۰/۵۲۶	۰/۵۲۶	۰/۵۲۶
دالاهو	۰/۳۴۲	۰/۳۲۶	۰/۱۳۴	۰/۳۴۳	۰/۴۶۱	۰/۴۶۱	۰/۴۶۱	۰/۴۶۱
اسلام آباد غرب	۰/۵۱۴	۰/۴۰۷	۰/۲۰۱	۰/۲۷۵	۰/۳۲۹	۰/۳۲۹	۰/۳۲۹	۰/۳۲۹
گیلانغرب	۰/۴۰۰	۰/۱۶۳	۰/۴۰۲	۰/۴۱۲	۰/۲۶۳	۰/۲۶۳	۰/۲۶۳	۰/۲۶۳

#### مرحله سوم: وزن دار کردن ماتریس نرمال

بعد از نرمال سازی و تهیه ماتریس نرمال وزنی، برای بدست آوردن مقادیر سودمندی و پشیمانی بر اساس الگوریتم بهینه سازی ویکور، مراحل زیر روی ماتریس وزنی نرمال انجام گرفت. جهت وزن دار کردن، مقادیر ماتریس نرمال هر یک از گزینه‌ها بر وزن معیارها (که قبلاً از روش‌های دیگر به دست آمده بود) ضرب می‌گردد (جدول ۵).

جدول ۵- وزن دار کردن ماتریس تصمیم‌گیری گزینه‌ها

معیار مناطق	زمین شناسی	فاصله از گسل	شیب	ارتفاع	منابع آب	فاصله از رودخانه	فاصله از جاده	کاربری اراضی
$a_{ij}$	۰/۲۹	۰/۲۰	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴
کرمانشاه	۰/۰۶۲	۰/۱۰۷	۰/۰۵۴	۰/۰۸۶	۰/۰۸۲	۰/۴۱۱	۰/۷۴۰	۱/۰۶۹
جوانرود	۰/۰۴۱	۰/۰۹۰	۰/۰۴۰	۰/۰۸۶	۰/۰۹۹	۰/۴۹۳	۰/۸۸۸	۱/۲۸۳
ایلام	۰/۰۸۲	۰/۰۵۴	۰/۰۳۳	۰/۱۲۰	۰/۰۶۶	۰/۰۳۲۹	۰/۵۹۲	۰/۸۵۵
سرپل ذهاب	۰/۰۵۱	۰/۱۰۷	۰/۰۴۷	۰/۱۰۳	۰/۱۳۲	۰/۶۵۸	۱/۱۸۴	۱/۷۱۱
دالاهو	۰/۰۶۲	۰/۰۷۲	۰/۰۱۳	۰/۰۸۶	۰/۱۱۵	۰/۵۷۶	۱/۰۳۶	۱/۴۹۷
اسلام‌آباد غرب	۰/۰۹۲	۰/۰۹۰	۰/۰۲۰	۰/۰۶۹	۰/۰۸۲	۰/۴۱۱	۰/۷۴۰	۱/۰۶۹
گیلانغرب	۰/۰۷۲	۰/۰۳۶	۰/۰۴۰	۰/۱۰۳	۰/۰۶۶	۰/۳۲۹	۰/۵۹۲	۰/۸۵۵

## مرحله چهارم: تعیین مقادیر بالاترین و پایین‌ترین ارزش ماتریس نرمال وزنی

بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین عدد هر ستون تعیین می‌گردد. در اینجا منظور از بزرگ‌ترین عدد، یعنی عددی که بیشترین ارزش مثبت را داراست و کوچک‌ترین، یعنی بیشترین ارزش منفی. پس اگر معیار ما از نوع منفی باشد، بزرگ‌ترین عدد برعکس می‌شود یعنی می‌شود کمترین مقدار و کوچک‌ترین می‌شود بیشترین مقدار و بالعکس جدول (۶). رابطه (۳)

$$f_i^* = \max_j f_{ij}; \quad f_i^- = \min_j f_{ij}$$

جدول ۶- بیشترین و کمترین مقادیر نرمال شده هر یک از معیارها

معیار	زمین شناسی	فاصله از گسل	شیب	ارتفاع	منابع آب	فاصله از رودخانه	فاصله از جاده	کاربری اراضی
f max	۰/۰۹۲	۰/۱۰۷	۰/۰۵۴	۰/۱۲۰	۰/۱۳۲	۰/۶۵۸	۱/۱۸۴	۱/۷۱۱
f min	۰/۰۴۱	۰/۰۳۶	۰/۰۱۳	۰/۰۶۹	۰/۰۶۶	۰/۳۲۹	۰/۵۹۲	۰/۸۵۵
$f_i - f_j^*$	۰/۰۵۱	۰/۰۷۲	۰/۰۴۰	۰/۰۵۲	۰/۰۶۶	۰/۳۲۹	۰/۵۹۲	۰/۸۵۵

## مرحله پنجم: تعیین شاخص مطلوبیت (S) و شاخص نارضایتی (R)

در این مرحله با توجه به مقادیر مثبت و منفی محاسبه شده در مرحله قبل، فاصله هر گزینه از راه حل ایده آل و سپس حاصل جمع آن‌ها برای ارزش نهایی براساس رابطه ۴ محاسبه شد. به بیانی در این مرحله مطلوبیت<sup>۱</sup> و

<sup>1</sup> Utility measure

نارضایتی<sup>۱</sup> حاصل از انتخاب یک گزینه، به منزله رتبه برتر محاسبه می‌شود. مقادیر حداقل برای هر دو مقدار معرف کمترین فاصله از راه حل ایده آل (گزینه برتر) است که کمترین پشیمانی و بیشترین سودمندی را به همراه دارد.

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^-}; \quad R_j = \max_i \left[ w_i \cdot \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^-} \right]$$

رابطه ۴:

$f^*$  = بزرگترین عدد ماتریس نرمال وزنی برای هر ستون  $f_{ij}$  = عدد گزینه مورد نظر برای هر معیار در ماتریس نرمال وزنی  $f^-$  = کوچکترین عدد ماتریس نرمال وزنی برای هر ستون  $W$  = ضریب AHP  
 طبیعتاً برای گزینه به ازای هر معیار یک شاخص مطلوبیت به دست می‌آید که مجموع آن‌ها شاخص نهایی  $S_j$  گزینه را مشخص می‌کند. بزرگترین  $S_j$  هر گزینه به ازای هر معیار، شاخص نارضایتی ( $R_j$ ) آن گزینه می‌باشد. برترین و بدترین رتبه براساس ارزش  $S_j$  و  $R_j$  به دست می‌آید (جدول ۷).

جدول ۷- شاخص مطلوبیت ( $S_j$ ) و شاخص نارضایتی ( $R_j$ )

Rj	Sj	کاربری اراضی	فاصله از جاده	فاصله از رودخانه	منابع آب	ارتفاع	شیب	فاصله از گسل	زمین شناسی	معیار مناطق
-	-	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۶	۰/۲۰	۰/۲۹	$a_{ij}$
۲/۴۳۸	۵/۵۲۵	۲/۴۳۸	۱/۶۸۸	۰/۹۳۸	۰/۱۸۸	۰/۱۶۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۰۸	کرمانشاه
۱/۶۲۵	۳/۹۳۵	۱/۶۲۵	۱/۱۲۵	۰/۶۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۶۷	۰/۰۳۳	۰/۰۵۵	۰/۱۸۰	جوانرود
۳/۲۵۰	۷/۲۵۱	۰/۲۵۰	۲/۲۵۰	۰/۲۵۰	۰/۲۵۰	۰/۰۰۰	۰/۰۵۰	۰/۱۶۵	۰/۰۳۶	ایلام
۰/۱۴۴	۰/۲۴۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۸۳	۰/۰۱۷	۰/۰۰۰	۰/۱۴۴	سرپل ذهاب
۰/۸۱۳	۲/۲۳۵	۰/۸۱۳	۰/۵۶۳	۰/۳۱۳	۰/۰۶۳	۰/۱۶۷	۰/۱۰۰	۰/۱۱۰	۰/۱۰۸	دلاهو
۲/۴۳۸	۵/۶۳۸	۲/۴۳۸	۱/۶۸۸	۰/۹۳۸	۰/۱۸۸	۰/۲۵۰	۰/۰۸۳	۰/۰۵۵	۰/۰۰۰	اسلام آباد
۳/۲۵۰	۷/۴۰۹	۳/۲۵۰	۲/۲۵۰	۱/۲۵۰	۰/۲۵۰	۰/۰۸۳	۰/۰۳۳	۰/۲۲۰	۰/۰۷۲	گیلانغرب

مرحله ششم: محاسبه مقدار  $Q$  و رتبه بندی نهایی گزینه‌ها

در نهایت پس از محاسبه مقادیر سودمندی و پشیمانی شاخص ویکور ( $Q$ ) برای هر گزینه (نواحی مطالعاتی) به صورت مجزا و براساس رابطه (۵) محاسبه شد (جدول ۸).

$$Q_j = v \cdot \frac{S_j - S^-}{S^* - S^-} + (1-v) \cdot \frac{R_j - R^-}{R^* - R^-}$$

رابطه ۵:

$V =$  عدد ثابت ۰/۵؛  $S_j =$  مجموع مقدار  $S$  برای هر گزینه؛  $S^- =$  بزرگ‌ترین عدد شاخص  $S$  برای هر گزینه  $S^* =$  کوچک‌ترین عدد شاخص  $S$  برای هر گزینه؛  $R_j =$  مقدار  $R$  برای هر گزینه؛  $R^- =$  بزرگ‌ترین عدد شاخص  $R$  برای هر گزینه؛  $R^* =$  کوچک‌ترین عدد شاخص  $R$  برای هر گزینه

جدول ۸- مقادیر شاخص ویکور در نواحی منطقه مطالعاتی

مناطق	کرمانشاه	جوانرود	ایلام	سرپل ذهاب	دالاهو	اسلام آباد غرب	گیلانغرب
مقدار Q	۰/۲۶۲	۰/۵۰۴	۰/۰۱۱	۰/۲۸۹	۰/۰۷۴	۰/۰۳۳	۰/۰۰۰

در این مرحله بر اساس مقادیر  $Q$  محاسبه شده در گام قبل، گزینه‌ها رتبه بندی و تصمیم بهینه در ارتباط با انتخاب گزینه برتر (حساسیت پذیری بالاتر به زمین لغزش) انجام گرفت؛ به گونه‌ای که در این مرحله مقادیر  $S$  و  $R$  در سه گروه برای هر گزینه تعیین و مشخص شد. در نهایت گزینه‌های که در هر سه گروه مناسب شناخته شد، با عنوان گزینه برتر انتخاب شد (جدول ۹).

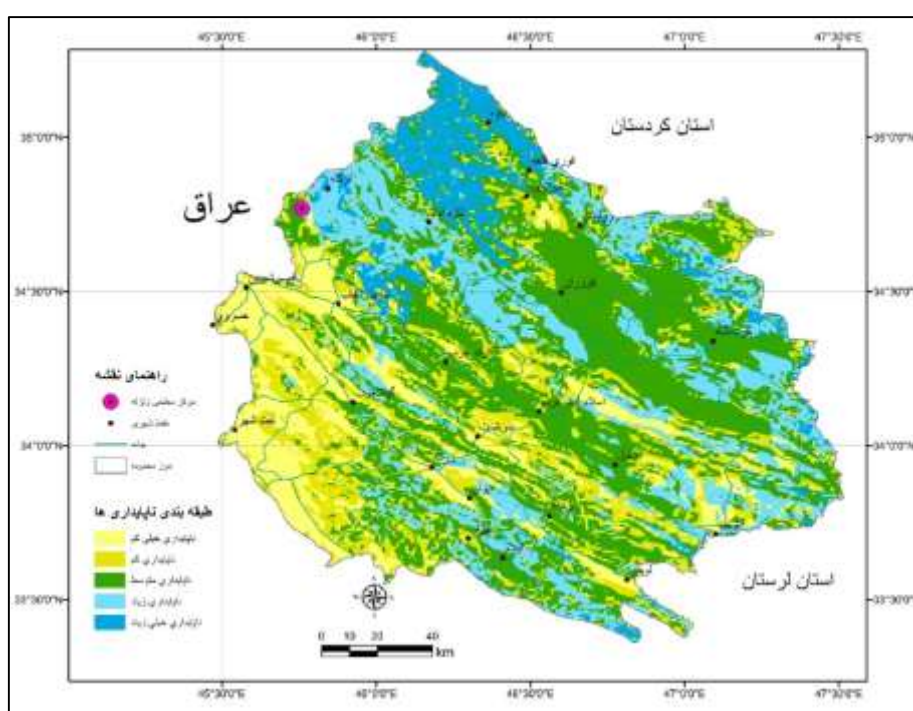
جدول ۹- رتبه بندی مقادیر  $Q$ ،  $R$  و  $S$  برای هر یک از مناطق (نواحی) مطالعاتی

مناطق (نواحی)	شاخص مطلوبیت ( $S_j$ )	رتبه	شاخص نارضایی ( $R_j$ )	رتبه	شاخص ویکور ( $Q$ )	رتبه
کرمانشاه	۵/۵۲۵	۴	۲/۴۳۸	۲	۰/۲۶۲	۴
جوانرود	۳/۹۳۵	۵	۱/۶۲۵	۳	۰/۵۰۴	۳
ایلام	۷/۲۵۱	۲	۳/۲۵۰	۱	۰/۰۱۱	۶
سرپل ذهاب	۰/۲۴۴	۷	۰/۱۴۴	۵	۱/۰۰۰	۱
دالاهو	۲/۲۳۵	۶	۰/۸۱۳	۴	۰/۷۵۳	۲
اسلام آباد غرب	۵/۶۳۸	۳	۲/۴۳۸	۲	۰/۲۵۴	۵
گیلانغرب	۷/۴۰۹	۱	۳/۲۵۰	۱	۰/۰۰۰	۷

پس از تعیین رتبه  $Q$  و دسته بندی مقادیر  $R$  و  $S$  برای تهیه نقشه پهنه‌بندی ناپایداری‌ها در منطقه مطالعاتی بر پایه مقادیر شاخص بهینه سازی ویکور ( $Q$ )، مناطق در ۵ کلاس کیفی (بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) طبقه‌بندی شدند (جدول ۱۰). در نهایت بر اساس طبقات حساسیت و مقادیر کمی  $Q$ ، نقشه پهنه‌بندی ناپایداری‌های ژئومورفولوژیکی منطقه مطالعاتی در محیط GIS تهیه گردید (شکل ۴).

جدول ۱۰- کلاس بندی کمی و کیفی درجه ناپایداری

درجه ناپایداری	کلاس (طبقه)	مقدار کمی ویکور (Q)
بسیار کم	I	$> 0/8$
کم	II	$0/6 - 0/8$
متوسط	III	$0/4 - 0/6$
زیاد	V	$0/2 - 0/4$
خیلی زیاد	IV	$< 0/2$



شکل ۴- نقشه پهنه بندی ناپایداری‌های ژئومورفولوژیکی منطقه با استفاده از روش ویکور

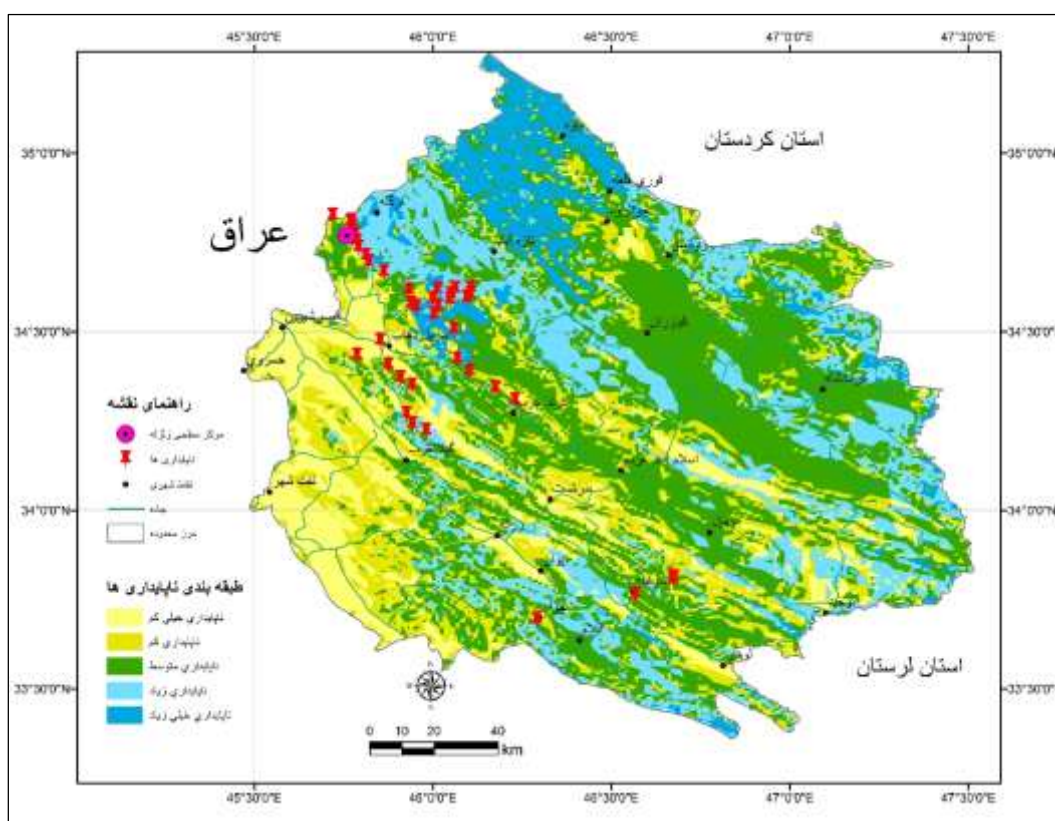
جدول ۱۱- مساحت و درصد پهنه‌های ناپایداری‌ها

ردیف	طبقه ناپایداری	مساحت پهنه (هکتار)	مساحت پهنه (درصد)
۱	ناپایداری خیلی کم	۳۵۵۱	۱۵/۲۹
۲	ناپایداری کم	۴۳۰۳	۱۸/۵۳
۳	ناپایداری متوسط	۸۹۸۹	۳۸/۷۰
۴	ناپایداری زیاد	۴۴۸۲	۱۹/۳۰
۵	ناپایداری خیلی زیاد	۱۹۰۰	۸/۱۸
	مجموع	۲۳۲۲۵	۱۰۰

#### ۴-۱- صحت سنجی نقشه پهنه‌بندی ناپایداری‌های ژئومورفولوژیکی منطقه

پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی ناپایداری‌های حاصل از زمین‌لرزه با استفاده از روش ویکور، به‌منظور مدیریت و برنامه‌ریزی بهتر مناطق آسیب دیده اقدام به انطباق نقشه پهنه‌بندی با نقشه توزیع ناپایداری‌های ژئومورفولوژیکی شاخص در اثر زمین‌لرزه گردید. نتایج این انطباق بیانگر این است که بیشتر ناپایداری‌ها از جمله زمین‌لغزش‌ها، سقوط و ریزش سنگها در پهنه خطر متوسط، پهنه خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. نتایج انطباق پهنه‌های خطر در جدول (۱۲) نشان داده شده است.

بنابراین از انطباق و همخوانی این دو نقشه می‌توان به صحت نقشه حاصله پی برد و همچنین مشخص شد که مدل ویکور مورد استفاده در این پژوهش روش کاملاً مناسبی جهت پهنه‌بندی ناپایداری‌های ژئومورفولوژیکی منطقه مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۵).



شکل ۵- تطبیق نقشه‌های پهنه‌بندی با توزیع ناپایداری‌های ژئومورفولوژیکی منطقه مطالعاتی



بیش از ۱۸ مورد سقوط و ریزش سنگ‌ها، ۳ مورد زمین لغزش از نوع صفحه‌ای از جمله زمین لغزش مله کبود-قورچی باشی، پهنه لغزشی شمال دالاهو (زمین لغزش پالان علیا) و سنگ لغزش پاسگاه دار زنگنه در طبقات ناپایداری زیاد و خیلی زیاد اتفاق افتاده است.

#### جدول ۱۲- انطباق شاخص‌ترین اشکال ناپایداری با پهنه‌های ناپایدار در منطقه مطالعاتی

نوع ناپایداری	جریان مواد و گل	انواع زمین لغزش‌ها	گسیختگی تاج تپه‌ها	روانگرانی	سقوط و ریزش سنگها
درجه ناپایداری	Debride and Mud Flow	Different Types of Sliding	Hills Crest Spreading	Liquefaction	falls/Rock Avalanches
ناپایداری خیلی کم	۱	۰	۰	۱	۰
ناپایداری کم	۰	۰	۱	۰	۳
ناپایداری متوسط	۰	۴	۱	۰	۵
ناپایداری زیاد	۰	۲	۱	۰	۱۰
ناپایداری خیلی زیاد	۰	۱	۰	۰	۸
مجموع	۱	۸	۳	۱	۲۵



ب) زمین لغزش مله کبود-قورچی باشی



الف) گل روانه شهر چوار در استان ایلام



ت) شکاف‌های عرضی عمیق مله کبود-قورچی باشی



پ) ریزش سنگی دره بابایادگار



ج) ریزش سنگی دره بابایادگار      گسیختگی تاج تپه‌ها جنوب شرق پاسگاه دارزنگنه

#### ۴- جمع‌بندی

نتایج تحقیق نشان داد که از بین عوامل مؤثر در وقوع ناپایداری‌ها، عوامل زمین‌شناسی، فاصله از گسل و شیب به ترتیب با ۰/۲۳، ۰/۲۲ و ۰/۱۵ امتیاز بیشترین تأثیر و عوامل خاک و کاربری اراضی هر دو با ۰/۰۳ امتیاز کمترین تأثیر در ایجاد ناپایداری‌های منطقه را دارا هستند.

پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی ناپایداری‌های حاصل از زمین‌لرزه با استفاده از روش ویکور، به‌منظور مدیریت و برنامه‌ریزی بهتر منطق آسیب دیده اقدام به انطباق نقشه پهنه‌بندی با نقشه توزیع ناپایداری‌های ژئومورفولوژیکی شاخص در اثر زمین‌لرزه گردید. نتایج بیانگر این است که بیشتر ناپایداری‌ها از جمله زمین‌لغزش‌ها، سقوط و ریزش سنگها در پهنه خطر متوسط، پهنه خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارند.

بر اساس مدل ویکور با افزایش مقدار شاخص ویکور ( $Q$ )، توان و استعداد و یا به عبارتی حساسیت به ناپایداری کاهش می‌یابد و بالعکس با کاهش مقدار شاخص ویکور ( $Q$ )، توان و استعداد و یا به عبارتی حساسیت به ناپایداری افزایش پیدا می‌کند؛ بنابراین نواحی سرپل ذهاب، دالاهو و جوانرود با کمترین مقدار  $Q$  دارای بیشترین میزان آسیب‌پذیری به ناپایداری‌ها و نواحی گیلانغرب، ایلام و اسلام آباد غرب با بیشترین مقدار  $Q$  دارای کمترین میزان آسیب‌پذیری به ناپایداری‌ها هستند. از نظر طبقه‌بندی کمی و کیفی درجه ناپایداری، نواحی سرپل ذهاب و دالاهو در طبقه ناپایداری خیلی زیاد، نواحی جوانرود و کرمانشاه در طبقه ناپایداری زیاد، ناحیه اسلام آباد در طبقه ناپایداری متوسط، ناحیه ایلام در طبقه کم و ناحیه گیلانغرب در طبقه ناپایداری بسیار کم قرار گرفته‌اند.

از انطباق نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از روش ویکور به‌عنوان یکی از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره، از دقت نسبی بالایی جهت مطالعه ناپایداری‌های

ژئومورفولوژیکی مناطق برخوردار است که با نتایج تحقیقات مددی و همکاران (۱۳۹۴)، سپهر و همکاران (۱۳۹۲)، امیری و همکاران (۱۳۹۷)، حجازی و همکاران (۱۳۹۸)، بنی حبیب و چیت ساز (۱۳۹۵)، انتظاری و همکاران (۱۳۹۵) و حجازی و همکاران (۱۳۹۸) که کارایی بالای مدل ویکور در تحقیقات خود را نشان دادند، مطابقت و همخوانی دارد.

به‌عنوان نتیجه اصلی از این مدل در پهنه‌بندی می‌توان گفت که روش ویکور با بهره‌گیری از توافق و نظر جمعی دقت و قدرت زیادی داشته و در عین سادگی روابط ریاضی قوی برای تصمیم‌گیری در اختیار دارد و در موارد متنوعی از تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

#### کتابنامه

- اسدی، سمانه؛ رحیمی، حبیب؛ رضاپور، مهدی؛ امیری فرد، روح‌الله؛ ۱۳۹۶. برآورد رابطه بزرگای زمین‌لرزه با استفاده از مدت دوام امواج کدا در پهنه زاگرس و جنوب غربی ایران مرکزی، نشریه فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۴، شماره ۱، صص ۲۲-۱۵.
- اسفندیاری درآباد، فریبا؛ غفاری گیلانده، عطا؛ لطفی، خداداد؛ ۱۳۹۱. مدل‌سازی ضریب آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تاپسیس در محیط GIS (مطالعه موردی: اردبیل)، نشریه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۲، صص ۷۹-۴۳.
- امیری، مهدیس؛ پورقاسمی، حمیدرضا؛ عرب عامری، علیرضا؛ ۱۳۹۷. اولویت بندی سیل خیزی زیرحوضه های آبخیز مهارلو در استان فارس با استفاده از پارامترهای مورفومتریک و مدل تصمیم‌گیری VIKOR، نشریه اکوهیدرولوژی، دوره ۵، شماره ۳، صص ۸۲۷-۸۱۳.
- انتظاری، مژگان؛ خدادادی، فاطمه؛ رستمی، اکبر؛ ۱۳۹۵. ارزیابی خطر ریسک زمین‌لغزش حوضه آبخیز طالقان رود بر پایه الگوریتم بهینه‌سازی توافقی ویکور، نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره ۱۷، صص ۳۴-۵.
- بنی حبیب، محمدابراهیم؛ چیت ساز، نسترن؛ ۱۳۹۵. مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره ویکور برای ارزیابی گزینه‌های مدیریت سیلاب، نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره ۶، شماره ۲۵، صص ۸۲-۶۸.
- حجازی، سید اسدالله؛ روستایی، شهرام؛ رنجبریان شادباد، مریم؛ ۱۳۹۸. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل ویکور در حوضه آبریز حاجیلرچای، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال ۱۲، شماره ۴۴، صص ۶۵-۵۱.
- خدادادی، فاطمه؛ انتظاری، مژگان؛ ساسان پور، فرزانه؛ ۱۳۹۸. تحلیل و پهنه‌بندی مخاطرات ژئومورفولوژیک (لغزش و سیل) استان البرز با استفاده از مدل‌های VIKOR-AHP و FR، نشریه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)، دوره ۵۱، شماره ۱، صص ۱۹۹-۱۸۳.

سپهر، عادل؛ بهنیا، ابوالفضل؛ محمدیان، عباسعلی؛ عبدالهی، ابوالفضل؛ ۱۳۹۲. تهیه نقشه حساسیت پذیری زمین لغزش دامنه‌های شمالی بینالود بر پایه الگوریتم بهینه‌سازی توافق ویکور، نشریه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۱، ۱۹-۳۶.

شریفی کیا، محمد؛ شایان، سیاوش؛ یمان، مجتبی؛ عرب عامری، علیرضا؛ ۱۳۹۷. طبقه‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز نکارود با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS, SAW و VIKOR، نشریه اکوهیدرولوژی، دوره ۵، شماره ۱، صص ۸۳-۶۹.

صادقی، نوشین؛ بزی، خدارحم؛ خواجه شاهکوهی، علیرضا؛ رضایی، حامد؛ ۱۳۹۶. تحلیل و برآورد آسیب‌پذیری مسکن شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: شهر گرگان)، نشریه آمایش جغرافیایی فضا، دوره ۷، شماره ۲۵، صص ۸۸-۷۳.

صفاری، امیر؛ حبیبی، علیرضا؛ غریب، محمدرضا؛ ۱۳۹۲. شاخص‌های مورفوتکتونیک و زمین‌لرزه (مطالعه موردی: مناطق پرخطر استان خوزستان، دومین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات محیطی، تهران، دانشگاه خوارزمی).

عابدینی، موسی؛ پیروزی، ناز؛ آقایی، لیلا؛ استادی، ناز؛ ۱۳۹۶. پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهرستان مشکین شهر با استفاده از مدل ویکور، نشریه جغرافیایی سرزمین، دوره ۱۴، شماره ۵۶، صص ۳۴-۲۱.

قهرودی تالی، منیژه؛ پورموسوی، موسی؛ خسروی، سمیه؛ ۱۳۹۱. بررسی پتانسیل تخریب لرزه‌خیزی با به‌کارگیری مدل‌های چندشاخصه (مطالعه موردی: منطقه ۱ شهر تهران)، نشریه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۳، صص ۶۸-۵۷.

مددی، عقیل؛ غفاری گیلانده، عطا؛ پیروزی، ناز؛ ۱۳۹۴. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل ویکور (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آق لاقان چای)، نشریه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴، صص ۱۴۱-۱۲۴.

مددی، عقیل؛ غفاری، عطا؛ پیروزی، ناز؛ ۱۳۹۴. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر ریزش با استفاده از مدل VIKOR (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آق لاقان چای)، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۶۰، صص ۸۰-۶۳.

نصیری، علی؛ ۱۳۹۵. پهنه‌بندی خطر زمین لرزه منطقه شهری ارومیه، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال شانزدهم، شماره ۴۰، صص ۱۳۰-۱۱۳.

Hara, T., 2007. Measurement of the duration of high-frequency energy radiation and its application to determination of the magnitudes of large shallow earthquakes. *Earth Planets Space*. ۲۳۱-۵۹/۲۲۷

Huang, J. J, Tzeng, G. H., Liu, H. H., 2009. A Revised VIKOR Model for Multiple Criteria Decision Making - The Perspective of Regret Theory, *Communications in Computer and Information Science*, 35:761-768

Jianqi. Z., Jianbing. P., Chong. X., Zhenhong. L., Yifei. C., 2018. Distribution and characteristics of loess landslides triggered by the ۱۹۲۰ Haiyuan Earthquake, Northwest of China. *Geomorphology*, Volume ۳۱۴, 1-12

- Jun. X., Ming. W., Kai. L., Tom J. C., 2018. Modeling sediment movement and channel response to rainfall variability after a major earthquake. *Geomorphology*, Volume ۳۲۰, -۱۸۰-۱۸۳.
- Khaista. R., Wajid. A., Asghar. A., Aamir. A., Adnan. B., 2017. Shallow and intermediate depth earthquakes in the Hindu Kush region across the Afghan-Pakistan border. *Journal of Asian Earth Sciences*, Volume ۱۴۸, ۲۵۳-۲۴۱.
- Maria. B., Burcu. B., Huifu. X., 2018. Disaster preparedness using risk-assessment methods from earthquake engineering. *European Journal of Operational Research*, Volume ۲۶۹, Issue ۲, ۴۳۵-۴۲۳.
- Negaresh. H., Khosravi. M., 2008. The Bam Earthquake Analysis and its Geomorphological Manifestations and Evidences. *Journal of Humanities the University of Isfahan*, Vol. ۳۰, No.۲, ۲۰-۱.
- Palizvan, M, R., 2016. Mechanism of Quaternary faulting in west of Kermanshah and the relationship with local seismicity. Master's thesis. *Institute for Advanced Studies in Basic Sciences*, Gava Zang, Zanjan, Iran
- Solaymani Azad, S., Saboor, N., Moradi, M., Ajhdari, A., Youssefi, T., Mashal, M., Roustaei, M., 2017. Preliminary report on geological investigations of the Ezgaleh-Kermanshah earthquake (M~۷/۳), ۱۲, West Iran, *Website report of the Geological Survey of Iran*
- Stathis. C. S., 2018. Intensities of ancient earthquakes, earthquake magnitude and soil dynamics effects. Evidence from the ۱۷۵۰ Croatia earthquake. *Geodesy and Geodynamics*, In press, corrected proof, Available online
- Yong. C., JiuPeng H., Fei, P., 2018. Seismological challenges in earthquake hazard reductions: reflections on the Wenchuan. *Science Bulletin*, Volume ۶۳, Issue ۱۷, ۱۱۶۶-۱۱۵۹.