

## تحلیل و پهنه بندی ناپایداری های ژئومورفولوژیکی ناشی از زلزله از گله (۲۱) آبان ۱۳۹۶، $M_w=7.3$ ) در استانهای ایلام و کرمانشاه

فتح الله نادری<sup>۱\*</sup>، صمد فتوحی<sup>۲</sup>، حسین نگارش<sup>۳</sup> و مرضیه خلیلی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی-مدیریت محیطی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

naderigeo@yahoo.com

۲- دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. samadfotohi@yahoo.com

۳- استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. h\_negarsh@yahoo.com

۴- استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. marziehkhali@shirazu.ac.ir

### چکیده

هدف اصلی این پژوهش مطالعه ناپایداری های ژئومورفولوژیکی حاصل از زلزله از گله در استان کرمانشاه و ایلام با استفاده از مطالعات میدانی و تصاویر ماهواره ای و پهنه بندی آنها می باشد. منطقه تحت تأثیر این زلزله بسیار مستعد وقوع انواع حرکات و ناپایداری های ژئومورفولوژیکی است. دلایل آن، وجود چین خوردگی های جوان زاگرس همراه با عملکرد گسل های قطع کننده آنهاست که خردشدگی های شدیدی را در منطقه ایجاد کرده اند. برای انجام این تحقیق ابتدا ناپایداری های ژئومورفولوژیکی شاخصی که در تشدید خسارات ناشی از زلزله مؤثر بوده اند مورد شناسایی قرار گرفتند. سپس با استفاده از نقشه های توپوگرافی، زمین شناسی، تصاویر ماهواره ای و عملیات میدانی اقدام به تعیین موقعیت آنها گردید. این ناپایداری ها شامل زمین لغزش ها، ریزش ها و بهمن های سنگی، جریان ها، گسیختگی های تاج تپه ها و فرونشست زمین می باشند. با استفاده از روش تصمیم گیری چند شاخصه (MADM) منطقه مورد مطالعه از لحاظ ناپایداری ها پهنه بندی گردید. نتایج پهنه بندی نشان داد که دو طبقه خطر 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 داده اند و از بین عوامل مؤثر در وقوع ناپایداری ها، عوامل سن زمین شناسی، فاصله از گسل و شیب بترتیب با ۰/۲۳، ۰/۲۲ و ۰/۱۵ امتیاز بیشتری تأثیر در ایجاد ناپایداری های منطقه را دارا هستند. انطباق نقشه پهنه بندی ناپایداری ها با نقشه توزیع ناپایداری های بیانگر انطباق بیشتر ناپایداری ها از جمله زمین لغزش ها، ریزش های سنگی و فرونشست ها با طبقات خطر بالا می باشد.

واژگان کلیدی: زلزله از گله، ناپایداری های ژئومورفولوژیکی، پهنه بندی، چین خوردگی جوان زاگرس.

### مقدمه

حرکات مداوم صفحات تکتونیکی و گسیختگی ناگهانی سنگ ها در اعماق است. شدت خسارات و تلفات ناشی از زلزله به میزان توسعه یافتگی و تراکم جمعیت، ایمنی ساختمان های شهرها و روستاها در برابر زلزله و آگاهی و آمادگی افراد جامعه برای رعایت نکات ایمنی بستگی دارد. محققین بسیاری در رشته های لرزه شناسی، زمین شناسی، ژئوفیزیک، جغرافیا و ... زلزله را از دیدگاههای متفاوتی از

ایران یکی از مناطق فعال و لرزه خیز جهان است که همواره وقوع زلزله های بزرگ و مخرب باعث بروز خسارات مالی و جانی فراوانی شده است. موقعیت خاص زمین شناسی منطقه (قرار گیری در کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا) و تکتونیک فعال آن که با توپوگرافی مرتفع، آتشفشانهای زنده و گسلهای فعال شاخص شده، باعث گشته که این منطقه همواره مورد توجه محققان قرار گیرد. زلزله ناشی از

۲۰۱۹ و ۲۰۲۰) با بهره گیری از تصاویر ماهواره ای و داده های ژئو فیزیکی و ... به بررسی زلزله سراوان سال ۲۰۱۳ در منطقه سیستان و بلوچستان پرداختند. همانگونه که اشاره شد یکی از جنبه های مهم تحقیقاتی زلزله، بررسی عوامل مؤثر بر زلزله است که این عوامل مانند جنس مواد تشکیل دهنده بستر زمین، تاثیر ساختارهای زمین شناسی مانند گسل ها و شکستگی ها و شیب و ... می باشند. جنبه دیگر تحقیقات بررسی پیامدهای زمین شناسی و ژئومورفولوژیکی زلزله مانند زمین لغزش ها، سقوط و ریزش سنگها، فرونشست زمین و بالا آمدگی و ... به منظور مدیریت بحران و ارزیابی خسارات ناشی از آنها می باشد. قائم مقامیان و خلیلی (۱۳۸۵) به بررسی تأثیر نوع گسل، بزرگای زلزله و اثر فاصله برای گسلش ناهمگن بر حرکات توانمند در حوزه ی نزدیک گسل اقدام نمودند. اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۳۹۱)، ضریب آسیب پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تاپسیس در محیط GIS در شهر اردبیل را مدل سازی کردند. فتوحی و همکاران (۱۳۹۲) مناطق مستعد نسبت به لغزش در شمال نیشابور را با استفاده از روش AHP مکان یابی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که عامل شیب و زمین شناسی با بیشترین ضرایب وزنی مؤثرترین عوامل در وقوع زمین لغزش منطقه مورد مطالعه هستند. صفاری و همکاران (۱۳۹۲)، شاخص های مورفوتکتونیک و زمین لرزه در مناطق پرخطر استان خوزستان مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. پرتابیان و همکاران (۱۳۹۶) کارایی پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل های ارزش اطلاعات و تراکم سطح در استان سیستان و بلوچستان را مورد مقایسه و بررسی قرار دادند که در این تحقیق به منظور مقایسه روش ها نسبت به یکدیگر و تعیین کارآمدی آن ها از شاخص های مجموع کیفیت (QS) و دقت (P) استفاده نمودند. نگارش و خسروی (۲۰۰۸)، شواهد ژئومورفولوژیکی زلزله بم را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق عوارض و پیامدهای ژئومورفولوژیکی که در اثر این زمین لرزه ایجاد شده بودند شناسایی کردند که مهمترین آنها زمین لغزش ها، ریزش

جمله ماهیت فیزیکی زلزله، متغیرهای مؤثر بر زلزله، پیش نشانگرهای زلزله، پیامدهای طبیعی ناشی از زلزله و ... مورد تحلیل و بررسی قرار داده اند. یکی از این موارد بهره گیری از روشها و داده های مختلف به منظور بررسی احتمال خطر لرزه ای و پهنه بندی لرزه زمین ساخت مناطق مختلف می باشد.

از جمله این تحقیقات می توان به مطالعات لرزه زمین ساخت نوری (۱۹۷۶)، بربریان و کینگ (۱۹۸۱) اشاره کرد. آرین و هاشمی (۱۳۸۷)، زاگرس را از لحاظ لرزه زمین ساختی مورد پهنه بندی قرار دادند که بر اساس ویژگی های زمین شناختی زاگرس را به ۱۴ ایالت تقسیم بندی کردند و سپس متغیرهای لرزه خیزی آن ها محاسبه نمودند. زمانی و همکاران (۲۰۱۱ و ۲۰۱۲) با استفاده از داده های لرزه ای، ژئوفیزیکی و زمین شناسی، ایران را به ۱۱ زون لرزه زمین ساختی تقسیم نموده و مناطق مختلف ایران را از لحاظ خطر لرزه ای با بزرگی بالای ۴/۵ ریشتر پهنه بندی نمودند. مجد جباری و همکاران (۱۳۸۳) اقدام به تهیه نقشه های پهنه بندی شتاب طیفی (برای بیشینه شتاب در ۵۰ سال) و تحلیل احتمال خطر با رابطه کاهنگی طیفی برای گستره شهر تهران با توجه ویژه به اثرهای خاک نمودند.

امروزه استفاده از فناوری سنسجش از دور در مطالعات مربوط به مدیریت بحران حوادث طبیعی از جمله مطالعه و پیش بینی زلزله به عنوان یکی از مباحث مهم تحقیقاتی مطرح می باشد. محققان بسیاری با استفاده از تصاویر ماهواره ای و تکنیک سنسجش از دور، اقدام به مطالعه زلزله، شواهد و پیامدهای آن نمودند. به عنوان نمونه علوی پناه و همکاران (۱۳۸۶)، نقش سنسجش از دور و بررسی های میدانی در تجزیه و تحلیل های مورفوتکتونیک زلزله بم را مورد بررسی قرار دادند. جیان کی و همکاران (۲۰۱۸)، توزیع و خصوصیات لرزه های زمین لغزش ناشی از زمین لرزه سال ۱۹۲۰ هاپوان در شمال غربی چین را با استفاده از تصاویر ماهواره ای و تحقیقات میدانی مطالعه و بررسی نمودند که نتایج حاکی از آن بود که زمین لغزش های ناشی از زلزله عمدتاً موازی با گسل ها هستند. خلیلی و همکاران

سنگها، فرونشست زمین و شکاف های کششی در سطح زمین می باشند. اویسی و همکاران (۲۰۰۹)، میزان تغییر شکل پوسته در منطقه زاگرس مرکزی با جابجایی سطوح ژئومورفیک را مشخص نمودند. جان زی و همکاران (۲۰۱۸)، حرکت رسوب و پاسخ دیواره کانال ها نسبت به تغییرات بارندگی پس از یک زلزله بزرگ را مدل سازی نموده و نشان دادند که عملکرد رسوبات می تواند به طور معنی داری در راندهایی بعد از زلزله تأثیر داشته باشند. زمین لرزه ازگله در تاریخ ۲۱ آبان ۱۳۹۶ با بزرگای  $Mw=7.3$  درجه در مقیاس ریشتر در شهرستان سرپل ذهاب استان کرمانشاه در مرز بین کشورهای ایران و عراق بوقوع پیوست. بعد از زمین لرزه ازگله، به لحاظ اهمیت موضوع توجه محققان مختلفی به آن جلب گردید و پژوهشهایی در این زمینه انجام شده است. از مهمترین تحقیقات صورت گرفته راجع به زمین لرزه ازگله سرپل ذهاب می توان به موارد ذیل اشاره نمود:

زارع و همکاران (۲۰۱۷) گزارش اولیه ای از زمین لرزه سرپل ذهاب را انجام دادند که در این گزارش ویژگی های لرزه ای زلزله، شدت اولین حرکت، زمین لرزه های مهم و تاریخی در منطقه و همچنین مطالعات تداخل سنجی SAR را انجام دادند. سلیمانی آزاد و همکاران (۲۰۱۷)، گزارش مقدماتی تحقیقات زمین شناسی زمین لرزه ازگله کرمانشاه را ارائه نمودند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که مطالعات اخیر نشانگر عمق جداشدگی ۱۸-۱۵ کیلومتری زیرزمین در این بخش از قلمرو زاگرس است. این کم و بیش با عمق کانونی زلزله اخیر همخوانی دارد. از این رو، ممکن است زمین لرزه با گسلش سطحی همراه نباشد. دینگ و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از تصاویر ماهواره ای رادار اقدام به بررسی تغییر شکل همزمان با زلزله ازگله نمودند. نتایج حاکی از جابه جایی عمودی ماکزیمم ۹/۷ سانتیمتری زمین در حین زلزله می باشد. چن و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی تحت عنوان زمین لرزه سرپل ذهاب وقوع یک فرود کم عمق، فشرده و پنهان در گسل جبهه کوهستان (MFF) زاگرس به مطالعه متغیرهای همچون منشأ زلزله، روند

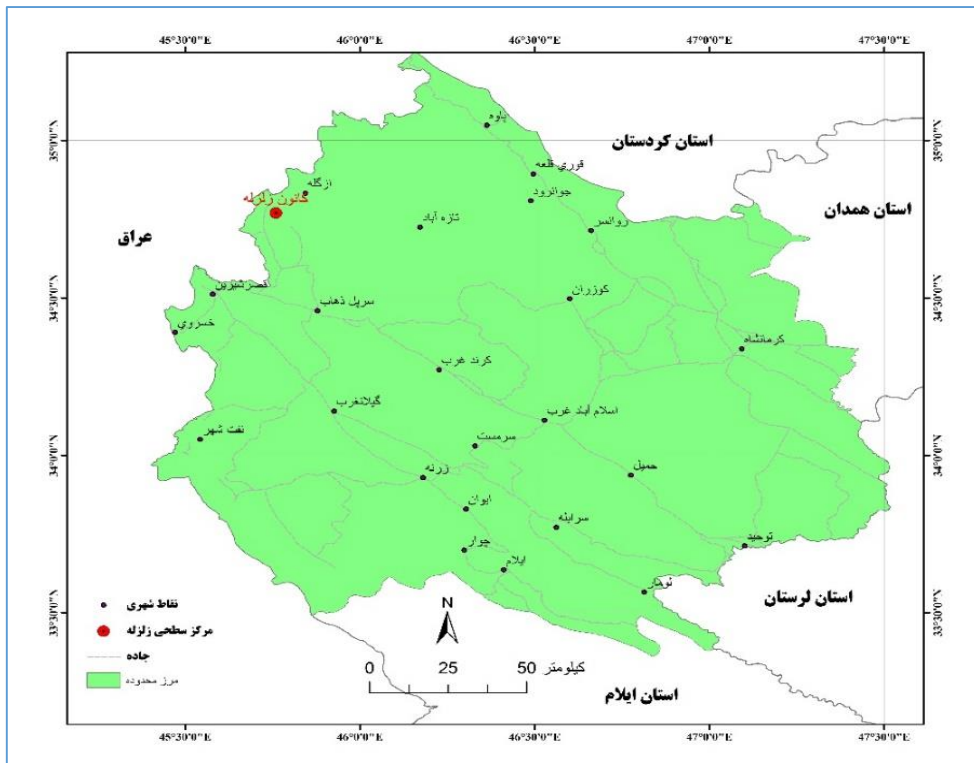
پارگی و ویژگی های تکتونیکی فعال این رویداد، از داده های رادار تله سیمیک و سنتیک استفاده نمودند. نشان دادند که با توجه به زمینه ساختار تکتونیکی از توزیع گسل های شناخته شده و لیتولوژی منطقه، حداکثر لغزش یا در کمترین پوشش رسوبی یا بالاترین سطح گسل جبهه کوهستان واقع شده است. تاوانی و همکاران (۲۰۱۸)، در تحقیقی محدودیت های داده های سطحی و زیر سطحی، سطح مقطع، تعادل و ترمیم سیستم گسل لرزه زا در زمین لرزه ۷/۳ ریشتری سرپل ذهاب در مرز بین ایران و عراق را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس این تحقیق، حرکت اصلی این زمین لرزه در زیرزمین و در امتداد گسل جبهه کوهستان با زاویه کم قرار دارد. فنگ و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی محدودیت های ژئودزیکی زمین لرزه سرپل ذهاب و پیامدهای آن بر ساختار و مکانیک زاگرس شمال غربی را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه از تداخل سنجی ALOS2, Sentinel-1 و RADARSAT-2 استفاده نمودند. مدل گسل هم لرز نشان می دهد که گسل لرزه زا دارای ضربه  $5 \pm 351$  درجه و شیب  $5 \pm 14/5$  است. اکثر لغزش های هم لرز در یک منطقه باریک بین عمق از ۱۲ تا ۱۷ کیلومتر متمرکز شده است. گمبرت و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی با عنوان منبع تحریک آمیزه زلزله ۲۰۱۷،  $MW=7.3$  ازگله ایران را انجام داده اند. در این تحقیق با استفاده از تکنیک تداخل سنجی رادار یک مدل لغزش جنبشی را معرفی می کنند و تکامل زمانی این لغزش هم لرز را نشان می دهند. پور محمد شاهوار و همکاران (۲۰۱۹)، نقشه های لرزش زمین در زمین لرزه سرپل ذهاب را تهیه کردند که این نقشه ها شدت، شتاب و سرعت وقوع زلزله به صورت دستگاهی - بدون بازدید از منطقه - را پس از رخداد تعیین می کنند و در اختیار دستگاه های مسئول مدیریت بحران و امدادسانی قرار می دهند. داده های مورد استفاده برای تولید این نقشه ها از ۱۱۳ ایستگاه ISMN در اطراف مرکز زلزله جمع آوری کردند. یانگ و همکاران (۲۰۱۹) نیز با استفاده از داده های ماهواره ای تغییرات همزمان با زلزله و تغییرات پس از زلزله

به استفاده از ایستگاه های محلی بویژه قرائت های فاز سه ایستگاه واقع در کشور عراق کانون زمین لرزه 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 مکان یابی صورت گرفته، عمق کانون زمین لرزه حدود ۱۸ کیلومتر برآورد شده است. مطابق مدل اولیه تهیه شده توسط موسسه GSI کشور ژاپن و بر پایه تحلیل داده های 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 می باشد (سلیمانی آزاد و همکاران، ۲۰۱۷). زلزله ازگله در محل عبور از طاقدیس لرستان در جنوب شرقی و فروافتادگی کرکوک (KE) در شمال غربی رخ داده است. این منطقه توسط رسوباتی به ضخامت ۸ تا ۱۳ کیلومتر که به شدت در تاقدیس های متعددی چین خورده است پوشیده شده است. در زیر این رسوبات تعداد زیادی گسل معکوس وجود دارد (تاوانی و همکاران، ۲۰۱۸ و گمبرت و همکاران، ۲۰۱۹).

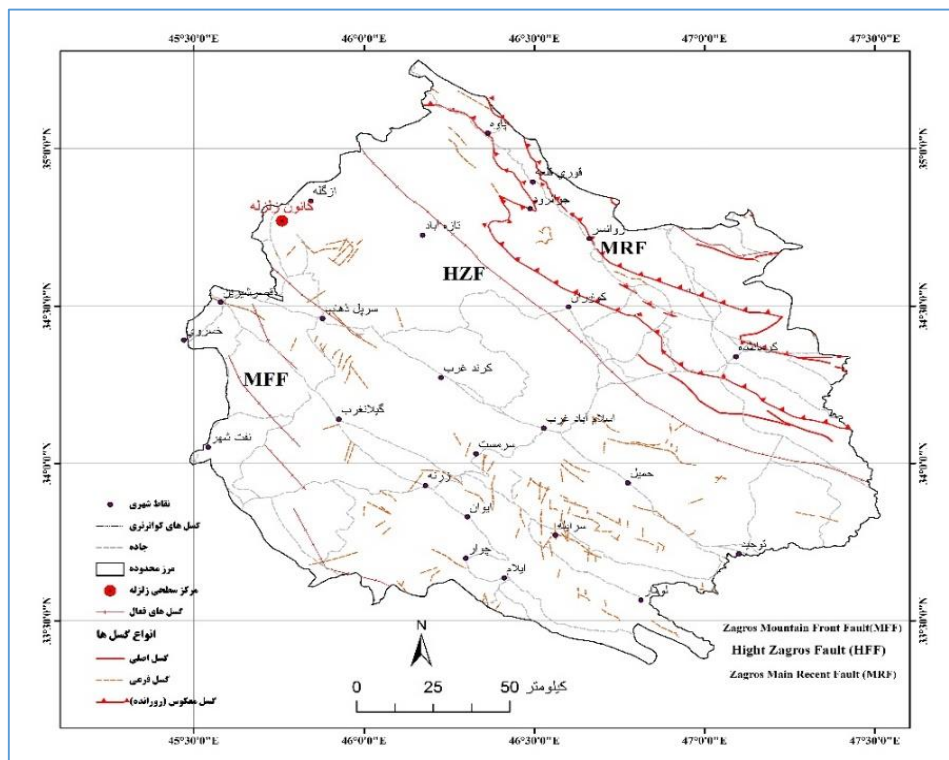
#### داده ها و روش تحقیق

به منظور پایش و بررسی پدیده های ژئومورفولوژیکی مرتبط با زلزله ازگله، بازدیدهایی در چندین مرحله از مناطق آسیب دیده انجام گرفت. همچنین برخی مستندات موجود و گزارشات منتشر شده و منابع رسانه ای نیز در این بازه زمانی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به ماهیت موضوع، روش تحقیق به صورت استنادی، تجربی و مشاهدات میدانی و توصیفی-تحلیلی است. داده های مورد نیاز به شیوه ی کتابخانه ای جمع آوری گردید. روشهای گردآوری اطلاعات در این تحقیق شامل مطالعه کتابخانه ای، جمع آوری گزارش های منتشر شده توسط پژوهشکده زلزله شناسی وابسته به پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، مشاهدات و بازدیدهای میدانی می باشد.

ازگله را بررسی نمودند. در این تحقیق میزان جابه جایی زمین و همچنین ویژگی های گسل مسبب بیان شده است. شواهد لرزه ای و زمین شناختی موجود بیانگر آنست که محدوده مورد مطالعه در برخی مناطق با خطر بالای زمین لرزه مواجه باشد که در صورت وقوع زمین لرزه، ناپایداری های زمین شناسی و ژئومورفولوژیکی می تواند خسارات مضاعفی حتی به مراتب بیشتر از خود زمین لرزه ایجاد کنند. در این مطالعه هدف اصلی آنست که ناپایداری های ژئومورفولوژیکی حاصل از زلزله ازگله (نظیر زمین لغزش ها، ریزش ها و بهمن های سنگی، جریان های واریزه ای و گل روانه ها، فرونشست زمین و ایجاد فروچاله ها و ...) با استفاده از مطالعات میدانی و تصاویر ماهواره ای مورد بررسی قرار گرفته و منطقه مورد مطالعه از نظر ناپایداری ژئومورفولوژیکی پهنه بندی گردد. منطقه مورد مطالعه در غرب کشور ایران و در محدوده دو استان کرمانشاه و ایلام در مختصات جغرافیایی ۲۸° ۴۵ تا ۳۰° ۴۷ طول شرقی و ۲۱° ۳۳ تا ۱۶° ۳۵ عرض شمالی با وسعتی معادل با ۲۴,۴۱۶ کیلومتر مربع قرار دارد (شکل ۱). این منطقه از لحاظ تکتونیکی در زون لرزه زمین ساخت ایلام واقع شده است (زمانی و دیگران، ۲۰۱۱). ساختارهای تکتونیکی مهم این منطقه شامل گسل های اصلی زاگرس عبارتند از: ۱- گسل زاگرس مرتفع (HZF) که این گسل کمر بند زاگرس رورانده در شمال شرق را از کمر بند زاگرس چین خورده در جنوب غرب جدا می سازد. ۲- گسل جبهه کوهستان (MFF) که کمر بند زاگرس چین خورده را از برونزدهای آهکی سازند آسماری در جنوب و جنوب غرب جدا می کند. این گسل یک گسل رانده کور می باشد. علاوه بر این دو گسل، گسل معکوس اصلی زاگرس (MZRF) و گسل اصلی جوان زاگرس (MRF) نیز در منطقه وجود دارند (شکل ۲). زمین لرزه ۲۱ آبان ۱۳۹۶ سر پل ذهاب استان کرمانشاه (زلزله ازگله) یکی از بزرگترین زمین لرزه های کشور محسوب می شود که بزرگای این زمین لرزه ۷/۳ درجه در مقیاس ریشتر بوده است. شبکه لرزه نگاری کشوری وابسته به موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران باتوجه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- نقشه گسل ها و راندگی های منطقه و کانون اصلی زلزله ازگله

## روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها (AHP)

این تکنیک توسط آقای توماس ال ساعتی ارائه شد این روش مختص مدل‌های سلسله مراتبی (از بالا به پایین) است. معمولاً در این مدل‌ها یک سطح هدف که بالاترین سطح است وجود دارد، در سطح دوم معیارها و در سطح سوم گزینه‌های (آلترناتیوهای) پژوهش قرار دارند. این ساده‌ترین و در عین حال پرکاربردترین روش‌های این دسته است که برای تحلیل روش AHP ابتدا باید مقایسات زوجی عوامل را تشکیل داد، سپس بعد از پر کردن مقایسات زوجی، نرخ ناسازگاری AHP و وزن معیارها را محاسبه نمود. نرم افزار پر کاربرد برای حل این مدل اکسپرت چویس است. در این روش مسئله تصمیم‌گیری به سطوح مختلف هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها تقسیم می‌شود. در این فرایند گزینه‌های مختلفی در تصمیم‌گیری دخالت داده می‌شود و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها وجود دارد تحلیل حساسیت به معنی این می‌باشد که با تغییر وزن معیارها در رتبه‌بندی گزینه‌ها چه تغییری ایجاد می‌شود. از مزایای دیگر این روش تصمیم‌گیری چند معیاره تعیین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم می‌باشد. فرایند AHP با تجزیه و تحلیل مسائل پیچیده آنها را به شکل ساده تبدیل می‌کند. مراحل انجام کار در این روش بدین صورت است:

**ساختن نمودار سلسله مراتبی:** ابتدا عوامل پژوهش و گزینه‌ها استخراج شده و سپس، مساله را به سطوح معیار و در صورت وجود زیرمعیار و گزینه تقسیم می‌شود. وجود معیار در مدل AHP ضروری است. مدل سلسله مراتبی بدون وجود معیار ایجاد نخواهد شد.

**تشکیل ماتریس مقایسه‌های زوجی عناصر:** در این مرحله عناصر هر سطح نسبت به سایر عناصر مربوط خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و ماتریس‌های مقایسات زوجی تشکیل می‌شوند. جهت تعیین اهمیت و ترجیح در مقایسات زوجی از طیف ۱ تا ۹ ساعتی استفاده می‌کنیم (جدول ۱ و ۲).

همچنین گردآوری اطلاعات نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین شناسی و لرزه‌خیزی، شیب سنج، GPS و پرسشنامه‌های تهیه شده توسط بنیاد مسکن، مسکن و شهرسازی و .... از مهمترین اطلاعاتی که از پژوهشگر زلزله‌شناسی در این تحقیق مورد استفاده گردید شامل نقشه گسل‌های فعال در منطقه، انواع نقشه‌های خطر زمین لرزه، گسل‌های فعال و همچنین گزارشات اولیه راجع به زمین لرزه از گله که توسط کارشناسان پژوهشگر تهیه گردیده بود. با توجه به اهداف تحقیق ۹ عامل به عنوان عوامل مؤثر در ناپایداری‌های ژئومورفولوژیکی شامل سن زمین شناسی، ارتفاع، شیب، اقلیم، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، خاک و کاربری اراضی انتخاب شدند. برای تهیه لایه‌های سن زمین شناسی و فاصله از گسل از نقشه‌های زمین شناسی تهیه شده توسط سازمان زمین شناسی کشور، از نقشه توپوگرافی جهت تهیه لایه‌های شیب، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و ارتفاع، برای تهیه نقشه اقلیم از آمار بارش ایستگاه‌های سینوپتیک، برای تهیه لایه‌های خاک و کاربری اراضی هم از نقشه کاربری اراضی تهیه شده توسط سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور استفاده شده است. کلیه لایه‌ها ۹ گانه در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه شدند.

**روش پهنه‌بندی عوامل مؤثر در تشدید ناپایداری‌ها:** روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) به دو دسته تصمیم‌گیری چند هدفه (MODM) و تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM) تقسیم می‌شوند. هدف از تصمیم‌گیری، انتخاب بهترین گزینه یا وزن دهی به عوامل تصمیم‌گیری است. هر روش تصمیم‌گیری وظیفه خاصی دارد، (۱) وزن دهی به معیارها، (۲) رتبه‌بندی گزینه‌ها و (۳) ارزیابی معیارها. در اینجا به بررسی یک مورد از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه به منظور پهنه‌بندی ژئومورفولوژیکی ناپایداری‌های حاصل از زلزله پرداخته می‌شود.

ماتریس، بی بُعد می شوند. در مرحله بعد میانگین حسابی مقادیر عناصر در هر سطر از ماتریس نرمالیزه محاسبه می گردد تا عاملی که در آن سطر قرار دارد بدست آید که به وزن های نسبی عوامل معروف هستند. در جدول ۳ نتایج حاصل از نرمالیزه کردن ماتریس مقایسه های زوجی عوامل مؤثر نشان داده شده است.

نرمالیزه کردن ماتریس مقایسات زوجی و محاسبه وزن عوامل: پس از تشکیل ماتریس مقایسه های زوجی، ابتدا این ماتریس نرمالیزه می شود به طوری که مقادیر عناصر هر ستون بر مجموع به دست آمده برای همان ستون تقسیم می گردد. در حقیقت طی این مرحله عناصر

جدول ۱ - ترجیحات ( قضاوت شفاهی) در مدل AHP

ترجیحات (قضاوت شفاهی)	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم تر یا کاملاً مطلوب تر	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی	کمی مرجح یا کمی مهم تر یا کمی مطلوب تر	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان	ترجیحات بین فواصل قوی	مقدار عددی
	۹	۷	۵	۳	۱	۲-۴-۶-۸	

مطالعه هر کدام از این عوامل به طبقاتی تقسیم شدند. اکثر لایه ها به چهار و یا پنج طبقه تقسیم گردید که در جدول ۲ هر کدام از این طبقات را با یک عدد نشان داده شده اند.

با توجه به اهداف تحقیق ۹ عامل و متغیر مستقل در ناپایداری های زمین لرزه شامل سن زمین شناسی، ارتفاع، شیب، اقلیم، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، خاک و کاربری اراضی انتخاب شدند. بعد از تهیه عوامل نه گانه مؤثر در تشدید ناپایداری های منطقه مورد

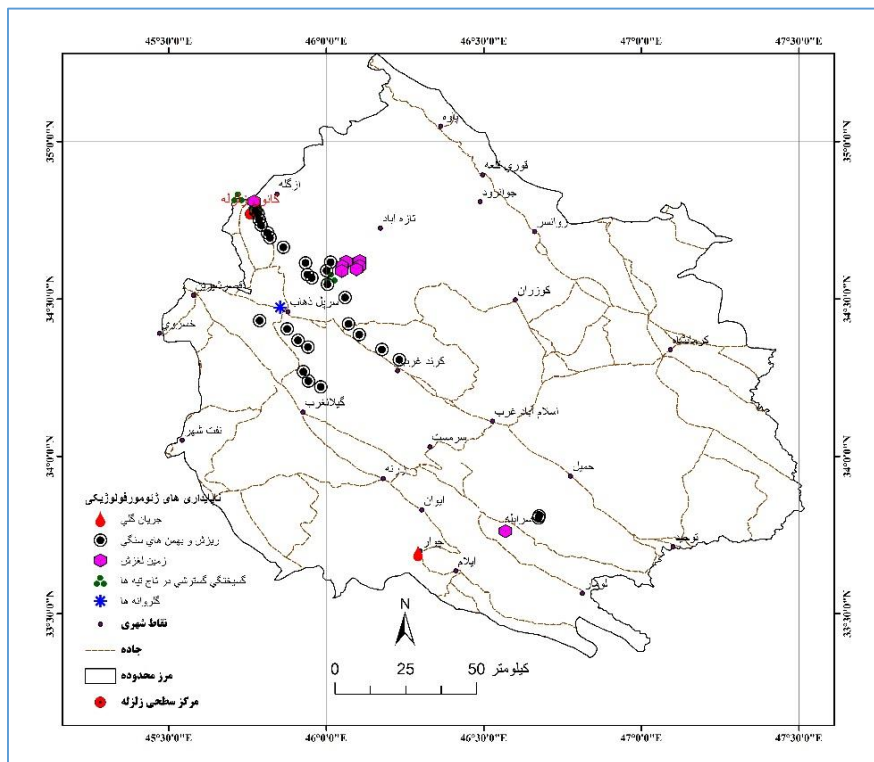
جدول ۲- جدول اطلاعاتی طبقات مورد استفاده برای عوامل مؤثر در تشدید ناپایداری های ناشی از زلزله

کاملاً / طبقه	سن زمین شناسی	ارتفاع (متر)	شیب (درصد)	اقلیم	فاصله از گسل (متر)	فاصله از رودخانه (متر)	فاصله از جاده (متر)	خاک	کاربری اراضی
۱	سنوزوئیک	۶۸۵-۱۱۷	۵-۰	خشک و نیمه خشک	۱۰۰۰-۰	۵۰۰-۰	۵۰۰-۰	ارضای بدلندی	کشاورزی
۲	مزوزوئیک	-۶۸۵ ۱۱۵۷	۱۰-۵	نیمه مرطوب	-۱۰۰۰ ۲۰۰۰	۱۰۰۰-۵۰۰	۷۵۰-۵۰۰	اینسپتی سول	جنگل
۳	مزوزوئیک سنوزوئیک	-۱۱۵۷ ۱۵۴۳	۱۵-۱۰	مرطوب	-۲۰۰۰ ۳۰۰۰	-۱۰۰۰ ۱۵۰۰	۱۰۰۰-۷۵۰	اینسپتی سول- ورتی سول	مرتع
۴	پالئوزوئیک	-۱۵۴۳ ۱۹۵۹	۲۰-۱۵	خیلی مرطوب	-۳۰۰۰ ۴۰۰۰	-۱۵۰۰ ۲۰۰۰	-۱۰۰۰ ۱۲۵۰	رخمونهای سنگی-انتی سول	ارضای صخره ای
۵	-	-۱۹۵۹ ۳۳۵۴	>۲۰	مدیترانه ای	>۴۰۰۰	>۲۰۰۰	>۱۲۵۰	رخمونهای سنگی-اینسپتی سول	مناطق شهری

### یافته های تحقیق

همانگونه که دیده می شود توزیع ناپایداری های زمین شناختی ژئوتکنیکی در گستره وسیعی از منطقه رو مرکزی در شمال غرب تا نزدیک به ایلام در جنوب شرق را در برمی گیرند که چنین پراکندگی وسیعی از این پدیده ها در مقایسه با زمین لرزه های با بزرگی مشابه دیگر کم نظیر است و جای بررسی و پژوهش دقیقتر دارد. ناپایداری های ژئومورفولوژیکی شاخص زلزله ازگله در ادامه ارائه شده است.

در اثر زمین لرزه ازگله ناپایداری های ژئومورفولوژیکی بسیاری مانند ریزش های سنگی متعدد، لغزش های خاکی و سنگی، جریان واریزه ای و گل روانه، فرونشست غارهای آهکی، روان گرای و گسیختگی گسترشی در تاج تپه ها روی داده است که در این بخش به آنها اشاره خواهد شد. توزیع مکانی ناپایداری های مشاهده شده بر روی تصویر ماهواره ای منطقه در شکل ۳ نمایش داده شده است.



شکل ۳- نقشه توزیع ناپایداری های ژئومورفولوژیکی شاخص در اثر زمین لرزه ازگله

سازند آسماری بر روی سازند شیلی و آهک رسی پابده است. تفاوت مقاومت لایه های مقاوم سازند آسماری بر روی سازند ضعیف پابده به همراه ساختاری تکتونیک این سازند تنوعی از پدیده های زمین شناسی را بوجود آورده است که در بروز مخاطرات زمین شناختی همراه با زمین لرزه اخیر مؤثر بوده اند. این پدیده ها شامل زمین لغزش های متعدد قدیمی به هم پیوسته در دامنه های پیرامونی این ناودیس و دره های عرضی با قائم در بخش داخلی شده است. این دو پدیده زمین ریختی پتانسیل بالای زمین لغزش در دامنه های پیرامونی و ریزش سنگی در دره های عرضی

### زمین لغزش ها و حرکات توده ای

زمین لغزش مله کبود-قورچی باشی: زمین لغزش های متعددی ناشی از زمین لرزه ازگله روی داده است که بعضا با تلفات انسانی و خسارات مالی قابل توجهی نیز همراه بوده اند که معروفترین آنها زمین لغزش مله کبود-قورچی باشی با وسعت ۴/۶۱ کیلومتر مربع (۴۶۱ هکتار) در دامنه جنوبی کوه شاه نشین و در مجاورت دو روستای مله کبود و قورچی باشی در فاصله ۸ کیلومتری شمال سرپل ذهاب است. از نظر ساختاری کوه شاه نشین تشکیل دهنده یال جنوبی یک ناودیس معلق ساخته شده از لایه های آهکی



داخلی را ایجاد کرده است که اتفاقاً مهمترین مخاطرات زمین شناختی همراه با زمین لرزه اخیر را ایجاد کرده اند. این زمین لغزش بزرگترین زمین لغزش منفرد روی داده در چند دهه اخیر در کشور است.

**پهنه لغزشی شمال دالاهو (زمین لغزش پالان علیا):** پهنه لغزشی شمال دالاهو پهنه ای به وسعت ۲۵ کیلومتر مربع شکل گرفته بر روی یک پهنه لغزشی قدیمی وسیع تر است. علت استفاده از واژه پهنه لغزشی وجود درز و شکاف های لغزشی متعدد بدون امکان تعیین مرز مشخص برای آنها به عنوان یک لغزش منفرد است. بسیاری از این درز و شکافها در مسیر جاده سرپل ذهاب به تازه آباد بعد از روستای بزمیرآباد تا بعد از روستای پالان علیا به صورت عرضی جاده را قطع کرده و در بعضی قسمت ها با طول قابل ملاحظه (۵۰۰ تا ۸۰۰ متر) در جهت شیب توپوگرافی عمود بر جاده گسترش یافته اند. همچنین در این مسیر چندین زمین لغزش کوچکتر نیز شکل گرفته است که مهمترین آنها زمین لغزش پالان علیا است که باعث ایجاد یک پرتگاه نیم تا یک متری، تخریب ۶ واحد مسکونی و فوت یک کودک در محله صفرملکی از این روستا گردیده است. با توجه به ایجاد یک پرتگاه جدید در تاج پهنه لغزشی قدیمی در زیر صخره های خط الراس کوه های دالاهو به نظر می رسد که کل پهنه لغزشی کم و بیش فعال شده و درز و شکاف های مشاهده شده در پایین دست (جاده ثالث باباجانی) در واقع ترک های طولی ایجاد شده در پنجه این پهنه هستند.

**سنگ لغزش پاسگاه دار زنگنه:** این سنگ لغزش با ابعاد متوسط در حدود ۱۵ کیلومتری جنوب ازگله در مجاورت پاسگاه دار زنگنه روی داده است که منجر به آسیب دیدن ساختمان پاسگاه و مجروح شدن دو سرباز گردید.

**پهنه ریزشی دره بابا یادگار:** یکی از مهمترین پهنه ریزش های سنگی همراه این زمین لرزه دره بابا یادگار در شمال روستای بان زرده واقع در انتهای غربی بخش داخلی ناودیس ریجاب است. در دامنه های دو طرف این دره به طول ۱/۵ کیلومتر ریزش های سنگی متعددی روی داده است. این ریزش ها با ابعاد بلوک تا شش متر مکعب و وزن

بیش از ۱۰ تن منجر به مسدود شدن ورودی دره و تخریب گسترده جاده خطوط انتقال برق و تلفن شده است. تصویر ماهواره ای از این دره بخوبی نشان دهنده وجود یک زمین لغزش قدیمی است که کل بخش انتهایی دره را دربر گرفته است. در دهانه ورودی این دره عملکرد دو گسله معکوس باعث ایجاد شیب بسیار تند لایه بندی و لایه بندی از نوع معکوس در جناح شرقی گردیده است. وجود این زمین لغزش قدیمی در انتهای دره شیب تند دامنه ها بخصوص در بخش ورودی دره به علاوه نوع تقاطع لایه بندی با شیب دامنه (تقاطع مورب) عوامل مستعد کننده این منطقه برای ایجاد چنین پهنه ریزشی گسترده ای بوده اند. بزرگترین بهمین سنگی در شمال روستای پیران واقع در طول جاده گردشگری دسترسی به آبشار پیران روی داده است. این ناپایداری به طولی در حدود ۱/۸ کیلومتر جاده دسترسی به آبشار و تمامی مسیر سنگچین جاده گردشگری را مسدود نموده و همچنین سبب ایجاد سد و دریاچه طبیعی در پای آبشار گردیده است. ابعاد بلوک های فروریخته تا هشتاد متر مکعب و وزن بیش از ۱۵۰ تن برآورد گردید. همچنین در شرق دره پیران ریزش های سنگی متعددی در قالب پهنه های ریزشی روی داده اند. دیواره های آهکی با شیب بسیار تند ناشی از بالآآمدگی ناودیس معلق ریجاب همراه با شیب لایه بندی مخالف با شیب دامنه از مهمترین عوامل ذاتی مستعد کننده دامنه های در این منطقه بوده است که در ترکیب با عامل محرک زلزله این بهمین ها و ریزش های سنگی را بوجود آورده است.

**پهنه ریزشی شمال ناودیس معلق ریجاب:** این پهنه ریزشی در یال سمت راستی (شمالی) ناودیس معلق ریجاب روی داده است که باعث مسدود شدن راه های ارتباطی روستاهای رماکی رمضان و جوانمیری به دره بابا یادگار گردیده است.

#### جریان های واریزه ای و گلروانه ها:

در طی بازدیدهای انجام شده دو مورد حرکت های دامنه ای از نوع جریان واریزه ای (Debris flow) در منطقه پیران در ۱۰ کیلومتر شمال شرق سرپل ذهاب و گل روانه

(جدول ۴). پس از تشکیل ماتریس مقایسه های زوجی، ابتدا این ماتریس نرمالیزه می شود. به طوری که مقادیر عناصر هر ستون بر مجموع به دست آمده برای همان ستون تقسیم می گردد. در حقیقت طی این مرحله عناصر ماتریس، بی بُعد می شوند. در مرحله بعد میانگین حسابی مقادیر عناصر در هر سطر از ماتریس نرمالیزه شده محاسبه می گردد تا وزن عاملی که در سطر قرار دارد به دست آید که به وزن های نسبی عوامل معروف هستند (جدول ۴).

**محاسبه نرخ ناسازگاری داده ها:** نرخ سازگاری، معیاری برای سنجش معناداری و دقت داده های وارد شده است. به عبارت دیگر به منظور ارزیابی مقایسه های زوجی صورت گرفته، سنجش میزان سازگاری ضروری است. برای این منظور این گام های به ترتیب انجام می گیرد:

گام اول: محاسبه بردار مجموع وزنی: ماتریس مقایسه های زوجی در بردار وزن های نسبی ضرب شد. به بردار بدست آمده بردار مجموع وزنی گفته می شود.

گام دوم: محاسبه بردار سازگاری: عناصر بردار مجموع وزنی بر بردار وزن های نسبی تقسیم شد. به بردار حاصل، بردار سازگاری گفته می شود.

گام سوم: محاسبه بزرگ ترین مقدار ویژه ماتریس مقایسه های زوجی ( $\lambda_{max}$ ): برای محاسبه آن میانگین عناصر بردار سازگاری محاسبه شد.

گام چهارم: محاسبه شاخص سازگاری: شاخص سازگاری به صورت رابطه (۱) محاسبه می شود:

$$C.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{10/12 - 9}{9 - 1} = 0/14$$

گام پنجم: محاسبه نرخ سازگاری: نرخ سازگاری به صورت رابطه (۲) محاسبه می شود:

$$C.R = \frac{C.I}{IRI} = \frac{0/14}{1/45} = 0/09$$

(Mudflow) در شهر چوار ایلام مشاهده گردید که در این بخش تشریح می گردند:

**جریان واریزه ای پیران:** جریان واریزه ای پیران در مسیر آبراهه های که از ارتفاعات ناودیس ریجاب به سمت جنوب کشیده شده است و از میان روستای پیران می گذرد روی داده است و آثار آن تا داخل روستا نیز دیده می شود. جریان واریزه ها در اثر شکست لوله انتقال آب نیروگاه یا سرریز آب آبیگر بالادست در هنگام زمین لرزه روی داده باشد.

**گل روانه چوار در استان ایلام:** از جمله نکات قابل توجه در زلزله اخیر وقوع یک مورد گل روانه بزرگ در فاصله ۱۵۰ کیلومتری از رو مرکز در مجاورت شهر چوار استان ایلام است که منجر به تخریب کامل جاده کمربندی غربی شهر و ویرانی کامل تعدادی از خانه ها گردید. شواهد میدانی حاکی از آن بود که علت وقوع این گل روانه و در چنین فاصله دوری از رو مرکز وجود نهشته های بسیار ضخیم (بیش از ۵۰ متر) خاک ضعیف ریزدانه است که نشان از پتانسیل ناپایداری بسیار بالای زمین در مناطق مجاور رودخانه غربی شهر چوار دارد. علاوه بر استعداد ذاتی این مصالح برای لغزش و ناپایداری که با توجه به وجود ناپایداری های قدیمی متعدد در منطقه مشخص است، هدایت رواناب های سطحی منطقه و فاضلاب شهری به سمت این آبراهه در کنار زلزله اخیر به عنوان عامل محرک منجر به وقوع این پدیده شده است. با توجه به شیب بسیار تند ایجاد شده درافراز اصلی در مجاورت مناطق مسکونی امکان وقوع حرکت های بعدی در فصل بارندگی بسیار زیاد است.

**تجزیه و تحلیل داده ها و اجرای مدل پهنه بندی ناپایداری ها:** در مرحله اول نتایج حاصل از مقایسات زوجی بین هر جفت از عوامل مؤثر در تشدید ناپایداری ها آورده می شود (جدول ۳) و در مرحله دوم اعداد موجود در هر ستون بر عدد مجموع آن تقسیم می شود و سپس از اعداد موجود در هر کدام از ردیف ها میانگین گرفته و این عدد به عنوان وزن نهایی هر عامل در نظر گرفته می شود

جدول ۳- ماتریس یا مقایسه زوجی عوامل در روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم ها (مرحله اول)

عامل	سن زمین شناسی	فاصله از گسل	شیب	ارتفاع	اقلیم	فاصله از رودخانه	فاصله از جاده	خاک	کاربری اراضی
سن زمین شناسی	1	1	2	3	4	5	6	8	9
فاصله از گسل	1/00	1	2	3	4	5	6	8	8
شیب	0/50	0/50	1	2	3	4	5	6	7
ارتفاع	0/33	0/33	0/67	1	2	3	4	5	6
اقلیم	0/25	0/25	0/50	0/75	1	2	3	4	5
فاصله از رودخانه	0/20	0/20	0/40	0/60	0/80	1	2	3	4
فاصله از جاده	0/17	0/17	0/33	0/50	0/67	0/83	1	2	3
خاک	0/13	0/17	0/25	0/38	0/50	0/63	0/75	1	2
کاربری اراضی	0/11	0/11	0/22	0/33	0/44	0/56	0/67	0/89	1
مجموع	3/69	3/73	7/37	11/56	16/41	22/01	28/42	37/89	45/00

جدول ۴- ماتریس نرمال مقایسه های زوجی و محاسبه وزن عوامل با استفاده از روش میانگین حسابی

عامل	سن زمین شناسی	فاصله از گسل	شیب	ارتفاع	اقلیم	فاصله از رودخانه	فاصله از جاده	خاک	کاربری اراضی	مجموع	وزن معیارها
سن زمین شناسی	0/35	0/18	0/22	0/23	0/23	0/21	0/20	0/22	0/20	2/04	0/23
فاصله از گسل	0/35	0/18	0/22	0/23	0/23	0/21	0/20	0/22	0/18	2/02	0/22
شیب	0/18	0/09	0/11	0/15	0/17	0/17	0/17	0/16	0/16	1/36	0/15
ارتفاع	0/12	0/06	0/07	0/08	0/11	0/13	0/13	0/14	0/13	0/97	0/11
اقلیم	0/09	0/04	0/06	0/06	0/06	0/09	0/10	0/11	0/11	0/71	0/08
فاصله از رودخانه	0/07	0/04	0/04	0/05	0/05	0/04	0/07	0/08	0/09	0/52	0/06
فاصله از جاده	0/06	0/03	0/04	0/04	0/04	0/04	0/03	0/05	0/07	0/39	0/04
خاک	0/04	0/03	0/03	0/03	0/03	0/03	0/03	0/03	0/04	0/28	0/03
کاربری اراضی	0/04	0/02	0/02	0/03	0/03	0/02	0/02	0/02	0/02	0/23	0/03

جدول ۵- نتایج محاسبات بردار مجموع وزنی و بردار سازگاری

عامل	سن زمین شناسی	فاصله از گسل	شیب	ارتفاع	اقلیم	فاصله از رودخانه	فاصله از جاده	خاک	کاربری اراضی	مقادیر جمع وزنی	وزن معیار	بردار سازگاری
سن زمین شناسی	0/23	0/22	0/30	0/33	0/32	0/30	0/24	0/24	0/27	2/45	0/28	8/75
فاصله از گسل	0/23	0/22	0/30	0/33	0/32	0/30	0/24	0/24	0/24	2/42	0/2	12/10
شیب	0/12	0/11	0/15	0/22	0/24	0/24	0/20	0/18	0/21	1/67	0/15	11/10
ارتفاع	0/08	0/07	0/10	0/11	0/16	0/18	0/16	0/18	0/18	1/19	0/11	10/82
اقلیم	0/06	0/06	0/08	0/08	0/08	0/12	0/12	0/12	0/15	0/86	0/08	10/75
فاصله از رودخانه	0/05	0/04	0/06	0/07	0/06	0/06	0/08	0/06	0/12	0/63	0/06	10/50
فاصله از جاده	0/04	0/04	0/05	0/06	0/05	0/05	0/04	0/06	0/09	0/47	0/05	9/47
خاک	0/03	0/04	0/04	0/04	0/04	0/04	0/03	0/03	0/06	0/34	0/04	8/54
کاربری اراضی	0/03	0/02	0/03	0/04	0/03	0/03	0/03	0/03	0/03	0/27	0/03	9/07
										گام ۳:		10/12
										شاخص سازگاری		0/۱۴
										گام ۴:		
										نرخ سازگاری		0/۰۹
										گام ۵:		

IRI (شاخص ناسازگاری تصادفی) مقداری است که از جدول (۶) استخراج می شود.

جدول ۶- نتایج محاسبات شاخص ناسازگاری تصادفی

تعداد متغیر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
شاخص ناسازگاری تصادفی	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۵۱

مطابق اصول روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم ها، اگر نرخ ناسازگاری کوچکتر یا مساوی ۰/۱ باشد در مقایسه

مقادیر این جدول بر پایه شیب سازی تعداد زیادی از ماتریس های مقایسه زوجی  $n \times n$  بدست آمده است.

در نتیجه در این مقایسه ها سازگاری وجود داشته و نیازی به بازنگری در مقایسه های انجام گرفته نیست. بنابراین وزن های محاسبه شده برای عوامل مختلف مطابق جدول (۷) در نظر گرفته شد:

های زوجی، سازگاری وجود دارد و می توان کار را ادامه داد. اگر نه تصمیم گیرنده باید در مقایسه های زوجی بازنگری کند. با توجه به اینکه برای مقایسه های زوجی صورت گرفته، میزان سازگاری برابر با ۰/۰۹ بدست آمد

جدول ۷- وزن های بدست آمده از عوامل مؤثر در تشدید ناپایداری ها بر اساس روش AHP

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

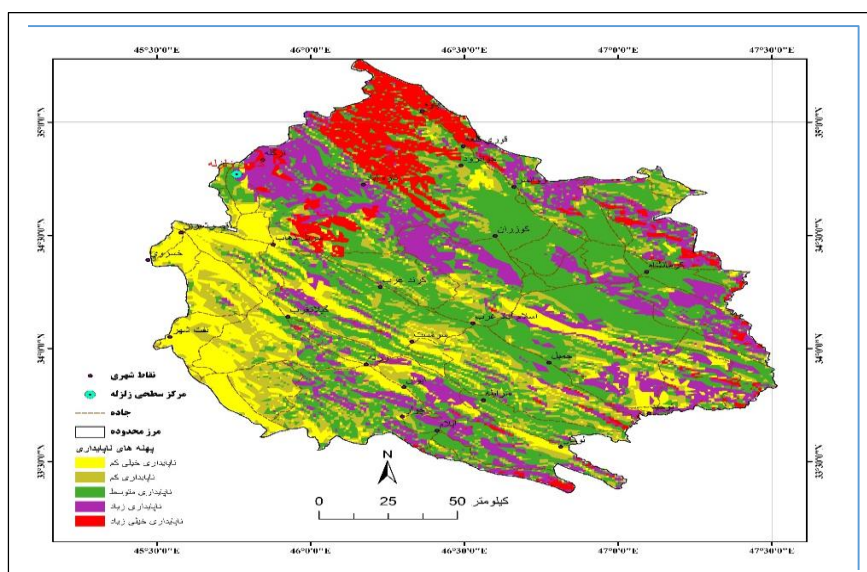
این نقشه از پنج طبقه تشکیل شده است که دو طبقه خطر خیلی زیاد (مساحت ۲۱۳۸ کیلومتر مربع) و طبقه خطر زیاد (مساحت ۴۷۲۰ کیلومتر مربع) و مجموعاً با مساحتی بالغ بر ۶۵۵۸ کیلومتر مربع یعنی بیش از ۲۸ درصد از منطقه مطالعاتی را به خود اختصاص داده اند. طبقه خطر متوسط هم با مساحتی حدود ۹۲۲۷ کیلومتر مربع بیش از ۳۷ درصد را به خود اختصاص داده اند (جدول ۸).

پس از تعیین وزن طبقات، لایه ها نه گانه بر اساس رابطه زیر با هم در نرم افزار Arc GIS تلفیق شدند و نقشه پهنه بندی ناپایداری های حاصل از زمین لرزه به روش تحلیل سلسله مراتبی به دست آمد (شکل ۴).

$$\dots + 0.15 \times \text{شیب} + 0.22 \times \text{فاصله از گسل} + 0.23 \times \text{سن زمین شناسی} = \text{Final}$$

جدول ۸- مساحت و درصد پهنه های ناپایداری های حاصل از زمین لرزه در منطقه مورد مطالعه

ردیف	پهنه های خطر	مساحت پهنه (کیلومتر مربع)	مساحت پهنه (درصد)
۱	پهنه خیلی کم خطر	۳۷۸۹	۱۵/۵
۲	پهنه با خطر کم	۴۵۴۱	۱۸/۶
۳	پهنه با خطر متوسط	۹۲۲۷	۳۷/۸
۴	پهنه با خطر زیاد	۴۷۲۰	۱۹/۳
۵	پهنه با خطر خیلی زیاد	۲۱۳۸	۸/۸



شکل ۴- نقشه پهنه بندی ناپایداری های حاصل از زمین لرزه با استفاده از روش AHP

انطباق نقشه پهنه بندی با نقشه توزیع ناپایداری های ژئومورفولوژیکی شاخص در اثر زمین لرزه: پس از تهیه نقشه پهنه بندی ناپایداری های حاصل از زمین لرزه با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم ها، به منظور مدیریت و برنامه ریزی بهتر مناطق آسیب دیده اقدام به انطباق نقشه پهنه بندی با نقشه توزیع ناپایداری های ژئومورفولوژیکی شاخص در اثر زمین لرزه گردید. نتایج این انطباق بیانگر این است که بیشتر ناپایداری ها از جمله زمین لغزش ها، سقوط و ریزش سنگها در پهنه ی خطر متوسط، پهنه ی خطر زیاد و پهنه ی خطر خیلی زیاد قرار دارند. نتایج انطباق پهنه های خطر در جدول (۹) نشان داده شده است.

بر اساس نقشه پهنه بندی ناپایداری ها، حداکثر ناپایداری ژئومورفولوژیکی در بخش های شمالی منطقه در محدوده شهرهای تازه آباد، ازگله، پاره، جوانرود و سرپل ذهاب قرار دارد که دلیل عمده آن ساختار زمین شناسی که بیشتر از تشکیلات آهکی و شیل پوشیده شده اند، همچنین وجود گسل های اصلی و لرزه زا، ساختمان توپوگرافی نسبتاً مرتفع و خشن در منطقه از دلایل دیگر ناپایداری بالا در منطقه است. حداقل ناپایداری هم در قسمت های غربی منطقه شامل شهرهای گیلانغرب، قصر شیرین، نفت شهر و خسروی است که عمدتاً منطبق بر دشت ها و نواحی پست و کم ارتفاع هستند که این دشت ها توسط رسوبات آبرفتی دوران چهارم پوشیده شده اند.

جدول ۹- انطباق اشکال مختلف ناپایداری ها با پهنه های خطر در منطقه مطالعاتی

نوع ناپایداری / پهنه ی خطر	جریان مواد و گل	انواع زمین لغزش ها	گسیختگی تاج تپه ها	روانگرانی	سقوط و ریزش سنگها
پهنه ی خیلی کم خطر	۱	۰	۰	۱	۰
پهنه با خطر کم	۰	۰	۱	۰	۳
پهنه با خطر متوسط	۰	۴	۱	۰	۵
پهنه با خطر زیاد	۰	۲	۱	۰	۱۰
پهنه با خطر خیلی زیاد	۰	۱	۰	۰	۸
مجموع	۱	۸	۳	۱	۲۵



شکل ۵- محل جدا شدگی توده ی لغزشی مله کبود قورچی باشی (بزرگ ترین زمین لغزش منطقه)

## نتیجه گیری

در اثر زمین لرزه ازگله در سرپل ذهاب ناپایداری های ژئومورفولوژیکی فراوانی در مناطق تحت پوشش ایجاد شد. در این تحقیق، شاخص ترین ناپایداری ها که در محیط زندگی و سیستم حمل و نقل، منابع آب، کشاورزی و منابع طبیعی تأثیر گذار هستند، مورد بررسی قرار گرفتند. از مهمترین این ناپایداری ها که در این تحقیق مورد تحلیل قرار گرفتند می توان موارد ذیل از جمله؛ ۳ مورد زمین لغزش و حرکات توده ای (مله کبود قورچی باشی-پهنه لغزشی شمال دالاهو (زمین لغزش پالان علیا) - سنگ لغزش پاسگاه دار زنگنه. ۳ مورد پهنه ریزشی (دره بابا یادگار- پیران- شمال ناودیس معلق ریجاب). جریانهای واریزه ای پیران و گل روانه شهر چوار را اشاره نمود. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که از بین عوامل مؤثر در وقوع ناپایداری ها، عوامل سن زمین شناسی، فاصله از گسل و شیب بترتیب 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 ناپایداری های منطقه را دارا هستند که با نتایج تحقیقات فتوحی و همکاران (۱۳۹۲)، که عوامل شیب و زمین شناسی را موثرترین عوامل ذکر کرده اند مطابقت دارد. انطباق نقشه پهنه بندی با نقشه توزیع ناپایداری های ژئومورفولوژیکی شاخص در اثر زمین لرزه بیانگر آن است که بیشتر ناپایداری ها از جمله زمین لغزش ها، سقوط و ریزش سنگها در پهنه ی خطر متوسط، پهنه ی خطر زیاد و پهنه ی خطر خیلی زیاد قرار دارند. در مجموع نتایج حاکی از آن است که منطقه مورد مطالعه استعداد بسیار بالایی برای ناپایداریهای ژئومورفولوژیک در آینده دارد و لازم است که تدابیر مدیریتی لازم اندیشیده شود. نتایج مطالعات نشان داد که حداکثر ناپایداری ژئومورفولوژیکی در بخش های شمالی منطقه در محدوده شهرهای تازه آباد، ازگله، پناه، جوانرود و سرپل ذهاب قرار دارد که دلیل عمده آن ساختار زمین شناسی که بیشتر از تشکیلات آهکی و شیل پوشیده شده اند، همچنین وجود گسل های اصلی و لرزه زا، ساختمان توپوگرافی نسبتاً مرتفع و خشن در منطقه از دلایل دیگر ناپایداری

بالا در منطقه است. این با نتایج تحقیقات چن و همکاران (۲۰۱۸) که حداکثر لغزش را در کمترین پوشش رسوبی یا بالاترین سطح گسل جبهه کوهستان تشخیص دادند مطابقت دارد.

## منابع

- ۱- اسفندیاری درآباد، ف، غفاری گیلانده، ع، لطفی، خ، (۱۳۹۱). "مدلسازی ضریب آسیب پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تاپسیس در محیط GIS (مطالعه موردی: اردبیل)"، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، ۲: ۷۹-۴۳ص.
- ۲- آرین، م، هاشمی، س، (۱۳۸۷). "پهنه بندی لرزه زمین ساختی زاگرس"، مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، ۱۸ (۶۹)، ۶۳-۷۶ص.
- ۳- پرتابیان، ع، فتوحی، ص، ریگی، ح. (۱۳۹۶). "مقایسه کارایی پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل های ارزش اطلاعات و تراکم سطح در استان سیستان و بلوچستان"، زمین شناسی کاربردی پیشرفته، ۱۱-۱ص.
- ۴- صفاری، ا، حبیبی، ع، غریب رضا، م. (۱۳۹۲). "شاخصهای مورفوتکتونیک و زمین لرزه، مطالعه ی موردی: مناطق پرخطر استان خوزستان". دومین کنفرانس بین المللی مخاطرات محیطی، تهران، دانشگاه خوارزمی.
- ۵- علوی پناه، س، قربانی، م. (۱۳۸۶). "نقش سنجش از دور و بررسی های میدانی در تجزیه و تحلیل های مورفوتکتونیک (مطالعه موردی: زلزله بم)"، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۶۰: ۲۹-۱۵ص.
- ۶- فتوحی، ص، علی نیا، ه، فیروزی، ف، بخشی پور، ج، رخسانی، ز. (۱۳۹۲). "مکان یابی مناطق مستعد نسبت به لغزش (مطالعه موردی: شمال نیشابور)"، مخاطرات محیط طبیعی، شماره ۲، ۷۳-۶۱ص.
- ۷- قائم مقامیان، م، خلیلی، ب. (۱۳۸۵). "تأثیر نوع گسل، بزرگای زلزله و اثر فاصله برای گسلش ناهمگن بر حرکات توانمند در حوزه ی نزدیک گسل"، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، شماره ۸، ۱۲-۶ص.
- ۸- مجد جباری، س، زارع، م، عسگری، ف، حمزه لو، ح. (۱۳۸۳). "تهیه نقشه های پهنه بندی شتاب طیفی و تحلیل احتمال خطر با رابطه کاهنگی طیفی برای گستره شهر تهران

(توجه ویژه به اثرهای خاک)، پایان نامه کارشناسی ارشد، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۳۵۴ ص.

**9-Berberian, M., King, G.C.P., (1981).** "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran". Canadian Journal of the Earth Sciences 18, 1764–1766.

**10-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

**11-Nowroozi, A.A., (1976).** "Seismotectonics provinces of Iran". Bulletin of the Seismological Society of America 66, 1249–1276pp.

**12-Oveisi, B., Lave, J, Van Der Beek, P., Carcaillet, J., Benedetti, L and Aubourg, Ch . (2009).** "Thick and thin-skinned deformation rates in the central Zagros simple folded zone (Iran)" indicated by displacement of geomorphic surfaces, Geophysical Journal International, VOL ۱۷۶, Issue ۲, ۶۵۴-۶۲۷

**13-Pourmohammad Shahvar, M., Eshaghi. A., Farzannegan, E., Mirzaei Alavijeh, H., (2019).** "Shakemaps of Sarpol-e Zahab Earthquake". International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran.

**14-Tavani, S., Parente, M., Puzone, F., Corradetti, A., Gharabeigli, Gh., Valinejad, M., Morsalnejad, D., Mazzoli, S., (2018).** "The seismogenic fault system of the 2017  $M_w$  7.3 Iran-Iraq earthquake": constraints from surface and subsurface data, cross-section balancing and restoration,

**15-Yang, CH., Han, B., Zhao, CH., Du, J., Zhang, D., Zhu, S., (2019).** "Co- and post-seismic Deformation Mechanisms of the MW 7.3 Iran" Earthquake (2017) Revealed by Sentinel-1 InSAR Observations, remote sensing, No.11 ,1-17pp.

**16-Zamani, A., Khalili, M., Gerami, A., (2011).** "Computer-based self-organized zoning revisited: scientific criterion for determining the optimum number of zones".Tectonophysics 207–216pp.

**17-Zamani, A., Sami, A., Khalili, M., (2012).** "Multivariate rule-based seismicity map of Iran: a data-driven modeling". Bull. Earthq. Eng. 10, 1667–1683.

**18-Zare, M., Kamranzad, F., Parcharidis, I., Tsironi, V., (2017).** " Preliminary report of Mw7.3 Sarpol-e Zahab, Iran earthquake on November 12, 2017.



## Prioritization of effective factors in aggravation of instabilities resulting from seismic earthquakes in Ilam and Kermanshah using Vikor method

Fathollah Naderi <sup>\*1</sup>, Samad Fotouhi <sup>2</sup>, Hossein Negarash<sup>3</sup> & - Marzieh Khalili<sup>4</sup>

1-PhD student in Geomorphology-Environmental Management Faculty of Geography and Environmental Planning, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran

2-Associate Professor of Department of Geomorphology, Faculty of Geography and Environmental Planning, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran

3- Professor of Department of Geomorphology, Faculty of Geography and Environmental Planning, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran

4- Assistant Professor of Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran

### Abstract

The main purpose of this study is to study the geomorphological instabilities resulting from the Ozgeleh earthquake in Kermanshah and Ilam provinces using field studies and satellite images and their zoning. The region affected by this earthquake is very prone to various movements and geomorphological instabilities. The reasons for this are the presence of young Zagros folds along with the operation of their cutting faults, which have caused severe fractures in the region. To conduct this study, first, the geomorphological instabilities of the index that were effective in intensifying the damage caused by the earthquake were identified. Then, using topographic maps, geology, satellite images and field operations, their location was determined. These instabilities include landslides, rock falls and avalanches, currents, hilltop ruptures, and landslides. Using multi-criteria decision making (MADM) method, the study area was zoned in terms of instabilities. The zoning results showed that the two very high risk classes and the high risk class with a total area of ۶۵۵ square kilometers, i.e. more than ۲۸% of the study area and among the factors affecting the occurrence of instabilities, land age factors Histology, distance from fault and slope with ۰/۲۳, ۰/۲۲ and ۰/۱۵ points, respectively, have the greatest impact on creating instabilities in the region. The adaptation of the instability zoning map to the instability distribution map indicates the greater adaptation of the instabilities, including landslides, rock falls, and subsidence, to high-risk classes.

**Keywords:** Ozgeleh earthquake, Geomorphological instabilities, Zoning, Young Zagros fold.