

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و دوم، زمستان ۱۳۹۸

صص ۱۹-۳۶

DOI: <https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.81836>

مقاله پژوهشی

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از تلفیق روش‌های **ANP**، **Hot Spot** و **WIC** (مطالعه موردی: شهرستان خلخال)

موسی عابدینی^۱ - استاد ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
الناز پیروزی - دانشجوی دکتری مخاطرات ژئومورفولیک، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۶/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۲۰

چکیده

زمین لغزش‌ها از جمله مخاطرات طبیعی هستند که همه‌ساله موجب خسارات جانی و مالی زیاد، به‌ویژه در نواحی کوهستانی می‌شوند. شهرستان خلخال با داشتن چهره کوهستانی و با توجه به وضعیت زمین‌شناسی، فیزیوگرافی، اقلیمی و انسانی، عمده شرایط لازم جهت شکل‌گیری حرکات لغزشی را داراست؛ لذا هدف تحقیق حاضر، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در این شهرستان می‌باشد. در این مطالعه ابتدا، عوامل مؤثر جهت ایجاد لغزش در منطقه شناسایی شدند و سپس نسبت به تهیه لایه‌های اطلاعاتی در سامانه اطلاعات جغرافیایی اقدام گردید. در مرحله بعد وزن‌دهی عوامل مورد بررسی، با استفاده از روش **ANP** و در محیط نرم‌افزار **Super Decision** انجام گردید و تحلیل و مدل‌سازی نهایی با استفاده از روش تحلیل لکه‌های داغ به عنوان روش آمار فضایی و نیز روش **WLC** به عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، انجام شد. نتایج مطالعه نشان داد، عوامل شیب، کاربری اراضی، بارش و لیتولوژی به ترتیب با ضریب وزنی ۰/۶۶۳، ۰/۶۴۶، ۰/۶۳۹ و ۰/۳۷۹ بیش‌ترین تأثیر را بر ایجاد زمین لغزش در شهرستان خلخال دارند. همچنین، با توجه به نتایج به دست آمده به ترتیب ۲۴۹/۳۳، ۳۸۵/۰۸ و ۴۲۷/۱۴ کیلومتر مربع از مساحت محدوده، در طبقات لکه داغ، با ضریب اطمینان ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد، قرار دارند.

کلیدواژه‌ها: خلخال، زمین لغزش، **ANP**، **Hot Spot**، **WLC**.

۱- مقدمه

هر رویداد ژئومورفولوژیک را که اثر نامطلوب اجتماعی، اقتصادی بر سیستم زندگی انسان بر جای می‌گذارد، می‌توان یک خطر ژئومورفیک نامید (Alcantara, 2002). از میان انواع حرکات دامنه‌ای، زمین‌لغزش‌ها از جمله شایع‌ترین خطرات طبیعی‌اند و دارای بیشترین خسارات انسانی و زیست‌محیطی می‌باشند (Dhakal et al., 2000). لغزش عبارت است از پایین افتادن یا حرکت یکپارچه و اغلب سریع حجمی از مواد رسوبی در امتداد دامنه‌ها (محمودی، ۱۳۸۲). بنا بر تعریف انجمن زمین‌شناسی مهندسی، زمین لغزش عبارت است از جابه‌جایی به سمت پایین توده‌ای از مواد بر روی یک شیب (نصیری، ۱۳۸۳). مکانیسم فعالیت این پدیده بدین گونه است که در سازندهای ریزدانه (رس، مارن و شیل) در اثر جذب آب، خاصیت کلوئیدی مواد بهم می‌خورد و تا محلی که رطوبت نفوذ کرده باشد، خاک از توده اصلی جدا شده و در نتیجه نیروی ثقل در روی دامنه حرکت می‌کند (احمدی، ۱۳۸۶). این فرآیندها تحت تأثیر عوامل متعدد طبیعی از قبیل دینامیک درونی و بیرونی زمین و نیز فعالیت‌های انسانی از قبیل بارگذاری مواد بر روی دامنه، معدن‌کاوی، احداث سد، مخازن آب و عوارض خطی از قبیل جاده‌ها، راه‌آهن، خطوط لوله نفت و گاز و مواردی از این دست ایجاد می‌شوند. رویداد این حرکات جزء فرآیندهای شکل‌زایی زمین محسوب می‌شود، ولی با این وصف، وقتی ناپایداری دامنه‌ها و حرکات توده‌ای مواد بر روی دامنه‌ها در ارتباط با انسان و ساخت‌وسازهای بشری و مراکز سکونتی و فعالیت‌های وی صورت می‌گیرد، به عنوان بلایا و سوانح طبیعی قلمداد می‌شوند و گاهی وقوع آنها موجب خسارات فراوانی اعم از جانی و مالی در گوشه و کنار جهان می‌گردد (هدایی، ۱۳۸۱).

اما، نکته‌ای که بایستی بدان توجه کرد، این است که زمین لغزش‌ها از جمله بلایایی هستند که می‌توان آن‌ها را پیش‌بینی نمود و از خسارات و آسیب‌های جانی و مالی ناشی از آن جلوگیری کرد. برای این منظور روش‌های متعددی وجود دارد که پهنه‌بندی از مهم‌ترین آن‌هاست. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، ترسیم نقشه نواحی با احتمال یکسان وقوع در زمان معینی می‌باشد. از این طریق سطح زمین به نواحی مجزایی از درجات بالفعل و بالقوه خطر (بسیار کم تا بسیار زیاد) تقسیم می‌شود (Bell & Glade, 2004). به‌طور مسلم پهنه‌بندی خطر حرکات دامنه‌ای گامی مهم در ارزیابی خطرهای محیطی به شمار می‌رود و نقش غیر قابل انکار را در مدیریت حوضه‌های رودخانه‌ای و کوهستانی ایفا می‌نماید (Sakar et al., 1995). بنابراین شناخت عوامل مؤثر بر زمین لغزش و پهنه‌بندی خطرات ناشی از آن در مناطق مختلف از نیازهای اساسی و بسیار مهمی است که برنامه‌ریزان به آن محتاج می‌باشند (رنجبر، ۱۳۸۸). شهرستان خلخال، به لحاظ وضعیت خاص منطقه، مانند توپوگرافی (داشتن چهره کوهستانی)، شیب زیاد، وجود مواد سطحی سست و نامقاوم بر روی سازندهای مقاوم و شرایط اقلیمی (به ویژه به علت بارش‌های بهاری و نیز ذوب برف‌ها در فصل بهار) از پتانسیل بالایی برای وقوع زمین لغزش برخوردار است و حادثه‌خیزترین منطقه استان، از نظر

زمین لغزش، می باشد. از آن جهت که وقوع لغزش ها، منجر به آسیب ها و خسارات متعدد، از جمله تخریب راه های ارتباطی، آسیب به مناطق مسکونی و فرسایش و هدر رفتن منابع با ارزش خاک در منطقه می گردد؛ بنابراین مطالعه عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش و پهنه بندی سطح شهرستان از لحاظ پتانسیل بالقوه و بالفعل، جهت ارائه راه حل ها و شیوه های مناسب جهت مهار و کنترل زمین لغزش ضروری به نظر می رسد.

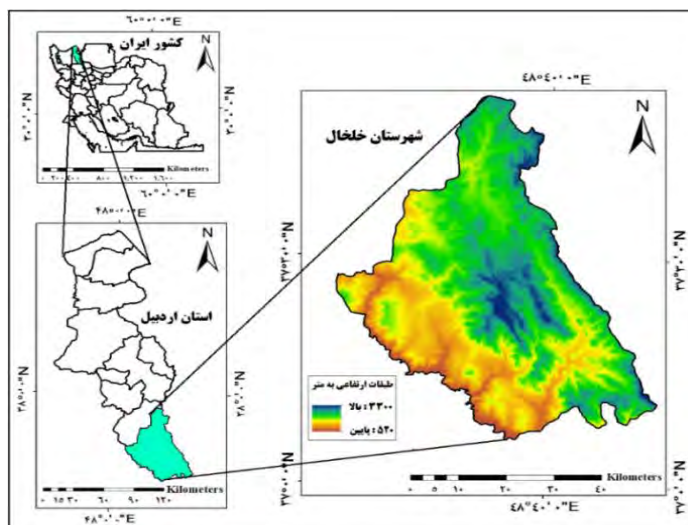
مطالعات ارزنده ای، به ویژه در سال های اخیر، به منظور بررسی زمین لغزش ها در نواحی مختلف ایران و جهان، صورت گرفته است. برای مثال: کریمی سنگ چینی و همکاران (۱۳۹۰)، در حوضه چهل چای استان گلستان، از روش های AHP، WLC و رگرسیون لجستیک و روش آماری چند متغیره، به منظور پهنه بندی ریسک پذیری زمین لغزش استفاده کرده اند، نتایج نشان داد که مدل ترکیب خطی وزنی بعد از روش آماری از مطلوبیت بالایی برخوردار می باشد. پیروزی و همکاران (۱۳۹۱)، در مطالعه ای پهنه بندی خطر زمین لغزش را در حوضه آبخیز آق لاقان چای با استفاده از روش WLC، انجام دادند. با توجه به نتایج مطالعه، طبقه با خطر زیاد و بسیار زیاد به ترتیب ۳۶ و ۸ درصد از کل مساحت حوضه را شامل می شوند. امیر احمدی و همکاران (۱۳۹۴)، مطالعه ای را تحت عنوان پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل ANP در حوضه پیوه ژن دامنه جنوبی بینالود انجام دادند. با توجه به نتایج مطالعه، عوامل فاصله از رودخانه و جاده بیش ترین وزن را به خود اختصاص دادند و همچنین مدل ANP، به عنوان مدلی مناسب و کارآمد برای پیش بینی لغزش معرفی شده است. کردوانی و همکاران (۱۳۹۶)، به ارزیابی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز اوغان استان گلستان، با استفاده از روش ANP پرداختند. طبق نتایج مطالعه، ۲۹ درصد حوضه در محدوده خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارند و به ترتیب عوامل شیب، لیتولوژی و فاصله از جاده مهم ترین عوامل دخیل در زمین لغزش می باشند. بهاروند و همکاران (۱۳۹۶)، با استفاده از روش WLC، به پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه ده سفید لرستان پرداختند و نتایج مطالعه نشان داد، به ترتیب ۳/۶۹ و ۲۹/۴۳ درصد از محدوده در کلاس خطر خیلی زیاد و زیاد قرار دارند. همچنین در این مطالعه با استفاده از شاخص احتمال تجربی مطلوبیت عملکرد مدل WLC مورد تأیید قرار گرفته است. بهاروند و همکاران (۱۳۹۷)، در مطالعه ای به مطالعه زمین لغزش در حوضه وارک لرستان، با استفاده از روش ترکیب خطی وزن دار (WLC)، پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که به ترتیب ۲۱/۹۰ و ۹/۵۲ درصد از مساحت حوضه در طبقات خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارند و بیشترین حساسیت به خطر لغزش در قسمت های شمال، شمال غرب و جنوب غرب منطقه واقع شده است. Neaupane & Piantanakulchai (۲۰۰۶)، در ارتفاعات Siwalik (در بخش شرقی نپال)، به ارزیابی خطر لغزش با استفاده از روش ANP پرداختند. در این مطالعه عوامل سنگ شناسی، زاویه شیب، شیب، زمین شناسی، نزدیکی به رودخانه به عنوان عوامل دخیل در وقوع زمین لغزش در نظر گرفته شده و در نهایت کارایی روش ANP، جهت مطالعه زمین لغزش ها مورد پذیرش واقع شده است. Kouli et al (۲۰۱۰)، در حوضه ریتمو جزیره ایسلند، پهنه بندی خطر زمین لغزش را با استفاده از مدل WLC انجام دادند و

به این نتیجه رسیدند که روش ترکیب خطی وزنی روش مناسبی جهت مطالعه و پهنه‌بندی زمین لغزش‌ها می‌باشد. مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه عوامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، چگالی گیاه، بارش، فاصله از گسل، فاصله از جاده و فاصله از رودخانه به عنوان عوامل مؤثر در نظر گرفته شده است و طبق نتایج مطالعه، در مجموع ۲۳/۲۲٪ از منطقه، به وسعت ۱۰۵/۳۸ کیلومتر مربع، در طبقه پرخطر و بسیار پرخطر قرار دارد. Tajudin et al (۲۰۱۸)، در Ulu Kelang، واقع در کشور مالزی، با استفاده از GIS و سنجش از دور و عوامل شیب، جهت شیب، زمین شناسی، کاربری اراضی و به ویژه با تاکید بر نقش بارش، به مطالعه زمین لغزش پرداختند. نتایج مطالعه در ۵ رده خطر بسیار کم تا بسیار زیاد به دست آمد و کارایی روش WLC، با توجه به رخدادهای زمین لغزش در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۹ مورد تأیید قرار گرفت. Gigovic et al (۲۰۱۹)، در مطالعه‌ای با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره فضایی و با استفاده از پانزده معیار، به پهنه‌بندی زمین لغزش در بخش غربی جمهوری صربستان پرداختند و در این مطالعه، در مجموع ۱۰۸۲ مکان لغزش شناسایی شدند. نتایج اعتبارسنجی تأیید کرد که ترکیب خطی وزنی (WLC)، از دقت بسیار بالایی برخوردار است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهرستان خلخال با وسعت ۲۶۸۸ کیلومتر مربع، در جنوب استان اردبیل، بین ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). این شهرستان از ۳ شهر خلخال، هشتجین و کلور و سه بخش مرکزی، خورش رستم و شاهرود تشکیل شده است. شهرستان خلخال، از طرف شمال با شهرستان کوثر، از شرق با استان گیلان، از جنوب با استان زنجان و از غرب با شهرستان میانه آذربایجان شرقی هم مرز است. این شهرستان، یک منطقه کوهستانی می‌باشد که از شرق به غرب و از شمال به جنوب از ارتفاعات آن کاسته می‌شود. ارتفاع بلندترین نقطه آن ۳۳۰۰ متر (قله آق داغ) و پست‌ترین نقطه ۵۲۰ متر (در حاشیه رودخانه قزل‌اوزن) است. در شهرستان خلخال، رود قزل‌اوزن و شاخه‌های آن مانند شاهرود، هروچای، آراچای جریان دارد و میانگین بارش سالانه این شهرستان، ۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۱- نقشه موقعیت شهرستان خلخال

۲-۲- داده‌ها

در این مطالعه، ابتدا عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش (شامل: شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، خاک، بارش، فاصله از راه ارتباطی، فاصله از رودخانه و فاصله از گسل)، با توجه به شرایط طبیعی و انسانی منطقه شناسایی گردید. در مرحله بعد لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از عوامل، در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. لایه‌های اطلاعاتی خطوط منحنی میزان، راه‌های ارتباطی و شبکه آبراهه با رقوم‌سازی از روی نقشه توپوگرافی شهرستان با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ به دست آمد و لایه‌های شیب و جهت شیب با استفاده از مدل رقوم ارتفاعی تهیه گردید. لایه‌های اطلاعاتی مربوط به لیتولوژی (مقاومت سنگ‌ها) و گسل با رقوم‌سازی از روی نقشه زمین‌شناسی شهرستان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شد. به منظور تهیه لایه اطلاعاتی کاربری از نقشه کاربری شهرستان با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰ استفاده شد و به منظور به روز کردن نقشه کاربری، از تصاویر لندست هشت که شامل سنجنده OLI و TIRS استفاده شده است و بدین منظور در نرم افزار ENVI 5.3، بعد از انجام تصحیحات اتمسفری تصویر ماهواره‌ای با استفاده از روش Flaash، از طریق روش طبقه‌بندی نظارت شده Maximum Likelihood، نسبت به تهیه نقشه کاربری اقدام شد. جهت تهیه نقشه خاک نیز از نقشه خاک استان اردبیل با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰ استفاده شده است. نقشه بارش شهرستان، با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی و با به دست آوردن معادله گرادیان بارش ($P=0.239 H-73.48$) و نیز استفاده از مدل رقوم ارتفاعی تهیه گردید.

۲-۳- فرآیند تحلیل شبکه‌ای^۱

روش ANP شکل توسعه یافته‌ای از روش AHP است که قادر است همبستگی و بازخوردهای موجود بین عناصر در یک تصمیم‌گیری را مدل‌سازی نموده و تمامی تأثیرات درونی اجزای مؤثر در تصمیم‌گیری را منظور و وارد محاسبات نماید (رزمی، ۱۳۸۷؛ به نقل از مهدی زاده، ۱۳۹۰). به‌طور کلی، روش ANP دارای مراحل زیر می‌باشد.

۱- تعیین معیارها و شاخص‌ها. ۲- تعیین روابط و ارتباطات بین عناصر و خوشه‌ها: در این گام، مسئله تصمیم‌گیری به ساختار شبکه‌ای تجزیه می‌گردد. هر شبکه از مجموعه‌ای از خوشه‌ها تشکیل شده است که هر خوشه شامل مجموعه‌ای از عناصر می‌باشد، به‌طور کلی، دو نوع وابستگی اصلی در هر شبکه می‌تواند وجود داشته باشد: الف- وابستگی میان خوشه‌ها: به گونه‌ای که هر خوشه می‌تواند با خوشه دیگر در هر سطح تصمیم‌گیری دارای ارتباط متقابل و بازخوردی باشد. ب- وابستگی میان عناصر خوشه‌ها: به گونه‌ای که هر عنصر در هر خوشه می‌تواند با تمامی عناصر موجود در دیگر خوشه‌ها وابستگی داخلی داشته باشد و حتی عناصر درون یک خوشه نیز می‌توانند با یکدیگر وابستگی داشته باشند. ۳- مقایسات زوجی بین عناصر و خوشه‌ها: ماتریس‌های مقایسات زوجی مشابه با روش AHP می‌باشد و زوج‌های عناصر تصمیم‌گیری در هر خوشه به نسبت اهمیت‌شان در جهت شرط‌های کنترلی آن‌ها مقایسه می‌شوند، خود خوشه‌ها نیز به نسبت سهم‌شان در هدف، مقایسات زوجی می‌شوند، به علاوه وابستگی‌های درونی بین عناصر یک خوشه نیز باید طوری جفتی مورد آزمون قرار گیرند و تأثیر هر عنصر بر روی عنصر دیگر توسط یک بردار ویژه نمایش داده شود، ۴- تشکیل سوپرماتریس‌ها: الف- تشکیل سوپرماتریس اولیه یا غیر وزنی: عناصر ANP با یکدیگر در تعامل قراردارند، این عناصر می‌توانند واحد تصمیم‌گیرنده، معیارها، زیرمعیارها، نتایج حاصل، گزینه‌ها و هر چیز دیگری باشند. وزن نسبی هر ماتریس براساس مقایسه زوجی شبیه روش AHP محاسبه می‌شود، وزن‌های حاصل در سوپرماتریس وارد می‌شوند که رابطه متقابل بین عناصر سیستم را نشان می‌دهند.

ب- تشکیل سوپرماتریس وزنی: در واقع ستون‌های سوپرماتریس از چند بردار ویژه تشکیل می‌شود که جمع هر کدام از بردارها برابر یک است، بنابراین این امکان وجود دارد که جمع هر ستون سوپرماتریس اولیه بیش از یک باشد (متناسب با بردارهای ویژه‌ای که در هر ستون وجود دارند). برای آن که از عناصر ستون متناسب با وزن نسبی‌شان فاکتور گرفته شود و جمع ستون برابر یک شود، هر ستون ماتریس استاندارد می‌شود، در نتیجه ماتریس جدیدی به دست می‌آید که جمع هر یک از ستون‌های آن برابر یک خواهد بود، این موضوع شبیه زنجیره مارکوف است که جمع احتمال همه وضعیت‌ها معادل است، ماتریس جدید، ماتریس وزنی یا ماتریس استوکاستیک گفته می‌شود. ج- تشکیل سوپرماتریس حدی: سوپرماتریس وزنی، به توان حدی می‌رسد تا عناصر ماتریس همگرا شده و مقادیر سطری آن با هم برابر شوند. ماتریسی که در نتیجه به توان رسیدن ماتریس وزنی به دست می‌آید، ماتریس حدی

1 ANP

می باشد. ۵- نتایج ماتریس خوشه‌ها: پس از محاسبه سوپرماتریس حدی، آخرین مرحله برای تعیین ارزش و ضریب نهایی عناصر، محاسبه نتایج ماتریس خوشه‌ها و نرمال سازی ضریب عناصر در سوپرماتریس حدی توسط ضریب خوشه‌ها می باشد. ۶- نتیجه نهایی عناصر: ضرایب سوپرماتریس در ضرایب ماتریس خوشه‌ها نرمال شده و در نهایت، نتیجه نهایی عناصر و اولویت آن‌ها مشخص می گردد (فرجی سبک‌بار و همکاران، ۱۳۸۹).

۲-۴- ترکیب خطی وزنی^۱

هر لایه نقشه معیار استاندارد می شود. ۲- وزن‌های معیار تعیین می گردد. ۳- لایه‌های نقشه استاندارد شده وزنی را ایجاد می کنیم (ضرب لایه‌های نقشه استاندارد شده در وزن‌های متناظر). ۴- با اعمال عملیات همپوشی جمعی بر روی لایه‌های نقشه استاندارد شده وزنی، نمره یا امتیاز کل را در رابطه با هر گزینه به دست می آوریم؛ گزینه‌ای که دارای بالاترین امتیاز (رتبه) باشد، به عنوان بهترین گزینه شناخته می شود. به‌طور رسمی در قاعده تصمیم‌گیری برای ارزیابی هر گزینه یا A_i ، از رابطه (۱) استفاده می شود:

$$A_i = \sum_j w_j x_{ij}$$

رابطه ۱

که در آن x_{ij} ، معرف نمره گزینه i ام در ارتباط با صفت j ام و w_j ، مشتمل بر یک وزن استاندارد شده است؛ به گونه‌ای که $\sum w_j = 1$. وزن‌ها اهمیت نسبی هر صفت را به نمایش می گذارند. با تعیین ارزش حداکثر A_{ji} ، اولویت‌دارترین گزینه انتخاب می گردد. در رابطه (۱) به مانند معادل رگرسیون تناسب به صورت خطی تعیین می شود (مالچفسکی، ۱۳۸۵).

۲-۵- تحلیل لکه داغ^۲

تحلیل لکه‌های داغ، آماره گتیس-ارد ارجی را برای کلیه عوارض موجود محاسبه می نماید. امتیاز Z محاسبه شده نشان می دهد که کجای داده‌ها مقادیر کم و زیاد خوشه‌بندی شده‌اند. این ابزار در حقیقت به هر عارضه در چهارچوب عوارضی که در همسایگی اش قرار دارند نگاه می کند. اگر عارضه‌ای مقادیر بالا داشته باشد جالب و مهم است، ولی به تنهایی ممکن است یک لکه داغ معنادار از نظر آماری نباشد. برای اینکه یک عارضه لکه داغ تلقی شود و از نظر آماری معنادار نیز باشد باید هم خودش و هم عوارضی که در همسایگی اش قرار دارند، دارای مقادیر بالا باشند. جمع محلی یک عارضه و همسایگانش به‌طور نسبی با جمع کل عارضه‌ها مقایسه می شود. زمانی که جمع

1 WLC

2 Hot Spot

محلی به طور زیاد و غیر منتظره‌ای از جمع محلی مورد انتظار بیشتر باشد و اختلاف به اندازه‌ای باشد که نتوان آن را در نتیجه تصادف دانست، در نتیجه امتیاز Z به دست خواهد آمد (روستایی و همکاران، ۱۳۹۵). آماره گیتس - ارد جی، به صورت زیر (رابطه ۲)، محاسبه می‌شود (Mitchell, 2008).

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{s \sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2]}{n-1}}} \quad \text{رابطه ۲}$$

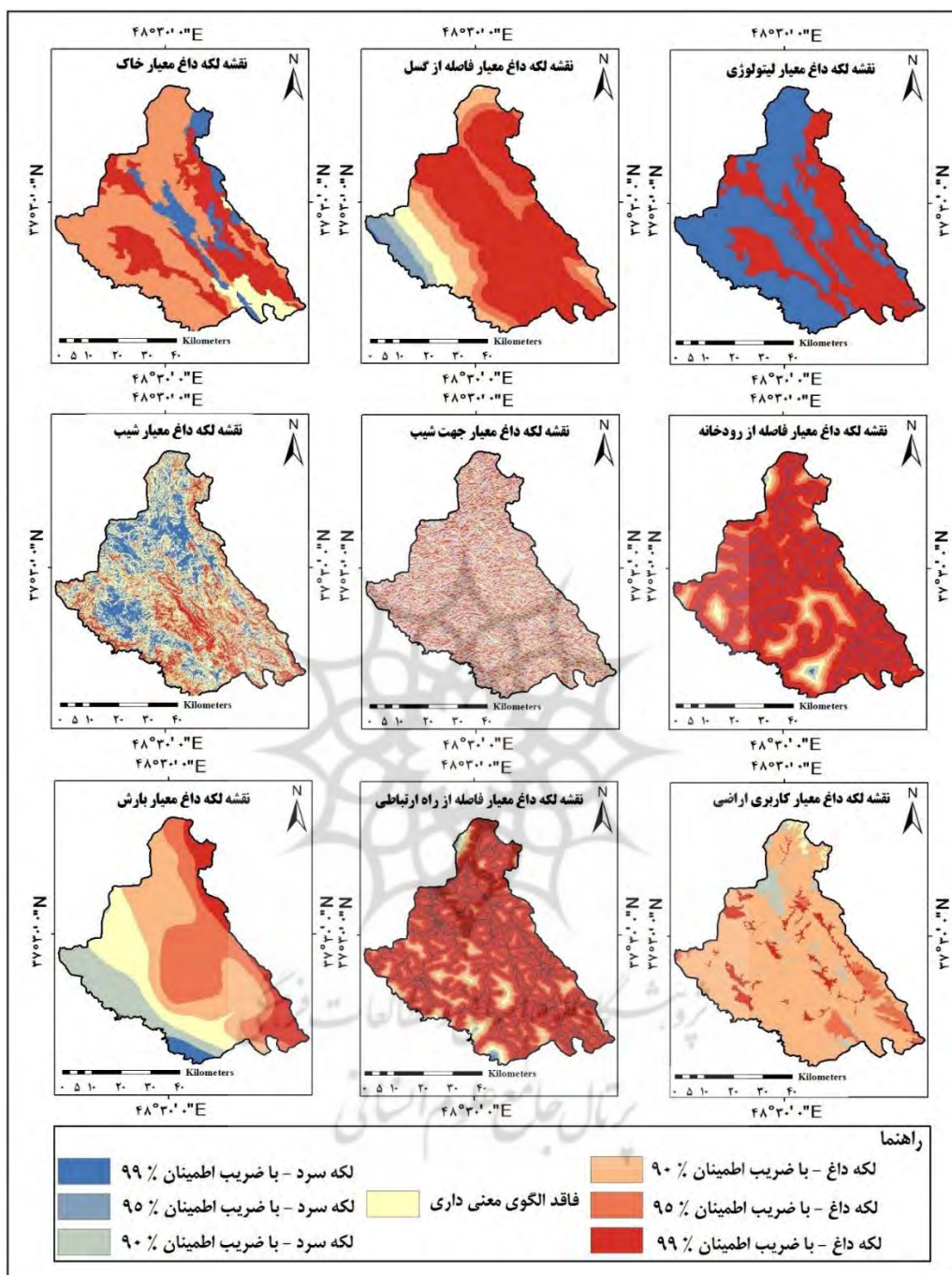
در این فرمول X_j مقدار خصیصه برای عارضه، w_{ij} وزن فضایی بین عارضه i و j برابر با تعداد کل عارضه‌ها است. برای محاسبه s از رابطه (۳)، استفاده می‌شود.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - (\bar{x})^2} \quad \text{رابطه ۳}$$

در واقع، آماره G عمومی، شاخص خودهمبستگی فضایی است. ضریب G عمومی بیشتر، نقطه داغ را نشان می‌دهد و ضریب G_i کمتر، نقاط سرد تشخیص داده می‌شود. آماره G_i که برای هر عارضه موجود در داده‌ها محاسبه می‌شود، نوعی نمره Z است. با توجه به امتیاز Z محاسبه شده می‌توان نشان داد که در کدام بلوک‌ها داده‌ها با مقادیر زیاد یا کم خوشه‌بندی شده‌اند. برای آن دسته از نمرات Z که مثبت و از نظر آماری معنی دار هستند، هر چه امتیاز Z بزرگ‌تر باشد مقادیر بالا به میزان زیادی خوشه‌بندی شده و لکه داغ را تشکیل می‌دهد. برای آن دسته از نمرات Z که منفی و از نظر آماری معنادار هستند، هر چقدر نمره Z کوچک‌تر باشد، به معنی خوشه‌بندی شدیدتر مقادیر پایین بوده و این‌ها در حقیقت لکه حرارتی سرد را نشان می‌دهد. با توجه به این که G_i خود نوعی نمره Z محسوب می‌شود، از محاسبه دوباره Z پرهیز شده است.

۳- نتایج

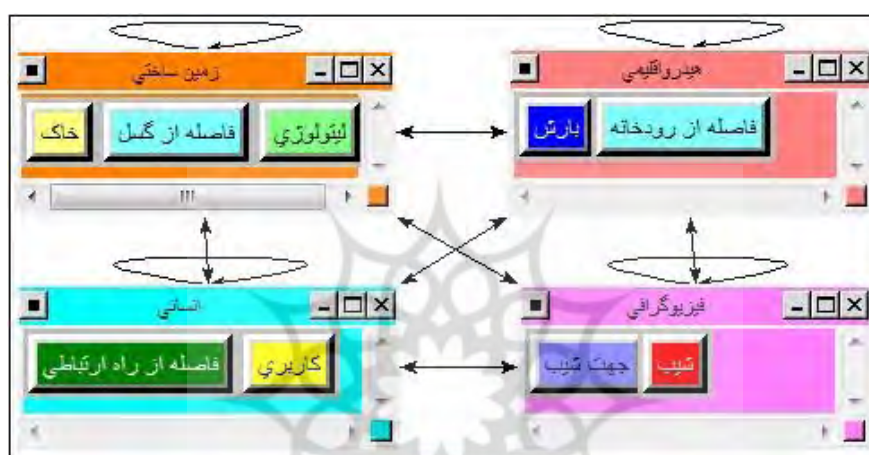
جهت دستیابی به الگوی پهنه‌بندی مکانی زمین لغزش در شهرستان خلخال، ضریب G برای کلیه معیارها از طریق نرم افزار GIS10.5، از روش صفر و یک و روش مرز مشترک محاسبه شده است. شکل ۲، تحلیل لکه‌های داغ را بر روی معیارها نشان می‌دهد که در این نقشه‌ها، لکه‌های قرمز رنگی که مشاهده می‌شود، نشانگر مقادیر بزرگ‌تر G_i هستند که به عنوان لکه‌های داغ شناخته می‌شوند و این محدوده‌ها از لحاظ پتانسیل زمین لغزش پرخطر هستند. هر میزان که G_i کاسته شود و Z نیز مقدار منفی و کوچک‌تر به خود بگیرد. به طرف لکه‌های سرد نزدیک می‌شویم که در نقشه‌ها با رنگ آبی نشان داده شده‌اند و این محدوده‌ها در نقاط کم خطر قرار دارند.



شکل ۲- نقشه های لکه داغ معیارهای مطرح در پهنه بندی زمین لغزش شهرستان خلخال

در مرحله بعد، نسبت به وزن دهی با روش ANP اقدام گردید. شکل (۳) نمونه مدل را جهت پهنه بندی خطر زمین لغزش در شهرستان خلخال، در نرم افزار Super Decisions نشان می دهد. در مطالعه حاضر عوامل زمین

ساختی، انسانی، فیزیوگرافی و هیدرواقليمی خوشه‌ها می‌باشند و معیارهای لیتولوژی، خاک، کاربری اراضی، شیب، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از گسل و بارندگی عناصر مطالعه می‌باشند و سپس مشابه با روش AHP، زوج‌های عناصر تصمیم‌گیری در هر خوشه به نسبت اهمیت‌شان در جهت شرط‌های کنترل آن‌ها مقایسه شده و خود خوشه‌ها نیز به نسبت سهم‌شان در هدف، مقایسات زوجی شدند و سوپرماتریس‌ها ایجاد شدند (جدول ۱ تا ۴) و نتیجه نهایی عناصر با ضرایب سوپرماتریس در ضرایب ماتریس خوشه‌ها نرمال شده و در نهایت، نتیجه نهایی عناصر و اولویت آن‌ها مشخص می‌گردید (جدول ۵).



شکل ۳- نمای کلی از خوشه‌ها و عناصر برای بررسی پتانسیل زمین لغزش

جدول ۱- سوپرماتریس غیروزنی یا اولیه مربوط به مدل

هیدرواقليمی		فیزیوگرافی		زمین ساختی			انسانی		خوشه‌ها و عناصر	
بارندگی	فاصله از رودخانه	شیب	جهت شیب	لیتولوژی	خاک	فاصله از گسل	کاربری اراضی	فاصله از راه		
۰/۳۳۳	۰	۰/۳۳۳	۰	۰/۳۳۳	۰/۰۹۹	۰/۵۰۰	۱	۰/۰۹۹	فاصله از راه	انسانی
۰/۶۶۶	۰	۰/۶۶۶	۰	۰/۶۶۶	۰/۹۰۰	۰/۵۰۰	۰	۰/۹۰۰	کاربری اراضی	
۰/۴۰۰	۰	۰/۳۳۳	۰	۰/۳۳۳	۰/۲۴۹	۰	۰/۳۲۲	۰/۳۷۹	فاصله از گسل	زمین ساختی
۰/۲۰۰	۰	۰/۳۳۳	۱	۰/۶۶۶	۰	۰/۱۴۲	۰/۵۶۶	۰/۲۸۹	خاک	
۰/۴۰۰	۰	۰/۳۳۳	۰	۰	۰/۷۵۰	۰/۸۵۷	۰/۱۱۰	۰/۳۳۱	لیتولوژی	
۰/۲۰۰	۱	۱	۰	۰/۳۳۳	۰	۰/۲۴۹	۰	۰	جهت شیب	فیزیوگرافی
۰/۸۰۰	۰	۰	۱	۰/۶۶۶	۱	۰/۷۵۰	۱	۱	شیب	
۱	۰	۰/۵۰۰	۰	۰/۲۴۹	۰	۰/۸۰۰	۰/۲۰۰	۰	فاصله از رودخانه	هیدرواقليمی
۰	۱	۰/۵۰۰	۰	۰/۷۵۰	۱	۰/۲۰۰	۰/۸۰۰	۱	بارندگی	

جدول ۲- سوپرماتریس وزنی مربوط به مدل

هیدرواقليمی		فيزيوگرافي		زمین ساختی			انسانی		خوشه‌ها و عناصر	
بارندگی	فاصله از رودخانه	شیب	جهت شیب	لیتولوژی	خاک	فاصله از گسل	کاربری اراضی	فاصله از راه		
۰/۰۲۰	۰	۰/۰۴۸	۰	۰/۰۳۵	۰/۰۱۰	۰/۰۵۳	۰/۱۴۲	۰/۰۱۴	فاصله از راه	انسانی
۰/۰۴۰	۰	۰/۰۹۷	۰	۰/۰۷۱	۰/۰۹۶	۰/۰۵۳	۰	۰/۱۲۸	کاربری اراضی	
۰/۰۵۵	۰	۰/۱۹۷	۰	۰/۲۲۶	۰/۱۶۹	۰	۰/۰۶۴	۰/۰۷۶	فاصله از گسل	زمین ساختی
۰/۰۲۷	۰	۰/۱۹۷	۰/۷۵۷	۰/۴۵۲	۰	۰/۰۹۶	۰/۱۱۳	۰/۰۵۸	خاک	
۰/۰۵۵	۰	۰/۱۹۷	۰	۰	۰/۵۰۸	۰/۵۸۱	۰/۰۲۲	۰/۰۶۶	لیتولوژی	
۰/۱۰۰	۰/۶۲۴	۰/۱۸۹	۰	۰/۰۵۲	۰	۰/۰۳۹	۰	۰	جهت شیب	فيزيوگرافي
۰/۴۰۰	۰	۰	۰/۲۴۲	۰/۱۰۴	۰/۱۵۶	۰/۱۱۷	۰/۳۴۲	۰/۳۴۲	شیب	
۰/۳۰۱	۰	۰/۰۳۶	۰	۰/۰۱۴	۰	۰/۰۴۶	۰/۰۶۲	۰	فاصله از رودخانه	هیدرواقليمی
۰	۰/۳۷۵	۰/۰۳۶	۰	۰/۰۴۳	۰/۰۵۸	۰/۰۱۱	۰/۲۵۰	۰/۳۱۳	بارندگی	

جدول ۳- سوپرماتریس حدی مربوط به مدل

هیدرواقليمی		فيزيوگرافي		زمین ساختی			انسانی		خوشه‌ها و عناصر	
بارندگی	فاصله از رودخانه	شیب	جهت شیب	لیتولوژی	خاک	فاصله از گسل	کاربری اراضی	فاصله از راه		
۰/۰۳۵	۰/۰۳۵	۰/۰۳۵	۰/۰۳۵	۰/۰۳۵	۰/۰۳۵	۰/۰۳۵	۰/۰۳۵	۰/۰۳۵	فاصله از راه	انسانی
۰/۰۶۵	۰/۰۶۵	۰/۰۶۵	۰/۰۶۵	۰/۰۶۵	۰/۰۶۵	۰/۰۶۵	۰/۰۶۵	۰/۰۶۵	کاربری اراضی	
۰/۱۲۶	۰/۱۲۶	۰/۱۲۶	۰/۱۲۶	۰/۱۲۶	۰/۱۲۶	۰/۱۲۶	۰/۱۲۶	۰/۱۲۶	فاصله از گسل	زمین ساختی
۰/۲۱۱	۰/۲۱۱	۰/۲۱۱	۰/۲۱۱	۰/۲۱۱	۰/۲۱۱	۰/۲۱۱	۰/۲۱۱	۰/۲۱۱	خاک	
۰/۲۱۸	۰/۲۱۸	۰/۲۱۸	۰/۲۱۸	۰/۲۱۸	۰/۲۱۸	۰/۲۱۸	۰/۲۱۸	۰/۲۱۸	لیتولوژی	
۰/۰۷۷	۰/۰۷۷	۰/۰۷۷	۰/۰۷۷	۰/۰۷۷	۰/۰۷۷	۰/۰۷۷	۰/۰۷۷	۰/۰۷۷	جهت شیب	فيزيوگرافي
۰/۱۵۲	۰/۱۵۲	۰/۱۵۲	۰/۱۵۲	۰/۱۵۲	۰/۱۵۲	۰/۱۵۲	۰/۱۵۲	۰/۱۵۲	شیب	
۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	فاصله از رودخانه	هیدرواقليمی
۰/۰۷۱	۰/۰۷۱	۰/۰۷۱	۰/۰۷۱	۰/۰۷۱	۰/۰۷۱	۰/۰۷۱	۰/۰۷۱	۰/۰۷۱	بارندگی	

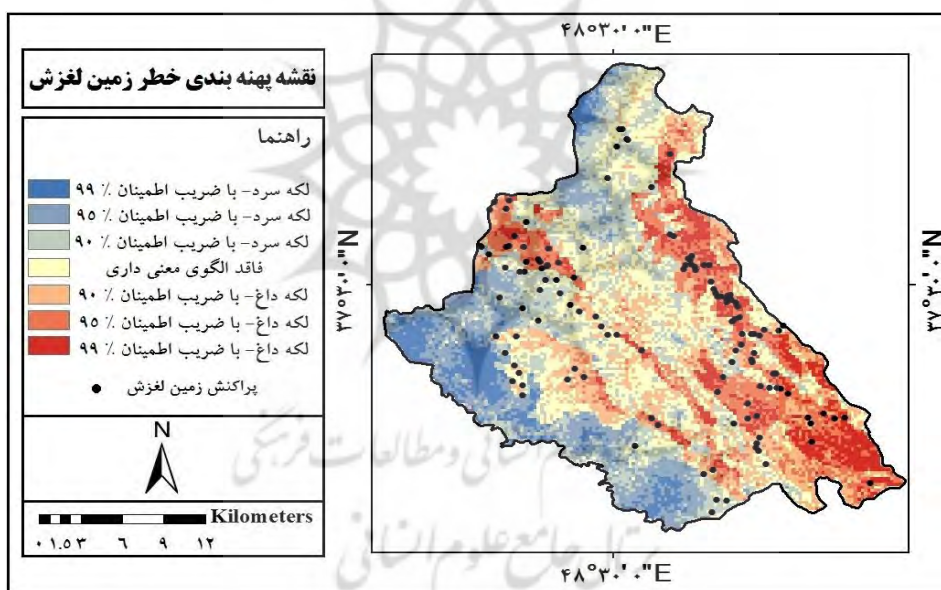
جدول ۴- ماتریس اوزان گروه‌ها

هیدرواقليمی	فيزيوگرافي	زمین ساختی	انسانی	خوشه‌ها
۰/۰۶۰	۰/۱۴۶	۰/۱۰۶	۹/۱۴۲	انسانی
۰/۱۳۷	۰/۵۹۱	۰/۶۷۸	۰/۲۰۰	زمین ساختی
۰/۵۰۰	۰/۱۸۹	۰/۱۵۶	۰/۳۴۲	فيزيوگرافي
۰/۳۰۱	۰/۰۷۲	۰/۰۵۸	۰/۳۱۳	هیدرواقليمی

جدول ۵- وزن نهایی حاصل از روش ANP

معیار	فاصله از راه	کاربری	فاصله از گسل	خاک	لیتولوژی	جهت شیب	شیب	فاصله از رودخانه	یارندگی
وزن نهایی	۰/۳۵۳	۰/۶۴۶	۰/۲۲۶	۰/۳۷۹	۰/۳۹۳	۰/۳۳۶	۰/۶۶۳	۰/۳۶۰	۰/۶۳۹

پس از انجام تحلیل لکه‌های داغ برای هر شاخص و استخراج نقشه‌های هر یک از معیارها و اعمال کردن وزن‌های مربوطه حاصل از روش ANP، نقشه‌های حاصله وارد مدل WLC شده و با اعمال مراحل مختلف مدل بر روی نقشه‌ها، خروجی نهایی بدست آمد. سپس بر روی لایه نهایی بدست آمده نیز، تحلیل لکه داغ انجام شد و نقشه نهایی پهنه‌بندی لغزش در ۷ طبقه از (بسیار داغ) بسیار پرخطر تا (بسیار سرد) بسیار کم خطر، بدست آمد (شکل ۴). اطلاعات مربوط به هر یک از طبقات خطر نیز در جدول ۶، نشان داده شده است.



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش شهرستان خخال

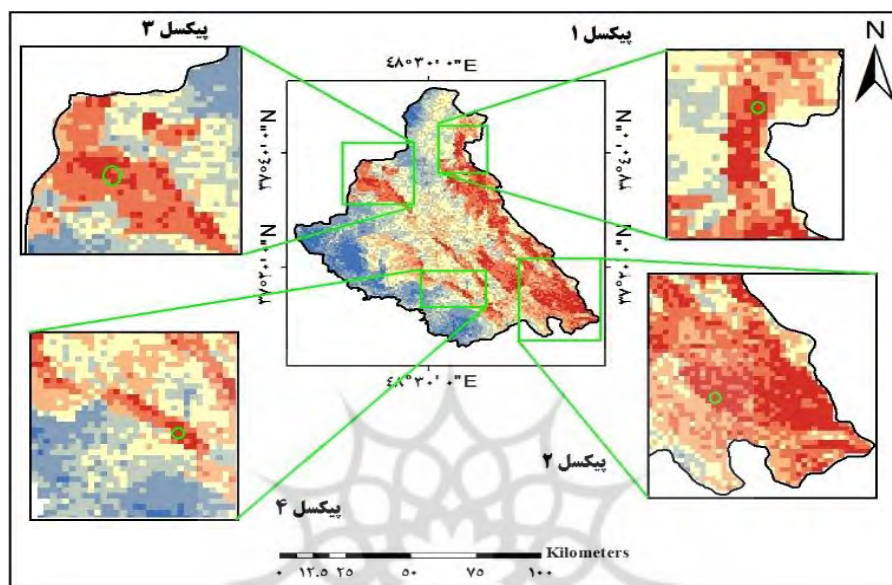
جدول ۶- درصد مساحت تحت پوشش الگوی حاصل از شاخص GI یا Hot Spot

طبقه خطر	لکه سرد- ۹۹٪	لکه سرد- ۹۵٪	لکه سرد- ۹۰٪	فاقد الگوی معناداری	لکه داغ- ۹۰٪	لکه داغ- ۹۵٪	لکه داغ- ۹۹٪
مساحت به کیلومتر مربع	۱۹۰/۹۸	۳۷۰/۸۰	۴۹۵/۸۶	۵۶۸/۸۱	۴۲۷/۱۴	۳۸۵/۰۸	۲۴۹/۳۳
مساحت به درصد	۷/۱۰	۱۳/۷۹	۱۸/۴۵	۲۱/۱۶	۱۵/۸۹	۱۴/۳۳	۹/۲۸

۴- بحث

نتایج تحلیل از ضریب G عمومی، شکل گیری نقاط داغ (به ترتیب ۲۴۹/۳۳، ۳۸۵/۰۸ و ۴۲۷/۱۴، کیلومتر مربع از مساحت محدوده، در طبقات لکه داغ، با ضریب اطمینان ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد) و نقاط سرد (به ترتیب ۱۹۰/۹۸، ۳۷۰/۸۰ و ۴۹۵/۸۶، کیلومتر مربع از مساحت محدوده، در طبقات لکه سرد، با ضریب اطمینان ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد) را نشان می دهند و همچنین، ۵۶۸/۸۱ کیلومتر مربع از مساحت حوضه، فاقد الگوی معنی داری می باشند. جهت مستندسازی بیشتر اعتبار نقشه های پهنه بندی پتانسیل لغزش با استفاده از تلفیق روش های ANP، Hot Spot و WIC در این قسمت سعی گردیده است، بعد از انتخاب تصادفی تعدادی از پیکسل های معرفی شده به عنوان نقاط پرخطر شکل (۵)، به بررسی مورد به مورد ویژگی های این پیکسل ها به لحاظ معیارهای تعیین شده پرداخته شود. به طور قطع انطباق این نمرات استاندارد شده با ارزش های واقعی ثبت شده از معیارها که با توجه به نقشه های رقومی به دست آمده است، به درک ملموس تر نتیجه حاصل کمک قابل توجهی می کند. با توجه به جدول مربوط به بررسی پیکسل های پرخطر (جدول ۷)، مناطق با لکه داغ ۹۹ درصد، به طور عمده در شیب ۲۰ تا ۳۵ درصد قرار دارند و در این مقدار شیب، مواد سطحی و اصولاً ریزدانه که مستعد برای لغزش اند با جذب آب و افزایش رطوبت به حد سیلانی رسیده و با بالا رفتن تنش های برشی و گسیختگی مواد در دامنه، شروع به حرکت می کنند. همچنین می توان گفت مناطق پرخطر، در مناطق با بارش زیاد (۶۵۰-۴۰۰ میلی متر)، قرار دارند و لغزش های شهرستان، در پی بارش های سنگین و یا به دنبال ذوب برف ها در فصل بهار و در سازندهای مستعد (ریزدانه و سست) شکل می گیرند و نحوه فعالیت بدین گونه می باشد که آب در داخل دامنه هایی که از خاک های ریزدانه با درصد زیادی از رس، مارن و سیلت تشکیل شده اند و از عمق زیادی نیز برخوردارند، نفوذ می یابد و فشار آب منفذی خاک و تنش های برشی افزایش می یابد. لذا، با به هم خوردن حالت کلوئیدی و چسبندگی خاک، پایداری واحدهای مستعد کاهش یافته و موجب گسیختگی می گردد. بررسی عامل لیتولوژی نیز نشان می دهد، سازندهای نامقاوم و نیمه مقاوم، که عمدتاً سازندهای سست کواترنری هستند، دارای حساسیت بالایی نسبت به وقوع لغزش اند. همچنین نقاط لکه داغ به طور عمده در خاک هایی با درصد زیاد رس و سیلت و مارن و در دامنه های شمالی و شمال غربی (به دلیل دریافت بارش زیاد، ماندگاری طولانی مدت برف و داشتن رطوبت بیشتر)، قرار دارند. بررسی معیار کاربری اراضی نیز حاکی از این موضوع است که کاربری زراعی بیشترین درصد از مساحت مناطق پرخطر را به خود اختصاص داده است که با توجه به عدم رعایت تناوب زارعی، کشت در اراضی شیب دار و افزایش رطوبت خاک از طریق آبیاری و نفوذ دادن آب بیشتر به زمین قابل قبول می باشد. به علاوه اراضی پرخطر (لکه داغ)، معرفی شده حاصل از روش تحقیق، نشان می دهد که اراضی پرخطر به طور نسبی، در فواصل نزدیک از جاده، رودخانه و گسل قرار دارند. در این رابطه می توان گفت، عامل جاده، به دلیل زیربری و از بین بردن پاشنه دامنه و تغییر در شیب دامنه ها در ایجاد حرکات لغزشی نقش

بسیار مهمی دارد و رودخانه‌ها نیز، با زیرشویی دامنه‌ها و از بین بردن تکیه‌گاه مواد دامنه‌ای در ایجاد زمین لغزش دارای اهمیت‌اند و همچنین، گسل‌ها منجر به گسیختگی در دامنه‌ها و ایجاد شکستگی در لایه‌ها و خردشدگی توده‌های سنگی و در نتیجه نفوذ آب به داخل زمین و کاهش مقاومت برشی دامنه می‌گردند.



شکل ۵- نقشه پیکسل‌های نمونه‌ی پرخطر مورد بررسی در پهنه‌بندی زمین لغزش

جدول ۷- ارزش‌های عادی و فازی نمونه‌های مورد بررسی از پیکسل‌های پرخطر در پهنه‌بندی زمین لغزش

پیکسل نمونه ۴	پیکسل نمونه ۳	پیکسل نمونه ۲	پیکسل نمونه ۱	معیار
ارزش عادی	ارزش عادی	ارزش عادی	ارزش عادی	
لیتوسول	لیتوسول	لیتوسول	لیتوسول	خاک
نیمه‌مقاوم	مقاوم	نامقاوم	نامقاوم	لیتولوژی
۲۰۰	۱۸۰۰	۱۲۰۰	۹۰۰	فاصله از گسل به متر
زراعت دیم	زراعت دیم	مرتع	ترکیب زراعی و باغ	کاربری اراضی
۶۰۰	۳۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰	فاصله از جاده به متر
۲۵	۳۴	۲۲	۳۰	شیب به درصد
شمال	شمال	شمال غرب	شمال	جهت شیب
۴۶۰	۴۱۰	۵۸۰	۶۲۰	بارندگی به میلی‌متر
۶۰	۴۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	فاصله از رودخانه به متر

همچنین، نتایج حاصل از همپوشانی خروجی حاصل از مطالعه، با پراکنش زمین لغزش‌ها (شکل ۴)، نشان داد که ۷۴/۸۰ از نقاط پراکنش لغزش‌ها در سطح شهرستان خلخال، در طبقات پرخطر (لکه داغ ۹۹ درصد تا ۹۰ درصد) و ۹/۹۳ از نقاط پراکنش لغزشی، در طبقات با خطر کم (لکه سرد ۹۹ درصد تا ۹۰ درصد) قرار دارند و طبقه فاقد الگوی معناداری ۱۵/۲۷ درصد از نقاط پراکنش لغزشی را به خود اختصاص داده است؛ لذا نقشه پهنه‌بندی حاصل از تلفیق روش‌های ANP، Hot Spot و WIC، با نقاط پراکنش لغزشی، هم‌خوانی بالایی دارد؛ به عبارت دیگر، نقاط پرخطر منطبق بر پراکنش و مکان‌های مربوط به رخداد واقعی زمین لغزش است. نمونه‌هایی از زمین لغزش‌ها در سطح شهرستان خلخال، در شکل ۶، نمایش داده شده است.



شکل ۶- نمونه‌هایی از زمین لغزش‌ها در سطح شهرستان خلخال

۵- نتیجه‌گیری

در شهرستان خلخال به دلیل کوهستانی بودن، وجود خاک‌های عمیق بر روی دامنه‌های پرشیب و نفوذ آب به لایه‌های زیرین خاک در هنگام ذوب تدریجی برف‌ها، زمینه مناسبی برای شکل‌گیری پدیده زمین لغزش به وجود آمده و خسارات زیادی را به دنبال داشته است. در این پژوهش خطر زمین لغزش در شهرستان خلخال، با استفاده از تلفیق روش‌های ANP، Hot Spot و WIC، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان داد، عوامل شیب، کاربری اراضی، بارش و لیتولوژی به ترتیب با مقدار ۰/۶۶۳، ۰/۶۴۶، ۰/۶۳۹ و ۰/۳۷۹ بیش‌ترین ضریب وزنی را به خود اختصاص دادند و همچنین نتایج حاصل از مطالعه بیانگر این امر می‌باشد که به ترتیب ۹/۲۸، ۱۴/۳۳ و ۱۵/۸۹ درصد از محدوده مطالعاتی در طبقات با تحلیل لکه داغ ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد، قرار دارد. با توجه به نقشه پهنه‌بندی لغزش شهرستان خلخال، مناطق پرخطر، به‌طور عمده در شیب ۲۰ تا ۳۵ درصد، در مناطق با بارش زیاد (۶۵۰-۴۰۰ میلی‌متر)، قرار دارند. همچنین، سازندهای نامقاوم و نیمه‌مقاوم، که عمدتاً سازندهای سست کواترنری هستند، خاک‌هایی با درصد زیاد رس و سیلت و مارن، کاربری‌های زراعی و دامنه‌های شمالی و شمال غربی، دارای حساسیت بالایی نسبت به وقوع لغزش‌اند. به علاوه نتایج مطالعه، نشان می‌دهد که اراضی پرخطر به‌طور نسبی، در فواصل نزدیک از جاده، رودخانه و گسل قرار دارند.

همچنین می‌توان گفت که نتایج حاصل از این مطالعه، حاکی از توان بالای شهرستان از لحاظ رخداد حرکات لغزشی می‌باشد، لذا اراضی بسیار پرخطر و پرخطر اراضی هستند که باید اقدامات حفاظتی و آبخیزداری در آن انجام گیرد. همچنین نباید تخریب و کارهای غیر اصولی از قبیل تخریب پوشش گیاهی در اثر تبدیل اراضی مرتعی به زراعی، و کاهش کمی و کیفی پوشش گیاهی در اثر چرای بی‌رویه دام‌ها، کشت دیم در اراضی شیب‌دار، عدم رعایت تناوب زراعی و احداث غیر اصولی جاده انجام گیرد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد، سازمان‌ها و ارگان‌های زیربط از جمله اداره کل منابع طبیعی، اداره راه و ترابری، بنیاد مسکن، سازمان جهاد کشاورزی و سازمان آب منطقه‌ای و ... در طراحی پروژه‌ها، مدیریت‌های محیطی، اجرای برنامه‌ها، طرح‌های عمرانی و هرگونه ساخت و سازها و فعالیت‌های زیربنایی در شهرستان خلخال، به منظور انتخاب استراتژی صحیح و مناسب و دوری از مناطق خطرناک، نقشه‌های پهنه‌بندی زمین لغزش منطقه را نیز مد نظر قرار دهند.

همانگونه که می‌دانیم، هر یک از روش‌های پهنه‌بندی زمین لغزش‌ها به نوبه خود دارای مزایا و معایبی می‌باشند. این امر که یک روش در یک منطقه تا چه حد از کارایی برخوردار است به شرایط بسیاری از جمله اقلیم و توپوگرافی و دیگر عوامل بستگی دارد. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی حاصل از مطالعه، بررسی موردی پیکسل‌های اولویت‌دار معرفی شده در خروجی حاصل از روش تحقیق و مقایسه آن با نقشه پراکنش حاصل از پیمایش‌های میدانی و همچنین شرایط اقلیمی، توپوگرافی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی و انسانی حاکم بر منطقه می‌توان، نتیجه گرفت که استفاده تلفیق روش‌های ANP، Hot Spot و WIC، از دقت نسبی بالایی جهت مطالعه زمین لغزش برخوردار است و انتظار می‌رود، این مطالعه و نتایج حاصل از این تحقیق، راه‌گشایی برای اعمال مدیریت بهتر و علمی‌تر مدیران و برنامه‌ریزان ذی‌صلاح در این زمینه گردد.

کتابنامه

- احمدی، حسن؛ ۱۳۸۶. ژئومورفولوژی کاربردی. جلد اول. فرسایش آبی. چاپ پنجم. انتشارات دانشگاه تهران.
- امیر احمدی، ابوالقاسم؛ شکاری بادی، علی؛ معتمدی‌راد، محمد؛ ۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل ANP (مطالعه موردی: حوضه پیوه‌ژن دامنه جنوبی بینالود). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. سال چهارم. شماره ۳، ۲۳۰-۲۱۴.
- بهاروند، سیامک؛ رهنما، جعفر؛ سوری، سلمان؛ ۱۳۹۷. اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر زمین لغزش و پهنه‌بندی خطر آن با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار (مطالعه موردی: حوضه وارک). مخاطرات محیط طبیعی. دوره هفتم. شماره ۱۶. ۲۱۰-۱۹۵.
- بهاروند، سیامک؛ سارویی، حمزه؛ سوری، سلمان؛ ۱۳۹۶. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار، مطالعه موردی: حوضه ده یقید. استان لرستان. فصلنامه جغرافیای طبیعی. سال دهم. شماره ۳۵، ۸۶-۷۵.

- پیروزی، الناز؛ مددی، عقیل؛ غفاری گیلانده، عطا؛ ۱۳۹۲. پهنه‌بندی زمین لغزش با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی در راستای حفاظت از محیط زیست (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آق لاقان چای). هفتمین کنفرانس ملی روز جهانی محیط زیست. تهران.
- رنجبر، محسن؛ روغنی، پریسا؛ ۱۳۸۸. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهرستان اردل با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP. فصل‌نامه جغرافیایی چشم‌انداز زاگرس. سال اول. شماره ۲، ۸۸-۲۲.
- روستایی، شهریور؛ کریم‌زاده، حسین؛ زاد ولی، فاطمه؛ ۱۳۹۵. بررسی تحلیل فضایی گسترش فقر شهری در شهر تبریز طی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۷۵. مجله آمایش جغرافیایی فضا. سال ششم. شماره بیست و دوم، ۱۳۶-۱۲۵.
- صمدزاده، رسول؛ ۱۳۹۴. ارزیابی پهنه‌های خطر زمین لغزش در جاده اردبیل-سرچم. پژوهش‌های دانش زمین. سال ششم. شماره ۲۳، ۳۳-۱۹.
- فرجی سبک‌بار، حسنعلی؛ سلمانی، محمد؛ فریدونی، فاطمه؛ کریم‌زاده، حسین؛ رحیمی، حسن؛ ۱۳۸۹. مکان‌یابی محل دفن بهداشتی زباله روستایی با استفاده از مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)؛ مطالعه موردی: نواحی روستایی شهرستان قوچان. فصل‌نامه مدرس علوم انسانی. دوره ۱۴. شماره ۱، ۱۴۹-۱۲۷.
- کردوانی، پرویز؛ غلامی کلاته، غلامرضا؛ رنجبر، محسن؛ ۱۳۹۶. ارزیابی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز اوغان استان گلستان با استفاده از فرایند تحلیل شبکه (ANP). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد بیست و چهارم. شماره ششم. ۶۶-۴۷.
- کریمی سنگ‌چینی، ابراهیم؛ اونق، مجید؛ سعدالدین، امیر؛ ۱۳۹۰. مقایسه کارایی ۴ مدل کمی و نیمه کیفی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز چهل چای استان گلستان. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد نوزدهم. شماره اول. ۱۸۳-۱۹۶.
- مالچفسکی، یاجک؛ ۱۳۸۵. ترجمه پرهیزگار، اکبر، عطا غفاری گیلانده. سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری. چاپ اول. انتشارات سمت.
- محمودی، فرج‌الله؛ ۱۳۸۷. ژئومورفولوژی دینامیک. چاپ دوم. انتشارات پیام نور.
- مهدی زاده سولا، جواد؛ ۱۳۹۱. تحلیل مخاطرات اقلیمی در شهر تبریز با استفاده از منطق فازی و مدل ANP. استاد راهنما: بهروز سبحانی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته جغرافیا. دانشگاه محقق اردبیلی.
- نصیری، شهرام؛ ۱۳۸۳. نگرشی بر زمین‌لغزش‌های ایران (مطالعه موردی ناپایداری شیب‌ها در جاده هراز). پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور.
- هدایی، علی‌اصغر؛ ۱۳۸۱. ناپایداری دامنه‌ای و پهنه‌بندی خطر رویداد حرکات دامنه‌ای. همایش علمی تحقیق مدیریت امداد و نجات. ۶۱-۴۵۳.

- Abedi Gheshlaghi H, Feizizadeh B. (2017). An integrated approach of analytical network process and fuzzy based spatial decision making systems applied to landslide risk mapping. *Journal of African Earth Sciences* 133: 15-24.
- Alcantara I. (2002). Geomorphology, Natural Hazards, Vulnerability and Prevention of Natural Disaster in Developing Countries. *Geomorphology* 47:107-124.
- Bell R, Glade T. (2004). Quantitative risk analysis for landslides, Examples from Bildudalur, NW-Iceland, *Natural Hazards and Earth* 4: 117-131.
- Dhakal A, Amada T, Aniya M. (2000). Landslide Hazard Mapping and its Evaluation Using GIS: An Investigation of Sampling Schemes for a Grid-Cell Based Quantitative Method.
- Gigovic L, Drobnjak S, Pamucar D. (2019). The Application of the Hybrid GIS Spatial Multi-Criteria Decision Analysis Best–Worst Methodology for Landslide Susceptibility Mapping. *International journal of Geo-Information* 8 (79): 1-29.
- Kouli M, Loupasakis C, Soupios P, Vallianatos F. (2010). Landslide hazard zonation in high risk areas of Rethymno Prefecture, Crete Island, Greece. *Nat Hazards* 52: 599-621.
- Mitchell A. 2008. *The ESRI Guide to GIS Analysis. Volume 2, Spatial Measurements and Statistics*, ESRI Press, Redlands, California.
- Neaupane K.M, Piantanakulchai M. (2006). Analytic network process model for landslide hazard zonation. *Engineering Geology* 85: 281–294.
- Sakar S, Kanugo D, Mehrotar P. (1995). Landslide zoning : A case study in Garhwal Himalaya, India. *Mountain research and development* 15 (4): 301-309.
- Tajudin N, Yaacob N, mohdali D, Adnan N. (2018). Rainfall – landslide potential mapping using remote sensing and GIS at Ulu Kelang, Selangor, Malaysia. *Conference Series Earth and Environmental Science* 169 (1):1-8.

