نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۸، شماره ٤٨، تابستان ۱۳۹۳، صفحات ٦٠-۳۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۱/۲۱ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۳/۰۱/۲۳

پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ها با مدل LNRF و GIS در حوضه کلان ملایر

علیرضا ایلدرمی[۱]

حبیبه روزبهانی[۲]

چکیده

حرکات توده‌ای یکی از مخاطرات طبیعی است که از نظر فراوانی و شدت وقوع موجب خسارت‌های مستقیم از قبیل انسداد راه‌ها و مسیر آبراهه‌ها، تخریب مناطق مسکونی و تأسیسات خدماتی و خسارت‌های غیرمستقیم مانند اثرات مخرب زیست محیطی، هدر رفتن خاک، افزایش رسوبات و کاهش ظرفیت مخازن سدها می‌شود در این تحقیق حوضه سد کلان ملایر در زاگرس همدان با هدف بررسی عوامل مؤثر و شناسایی نواحی مستعد حرکات توده‌ای و تعیین میزان نقش این عوامل در وقوع حرکات توده‌ای تعیین حدود گردیده و در این رابطه عوامل مؤثر در وقوع حرکات توده‌ای همچون لیتولوژی، فاصله از گسل، شیب، سطوح ارتفاعی و میزان بارش انتخاب گردید. سپس با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و عکس‌های هوایی و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقشه‌های لایه‌بندی تهیه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت از طریق بررسی متغیرهای مؤثر و با استفاده از مدل LNRF[3] به‌عنوان ابزار مفهومی با شیوه وزن‌دهی و همپوشانی لایه‌های مختلف عوامل مؤثر شناسایی شدند در نهایت با جمع جبری آن‌ها نقشه پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای با همپوشانی نمودن لایه‌های مختلف تهیه گردید نتایج حاصله نشان داد که در بین عوامل موثر به ترتیب عامل لیتولوژی، فاصله از گسل، شیب‌های با ۲۰ تا ۳۰٪ و ارتفاع ۲۰۰ تا ۲۳۰۰ متری بیشترین نقش را در وقوع حرکات توده‌ای منطقه دارند به‌علاوه بررسی‌ها نشان می‌دهد که مدل LNRF کارایی خوبی برای بررسی داده‌ها و پهنه‌بندی حرکات توده‌ای در حوضه سد کلان دارد. که این موضوع با بررسی‌های میدانی گسترده نیز به‌خوبی مورد تائید قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: حرکات توده‌ای، سد کلان، پهنه‌بندی، زاگرس و LNRF.

۱ـ دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه ملایر. Email:ildromi@gmail.com

۲ـ کارشناس ارشد ژئومورفولوژی.

3- Landslide nominical risk factor

مقدمه

امروزه لزوم برنامه‌ریزی مطلوب در زمینه استفاده از زمین و منابع طبیعی به‌عنوان یکی از مسائل مهم جوامع بشری مطرح بوده و توجه دانشمندان بسیاری را به خود جلب کرده است. بدون شک شناخت اجزای تشکیل‌دهنده چشم‌انداز طبیعی زمین و فرآیندهای تغییردهنده، قابلیت‌ها، محدودیت‌ها و تأثیر آن بر استفاده مطلوب از زمین، همچنین تأثیرپذیری متقابل آن از نوع کاربری اراضی نقش مهمی در نیل به این برنامه‌ریزی مناسب ایفا می‌کند. با توجه به اینکه می‌توان حرکات‌توده‌ای را نسبت به سایر مخاطرات طبیعی پیش‌بینی ودر صورت برنامه‌ریزی آن را مدیریت نمود. بنابراین در صورت شناخت پتانسیل حرکات توده‌ای در کشور می‌توان استراتژی مناسبی جهت، همزیستی یا مقابله با این پدیده در نقاط مختلف تدوین کرد. خضری و همکاران (۱۳۸۵: ۱۲).

کشورهای چکسلواکی سابق و ایتالیا در زمره اولین کشورهایی هستند که به‌طور گسترده به مطالعه در این زمینه پرداخته‌اند و از پیشگامان توجه به این پدیده می‌باشند و اقدامات ارزشمند پژوهشگران کشور چکسلواکی در ثبت اطلاعات در زمین‌لغزش از سال (۱۹۶۳) الگویی برای سایر کشورها گردید (شریعت جعفری، ۱۳۷۵). در ایران مطالعات در زمینه پدیده زمین‌لغزش‌ها بسیار جوان و تا قبل از سال ۱۳۶۹ سازمان ها به صورت موردی بر حسب نیاز دراین زمینه اقداماتی انجام می‌دادند تا اینکه در سال ۱۳۶۹ در پی زلزله رودبار و وقوع زمین‌لغزش‌های متعدد دراین منطقه لزوم مطالعه گسترده و متمرکز آن احساس شد. (یعقوبی، ۱۳۸۵). گوپتاوجوشی[۴] (۱۹۸۹) تحقیقی را با مدل LNRF در حوزه آبخیز رامگانگا هیمالیا به منظور پهنه بندی مخاطرات زمین لغزش انجام دادند. در منطقه نیر به سراب استان اردبیل با هدف مشخص کردن عوامل مؤثر در حرکات توده‌ای با مدل LNRF، عواملی از قبیل: لیتولوژی، فاصله ازگسل، شیب، سطوح ارتفاعی و میزان بارش را به‌عنوان مؤثرترین عامل طبیعی انتخاب گردید. با لایه‌بندی داده‌ها با نرم‌افزار GIS و تحلیل داده‌ها با مدل LNRF نقشه پهنه‌بندی منطقه را به‌دست آورده‌اند (سرور و همکاران، ۱۱:۱۳۹۱).

4 - Gupta & Joshi

برای بررسی علل رویداد زمین لغزش حوضه چالکرود استان مازندران از مدل‌های تراکم سطح، ارزش اطلاعاتی، LNRF بعنوان ابزار مفهومی و متغیرهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش به روش تحلیلی مورد تجزیه و تحلیل قرار داده است. (شادفر و همکاران، ۱۳۹۰: ۱). در بررسی زمین لغزش‌های حوزه آبخیز سد اکباتان ابتدا با تحلیل مورفومتری و خصوصیات هندسی آن‌ها ضمن تأیین موقعیت لغزش‌ها بر اساس طبقه‌بندی جریان ناپایداری دامنه‌ها مشخص و رسوب تولیدی از آن‌ها با روش EPM برآورد شده است در این بررسی شیب، ارتفاع، لیتولوژی و بارش مهم‌ترین عوامل در رخداد زمینه لغزش‌ها بوده‌اند (ایلدرمی، ۱۳۹۰: ۲۳). بررسی علل رویداد زمین لغزش و ارزیابی میزان وقوع این پدیده از طریق مدل‌های ریاضی و کمی در جاده هراز از امازاده هاشم تا لاریجان است. برای شناخت دستیابی به هدف شناخت عوامل مسبب و تشدیدکننده لغزش، ابتدا عوامل مؤثر از قبیل، شیب، جهت شیب، لیتولوژی، گسل، فاصله از جاده، کاربری زمین بررسی شده و نقشه‌ها را با نرم‌افزار ILWIS تهیه نموده و با مدل NRFL وزن‌دهی و مقادیر وزنی به‌دست آوردند. در نهایت با اعمال نقشه‌های وزنی در مدل، نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش منطقه مورد مطالعه را تهیه کردند (رنجبر و افتخاری، ۱۳۹۱: ۱۱). در منطقه دوهزار تنکابن با روش پیمایشی و مشاهداتی با استفاده از عکس‌های هوایی، ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی شناخت مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر لغزش منطقه را مورد مطالعه قرار داد. نتایج آب و زلزله را سبب ایجاد زمین لغزش نشان می‌دهد (متولی، ۱۳۹۰: ۷۰). نقشه‌های عامل لغزش در حوزه صوفی چای مراغه تهیه و با تلفیق لایه‌ها، نقشه پهنه‌بندی لغزش تهیه گردیده و با جمع‌بندی امتازهای هر واحد، واحد آبرفت‌های کواترنری عمده‌ترین عامل زمین لغزش تعیین گردید (روستایی، همکار، ۱۳۹۱: ۱۱). مطالعه (کوماچ[5]، ۲۰۰۶: ۱۷) با ارزیابی استعداد زمین لغزش در اسلوونی مرکزی مرتبط بود. برمبنای نتایج آماری چندین مدل استعدادسنجی زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل فرایند سلسله مراتبی (AHP) توسعه یافت. کارآیی چهار روش ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح، تحلیل سلسله‌مراتبی و روش پیشنهادی گوپتا و جوشی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز زنگوان استان ایلام را مورد

5- Komac. M

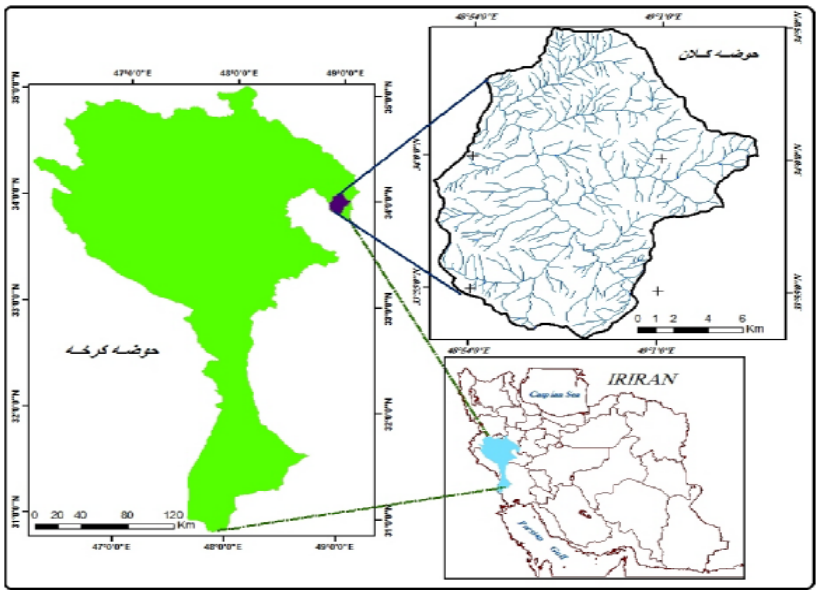
ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که روش ارزش اطلاعاتی کارائی بهتری نسبت به سایر روش‌ها در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه مورد مطالعه دارد. (نادری[۶] و همکاران، ۲۰۱۰). بر مبنای سامانه اطلاعات جغرافیائی و با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و آماره دومتغیره، نقشه حساسیت زمین لغزش برای منطقه Ardesen ترکیه تهیه گردید و به این نتیجه رسیدند که معیارهای سنگ‌شناسی، هوازدگی، کاربری زمین و شیب مهم‌ترین عوامل مؤثر در بروز زمین لغزش در منطقه هستند، همچنین بر اساس نتایج به‌دست آمده، روش تحلیل سلسله مراتبی به‌عنوان مناسب‌ترین مدل معرفی شد (یلسین[۷]، ۲۰۰۸: ۱). لغزش‌های رخداده در آزادراه خرم‌آباد–پل‌زال با هدف مشخص عوامل موثر و تشدیدکننده مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و ابزارهای پژوهش نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و... عکس‌های هوائی، تصاویر ماهواره‌ای IRS(PAN) و دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS)، جهت برداشت نقاط لغزشی جاده به‌عنوان ابزار فیزیکی و نرم‌افزارهای Envi، Arc gis، WMS... و مدل‌های‌ارزش اطلاعاتی، فازی خطی (Fuzzy Liner)، تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و مدل اقلیمی پلتیر (Peltier) به‌عنوان ابزارهای مفهومی تشکیل داده است. مقایسه نتایج به‌دست آمده از ارزیابی مدل‌ها، بیانگر آن است که مدل فازی– AHP در محدوده مورد مطالعه نتایج واقعی‌تری نسبت به مدل ارزش اطلاعاتی در رابطه با پراکنش و تراکم زمین لغزش‌ها با استفاده از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی نشان می‌دهد (رحمتی، ۱۳۹۱: ۱). در جلسیان تنکابن پس از تعیین وسعت و درصد زمین لغزش‌ها در طبقات عوامل به‌کمک مدل‌های LNRF، ارزش اطلاعات کمی و تراکم سطح، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر بهترین مدل را به‌دست آورد. ارزیابی مدل‌ها با حوضه معرف بیانگر آن است که مدل تراکم سطح نسبت به مدل‌ها دیگر ارقام صحیح‌تری را نشان می‌دهد (موسی‌پور، ۱۳۸۶: ۱). در بررسی دیگر (شارما، ۲۰۰۸ :۱) نقش و تاثیر بارندگی را به‌عنوان یک عامل هیدرولژیکی مهم در رخداد زمین لغزش‌های سطحی حوزه‌های آبخیز بررسی و مورد ارزیابی قرار داده و رابطه این عامل را با مخاطرات محیطی رخداد لغزش به‌صورت مدل بیان نموده است.

6- Naderi. F
7- Yelcin. A

بررسی و مطالعه حرکات توده‌ای به منظور شناسایی نواحی مستعد و شناخت عوامل مؤثر در وقوع آن جهت مدیریت صحیح این اراضی به منظور پیشگیری از وقوع و ایجاد خسارات، دارای اهمیت زیادی می‌باشد. ناپایداری دامنه‌ها بر اثر حرکات توده‌ای از جمله مخاطرات طبیعی است که موجب خسارات ملی جانی و تخریب منابع طبیعی فراوان در کشور می‌گردد. فرسایش خاک، تهدید مناطق مسکونی، زراعی و جاده‌ها، پر شدن مخازن سدو... از جمله مواردی است که در نتیجه وقوع انواع حرکات توده‌ای اتفاق می‌افتد. به همین دلیل مطالعه حرکات توده‌ای در دنیا از اهمیت خاصی برخوردار است.

منطقه مورد مطالعه

حوضه سد کلان ملایر باجهت جنوب‌شرقی- شمالغربی در جنوب‌شرقی ملایر، با مساحت ۲۳۹۵۹،۱۴ کیلومتر در محدوده بین "۴۸۰۵۳ تا "۴۹۰۰۴ و در بین "۳۳۰۵۲ تا "۳۳۰۰۴ عرض شمالی قرار گرفته است. رودخانه اصلی حوضه مورد مطالعه از سرشاخه‌های حوضه گاماسیاب بوده و با پیوستن به سمیره و رودخانه بزرگ کرخه و نهایتاً به خلیج فارس می‌ریزد (مهندسان مشاوربند آب، سد کلان ملایر-۱۳۸۳). شکل (۱). ارتفاع متوسط منطقه ۲۱۷۸/۴ متر و از لحاظ زمین‌شناسی در زون سنندج - سیرجان واقع گردیده است (نقشه زمین‌شناسی ملایر-۱۳۷۹). از نظر طبقه‌بندی اقلیمی به روش آمبرژه از نوع اقلیم نیمه‌سرد و خشک و رژیم بارندگی مدیترانه‌ای در منطقه حاکم است، متوسط بارندگی سالانه در ایستگاه ملایر ۳۲۰/۳ میلی‌متر، بیشترین بارندگی فصلی در بهار با (۳۶/۱)درصد است. نزولات جوی از اواخر آبان تا اواخر اسفند به‌صورت برف و تعداد روزهای یخبندان ۸۷/۳ روز درسال است متوسط دمای سالانه ۱۱/۷ درجه سانتیگراد، متوسط حداقل مطلق دما در ماه بهمن (۱۲-) درجه سانتی‌گراد و متوسط حداکثر مطلق دما در ماه مرداد (۳۷/۳) درجه سانتی‌گراد است.



شکل (۱) موقعیت حوضه سد کلان ملایر

مواد و روش‌ها

این تحقیق، با استناد به مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای و روش تحلیلی انجام شده و مراحل تحقیق آن به‌شرح زیر انجام گرفته است؛

پس از جمع‌آوری و بررسی اطلاعات موجود شامل مقالات، کتب، گزارشات و نقشه ها و به‌منظور پهنه‌بندی حرکات‌توده‌ای ابـتدا با استفاده از نـقشه‌های تـوپوگرافی به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰، زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و تفسیر عکس‌های هوایی به مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰، حرکات‌توده‌ای رخداده در منطقه به تعداد ۱۷ مورد، شناسایی و موقعیت آن‌ها بر روی نقشه توپوگرافی ثبت و، نقشه پراکنش حرکات توده‌ای به‌صورت رقومی و به‌عـنوان نقشه پایه تهیه گـردید (شکل ۲). با بازدیدهای میدانی داده‌های به‌دست آمده در منطقه مورد وارسی قرار گرفت. همچنین برای سهولت در تجزیه و تحلیل داده‌ها از بین عوامل مؤثر بر حرکات توده‌ای مـتغیرها در قالب سیستم اطلاعات جـغرافیایی (GIS) با

استفاده از نرم‌افزار ArcGIS9.3 رقومی و تهیه شد.

نقشه‌های لیتولوژی و فاصله از گسل با استفاده از نقشه زمین‌شناسی منطقه در محیط نرم‌افزار ترسیم گردید. برای نقشه فاصله از گسل، از گسل‌های موجود در منطقه، فاصله گسل در طبقات ۱۰۰۰ متری در چهار طبقه تهیه گردید.

نقشه‌های شیب، جهت شیب و سطوح ارتفاعی منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه توپوگرافی و DEM منطقه مورد مطالعه در محیط GIS به‌دست آمدند.

نقشه شبکه آبراهه‌ها با فاصله ۲۰۰ متر در محیط نرم‌افزار بافربندی و به چهار طبقه تقسیم شد.

برای بررسی رابطه بین بارندگی و حرکات توده‌ای، نقشه میزان بارش حوضه از آمار ایستگاه‌های بارانسنجی موجود پیرامون حوضه مورد مطالعه استفاده گردید. و از طریق مدل Kriging و از روش Spherical، در نرم‌افزار ArcGIS درون‌یابی، خطوط همبارن تهیه گردید. و همچنین نقشه سطوح همبارن حوضه از نقشه DEM منطقه در طبقه تهیه گردید، نقشه پوشش گیاهی، از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور تهیه و در تحقیق حاضر مورد استفاده گردید.

نقشه‌های عامل با نقشه پراکنش حرکات‌توده‌ای تلفیق گردیده و با استفاده از مدل LNRF[۸] وزن هر واحد محاسبه و نقشه‌های وزنی برای هر یک از عوامل تهیه گردید.

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از مدل مربوطه و رابطه ۱، میزان خطر وقوع زمین لغزش‌ها در منطقه مشخص شده است.

$$LNRF = \frac{A}{E}$$ رابطه (۱)

که در آن:

سطح حرکات توده‌ای رخداده در یک واحد (A)

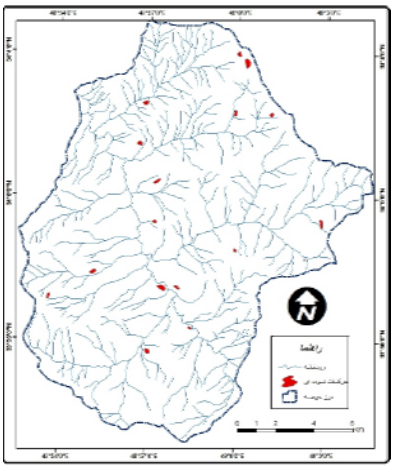
8- Landslide Nominical Risk Factor

میانگین حرکات توده‌ای رخداده در کل واحدها (E)

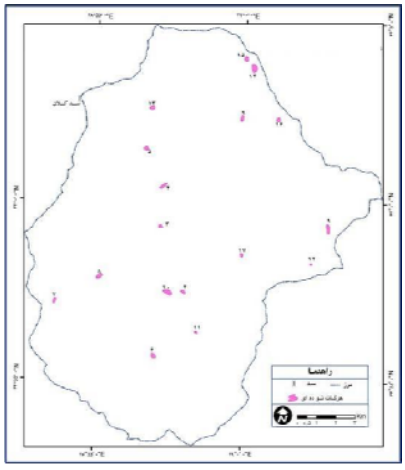
به‌طوری‌که از رابطه فوق، با استفاده سطح لغزش‌های رخداده در هریک از واحدهای همگن از نظر مقادیر عوامل مؤثر در زمین لغزش و تقسیم آن بر سطح میانگین وقوع زمین لغزش در کل واحدها اقدام به تهیه شاخص تعیین میزان خطر وقوع زمین لغزش می‌شود. در این رابطه وزن هر یک از واحدهای همگن محاسبه شده و نقشه وزنی هریک از عامل‌ها تهیه و به سه طبقه (کم= صفر، متوسط = یک و زیاد = دو) وزن‌دهی می‌شود. (جدول۱) در خاتمه با جمع جبری نقشه‌های وزنی، نقشه پهنه‌بندی ناپایداری دامنه‌ها، براساس میزان خطرپذیری حوضه با درجه ناپایداری بسیار زیاد، ناپایداری زیاد، ناپایداری متوسط، ناپایداری کم، و پایدار تهیه و طبقه‌بندی گردید.

جدول (۱) تعیین مقادیر وزنی براساس وسعت حرکات توده‌ای در روش LNRF

ردیف	ضریب LNRF		دامنه تغییرات LNRF	Weight	ناپایداری
	حداقل	حداکثر			
۱	۰	۰/۶۷	LNRF <۰/۶۷	۰	کم
۲	۰/۶۷	۱/۳۳	۰/۶۷< LNRF<۱/۳۳	۱	متوسط
۳	۱/۳۳	۱/۳۳ <	۱/۳۳< LNRF	۲	زیاد



شکل(۲)الف- نقشه پراکنش حرکات توده‌ای



شکل(۲)ب- نقشه پراکنش حرکات توده‌ای

جدول (۲) محل و وسعت حرکات توده‌ای در حوضه کلان ملایر

ردیف	نام محل وقوع حرکات توده‌ای	مساحت		ردیف	نام محل وقوع حرکات توده‌ای	مساحت	
		Km^2	درصد			Km^2	درصد
۱	هفت‌تپه	۶۱۲،۱۴	۸،۴	۱۰	امامزاده عباس	۸۶۶،۴۲	۱۱،۹
۲	کله	۳۰۶،۸۵	۴،۲	۱۱	گونستان	۱۴۴،۰۵	۲
۳	–	۲۶۷،۳۹	۳،۷	۱۲	–	۷۷،۵۳	۱،۱
۴	–	۴۵۹،۰۷	۶،۳	۱۳	امامزاده خاتون	۴۰۰،۳۲	۵،۵
۵	بیاتون	۴۱۹،۴	۵،۷	۱۴	کوه گردل	۱۰۰۱،۹۹	۱۳،۷
۶	دودانگه	۴۷۳،۶۹	۶،۵	۱۵	کوه گردل	۴۲۱،۱۶	۵،۸
۷	کوه سرده	۳۳۷،۶۱	۴،۶	۱۶	کوه کیس	۳۳۰،۰۳	۴،۵
۸	قپانوری	۵۴۴،۳۳	۷،۵	۱۷	دره مراد	۲۳۳،۳۲	۳،۲
۹	دره راست	۴۰۰،۴۵	۵،۵		جمع	۷۲۹۶،۰۵	۱۰۰

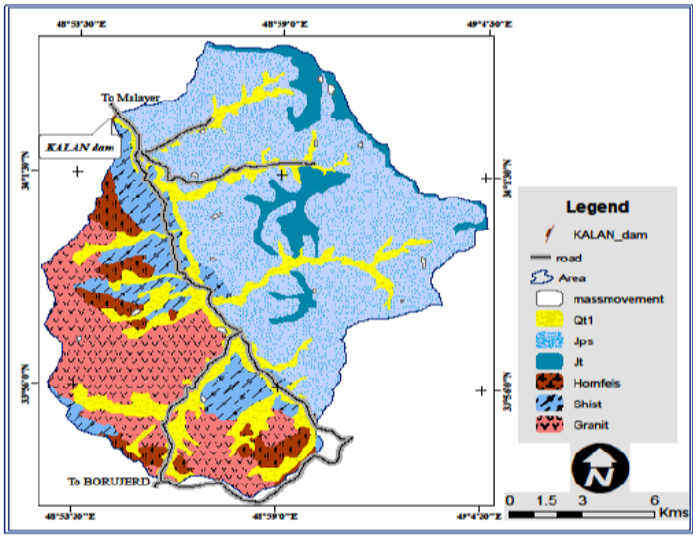
یافته‌ها و بحث

از آنجایی که در وقوع حرکات توده‌ای عوامل متعدد طبیعی و انسانی نقش دارند در این تحقیق برای سهولت تجزیه و تحلیل داده‌ها از بین عوامل مؤثر بر حرکات توده‌ای متغیرهای لیتولوژی، فاصله ازگسل، شیب، سطوح ارتفاعی، جهت شیب، فاصله از رودخانه، پوشش گیاهی و میزان بارش انتخاب و با استفاده از مدل LNRF وزن‌دهی و ارزش هر یک در وقوع این پدیده به اثبات رسید.

عامل لیتولوژی

نوع سازندها و لیتولوژی، یکی از عوامل تأثیرگذار بر وقوع حرکات توده‌ای می‌باشد. با توجه به نقشه زمین‌شناسی حوضه (شکل۳) لیتولوژی متفاوتی در حوضه ملاحظه می‌شود که در شرایط اقلیمی و ارتفاعی عملکردهای متفاوتی در وقوع حرکات توده‌ای نشان می‌دهند. واحد سنگی فیلت، اسلیت و شیست (Jst و Jph) که به اسلیت‌های ملایر و همدان شهرت دارند، با مساحت ۴۴ درصد از کل حوضه بیشترین رخنمون‌های سنگی حوضه را داراست، جدول(۳). در این واحد با تزریق توده‌های بزرگ گرانیتی بروجرد با ترکیب گرانیتی تا گرانودیوریتی در میان اسلیت‌های سیاه موجب شکل‌گیری هاله دگرگونی گردیده است.

عمده تشکیلات این واحد فیلیت، اسلیت، شیست و ماسه سنگی دگرگونه محلی است. واحد رسوبات آبرفتی شامل نهشته‌های آبرفتی قدیم و جدید است. در این واحد به‌علت فعالیت‌های زیستی (انسانی، گیاهی و جانوری) افزایش قطر خاک از جمله خاک رس و آبرفت‌ها جذب آب‌های نزولات جوی، سطحی و زیرزمینی در برابر وقوع حرکات توده‌ای حساسیت بیشتری دارد. سنگ‌های دگرگونی همبری با نفوذ سنگ‌های کوارتزدیوریتی شروع وبه هورنفلس‌های توده‌ای متراکم به‌صورت ماسه‌ای در حاشیه سنگ‌های گرانیتی ختم می‌شود. هرچه از توده نفوذی دورتر می‌شویم به‌تدریج شیستوزیته در آن‌ها ظاهر می‌گردد و به‌صورت هورنفلس، شیست آندالوزیت‌دار و در نهایت به شیست لکه دار تبدیل مـی‌گردد. (نقشه زمین‌شناسی ملایر–۱۳۷۹) این واحد سنگی بخش غربی حوضه را کاملاً در برگرفته و در برابر فرسایش و حرکات توده‌ای مقاوم است. واحد Jt شامل سنگ‌های ماسه‌سنگ توفی، ماسه‌سنگ دگرگونه، اسلیت خاکستری تیره است و تنها ۶/۵ درصد از کل مساحت حوضه را دارد. و با فرسایش‌پذیری کم در برابر حرکات توده‌ای نیز حساسیت کمتری دارد. بر این اساس با استفاده از مدل LNRF مقادیر ارزشی لیتولوژی و وزن هر یک از واحدهای مربوطه تعیین گردیده است (جدول۳).



شکل (۳) نقشه لیتولوژی حوضه کلان ملایر

جدول (۳) مساحت حرکات توده‌ای در واحدهای لیتولوژی و محاسبه وزن هر سطح

لیتولوژی	مساحت واحد (km^2)	درصد واحد	لغزش رخداده در واحد	درصدلغزش رخداده در واحد	LNRF	Weight
رسوبات آبرفتی	۳۹۵۹۱،۶	۱۶،۵	۲۱۱۸	۲۹	۱،۷۴	۲
فیلیت،اسلیت و شیل	۱۰۵۳۸،۲۵	۴۴	۲۳۲۹	۳۲،۹	۱،۹۲	۲
ماسه سنگ توفی	۱۵۴۸،۳۳۴	۶،۵	۱۴۲۳	۱۹،۵	۱،۱۷	۱
شیست	۲۳۱۶،۹۰۶	۹،۷	۴۷۴	۶،۵	۰،۳۹	۰
گرانیت	۴۳۳۳،۱۴۹	۱۸،۱	۳۳۸	۴،۶	۰،۲۸	۰
هورنفلس	۱۲۶۳،۳۷۲	۵،۳	۵۴۴	۷،۵	۰،۴۵	۰
جمع	۲۳۹۵۹،۱۴	۱۰۰	۷۲۹۶	۱۰۰		

فاصله از گسل

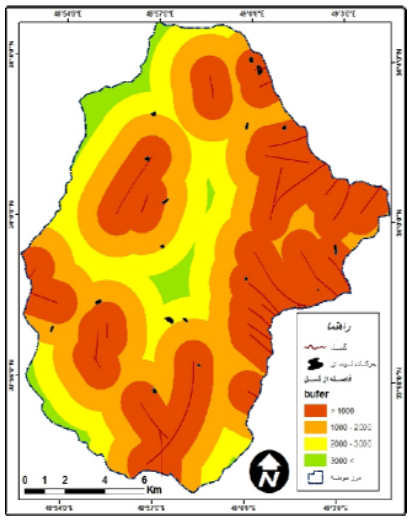
با توجه به اینکه مسیر گسل‌های بالقوه، برنقاط ناپایدار زمین می‌باشند و هم‌چنین به‌دلیل ایجاد گسیختگی در دامنه‌ها و ایجاد شکستگی در لایه‌ها و خردشدگی توده‌های سنگی عموماً در مسیر گسل‌ها سیستمی از درز و شکاف‌ها ایجاد می‌گردد و در نتیجه نفوذ آب به داخل زمین موجب کاهش مقاومت برشی دامنه می‌گردد (یعقوبی، ۱۳۸۵: ۱۲۵). تأثیر گسل‌ها بر حرکات توده‌ای به‌صورت‌های مختلفی است:

رویداد زلزله در نزدیکی گسل‌ها دارای شدت بیشتری است.

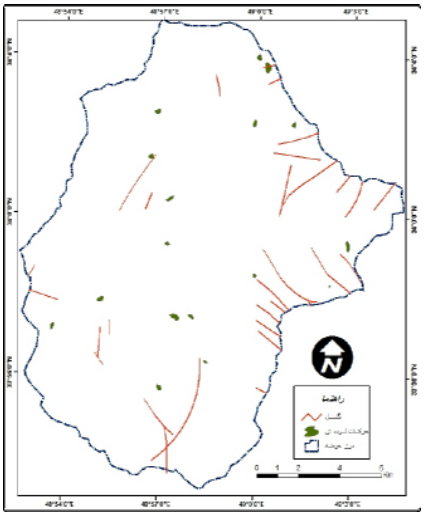
تأثیر گسل‌ها در خردشدگی سنگ‌های پیرامون، این خردشدگی باعث لغزش‌های سنگی در مناطق با شیب متوسط می‌شود.

نفوذ بیشتر آب در درون این مناطق خردشده که باعث بالا رفتن سطح آب زیرزمینی و فشار آب منفذی می‌شود (حایری، ۱۳۷۵: ۳۴).

در حوضه مورد مطالعه حرکات تکتونیکی نقش تشدید و تسریع‌کننده‌ای در وقوع حرکات توده‌ای دارند. با توجه به شکل (۴) و جدول (۴) ملاحظه می‌شود وقوع حرکات‌توده‌ای با فاصله از گسل رابطه مستقیم دارد.



شکل الف (٤) نقشه فاصله از گسل



شکل ب (٤) نقشه گسل‌های حوضه

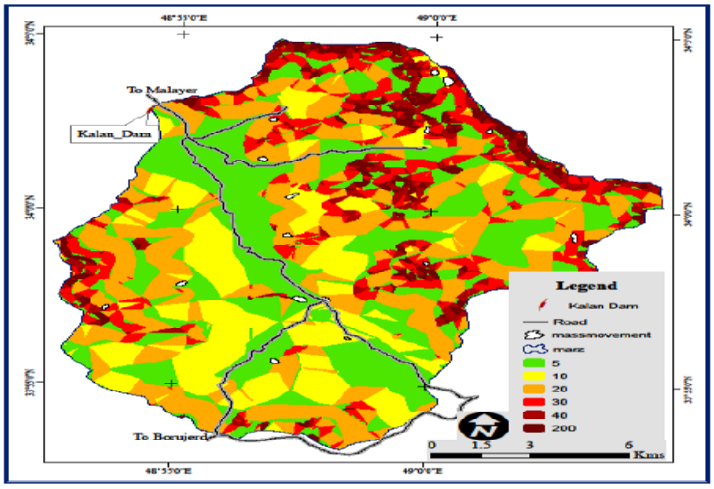
جدول (٤) مساحت وقوع حرکات توده‌ای در فاصله از گسل و محاسبه وزن هر سطح

فاصله از گسل	مساحت واحد (km^2)	درصد واحد	لغزش رخداده در واحد	درصدلغزش رخداده در واحد	*LNRF*	*Weight*
>۱۰۰۰	۱۰۳۷۴،۳۵	۴۳،۳	۴۱۷۳	۵۷،۲	۲،۲۹	۲
۱۰۰۰ -۲۰۰۰	۷۷۸۸،۲۷	۳۲،۵۱	۲۰۲۱	۲۷،۷	۱،۱۱	۱
۲۰۰۰ -۳۰۰۰	۴۷۹۵،۸۳	۲۰،۰۲	۱۱۰۱	۱۵،۱	۰،۶۰	۰
۳۰۰۰ <	۱۰۰۰،۶۹	۴،۱۸	۰	۰	۰،۰۰	۰
جمع	۲۳۵۹۵،۱۴	۱۰۰	۷۲۹۶	۱۰۰		

شیب

شیب از عوامل مهم اصلی آماده گسیختگی دامنه به‌شمار می‌رود. افزایش شیب وضعیت تعادل مواد سازندهای دامنه‌ها را بر هم زده و موجب بالا رفتن تنش‌های برشی در دامنه‌ها شده و به تبع آن باعث وقوع حرکات توده‌ای می‌گردد (حایری، ۱۳۷۵: ۳۵). حرکات دامنه زمانی اتفاق می‌افتد که زاویه شیب از زاویه سکون مواد دامنه بیشتر گردد. در حوضه مورد مطالعه ۵۰ درصد از مساحت شیبی کمتر از ۱۵ درصد را دارند. اغلب حرکات توده‌ای در طبقه شیب

۲۰ تا ۳۰ درصد اتفاق افتاده است، شکل (۵) و جدول (۵). در این طبقات با جذب آب‌های سطحی رطوبت خاک افزایش یافته و با رسیدن به حد سیلانی در دامنه‌ها حرکت می‌کند.



شکل(۵) نقشه شیب حوضه کلان ملایر

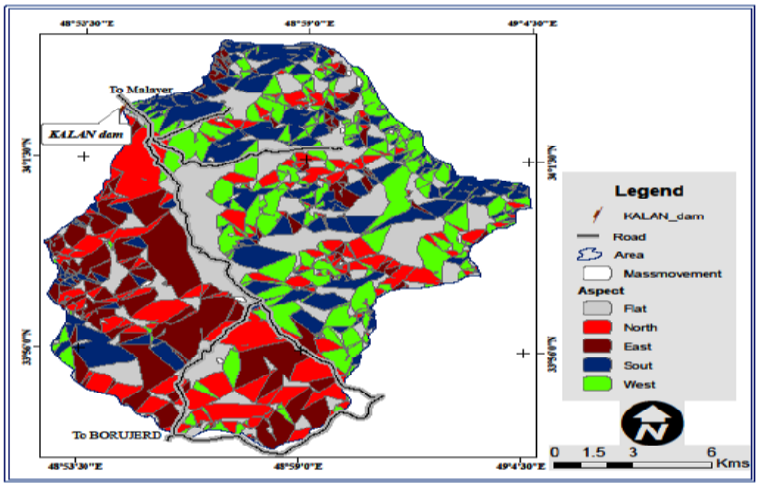
جدول (۵) مساحت حرکات توده‌ای در طبقات شیب و محاسبه وزن هر سطح

طبقات شیب	مساحت واحد (km^2)	درصد واحد	مساحت لغزش رخداده در واحد	درصدلغزش رخداده در واحد	*LNRF*	*Weight*
۰ – ۵	۶۶۸۵،۱۲	۲۷،۹	۱۴۹۰	۲۰،۴۲	۱،۲۳	۱
۵ – ۱۰	۵۰۵۲،۵۲	۲۱،۱	۱۳۵۹	۱۸،۶۳	۱،۱۲	۱
۱۰ – ۲۰	۷۴۳۳،۶۷	۳۱،۰۳	۲۴۹۷	۳۴،۲۲	۲،۰۵	۲
۲۰ – ۳۰	۲۸۹۵،۱۵	۱۲،۰۸	۱۸۰۷	۲۴،۷۷	۱،۴۹	۲
۳۰ – ۴۰	۱۲۴۰،۴۱	۵،۱۸	۱۴۳	۱،۹۶	۰،۱۲	۰
۴۰ <	۶۵۲،۳۲	۲،۷۲	۰	۰	۰	۰
	۲۳۹۵۹،۱۴	۱۰۰	۷۲۹۶	۱۰۰		

جهت شیب

جهت شیب از دیگر عوامل تعیین‌کننده وقوع حرکات توده‌ای می‌باشد که می‌توان گفت جهت‌های مختلف جغرافیایی عملکرد متفاوتی در وقوع این حرکات دارند. در حوضه مورد

مطالعه بیشترین حرکات در دامنه‌های روبه جنوب رخداده است. دامنه‌های رو به غرب تأثیر متوسطی در وقوع حرکات دارند. این مسأله را می‌توان مرتبط به نوع سازندهای منطقه دانست و از سوی دیگر این دامنه‌ها به‌علت عدم انباشت طولانی مدت برف و تبدیل سریع آن به رواناب استعداد بیشتری برای وقوع حرکات را فراهم می‌کند شکل (۶).



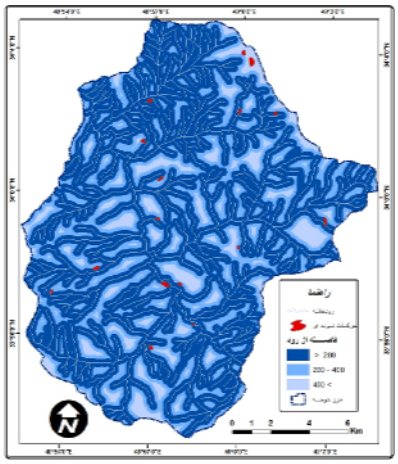
شکل (٦) نقشه جهت شیب حوضه کلان ملایر

جدول (٦) مساحت حرکات توده‌ای در طبقات جهت شیب و محاسبه وزن هر سطح

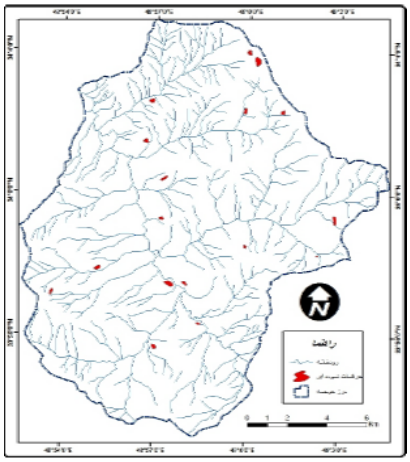
جهت شیب	مساحت واحد (Km^2)	مساحت به درصد	زمین لغزش رخداده (Km^2)	زمین لغزش رخداده به درصد	*LNRF*	*Weight*
هموار	۵۳۴۰،۵۸	۲۲،۳	۲۹۳۱	۴۰،۱۷	۲،۰۱	۲
شمال	۴۷۳۱،۶	۱۹،۷	۸۲۶	۱۱،۳۲	۰،۵۷	۰
شرق	۴۸۸۹،۱	۲۰،۴	۸۴۵	۱۱،۵۸	۰،۵۸	۰
جنوب	۴۶۰۰،۲۳	۱۹،۲	۱۵۰۴	۲۰،۶۱	۱،۰۳	۲
غرب	۴۳۹۷،۴۱	۱۸،۴	۱۱۹۰	۱۶،۳۱	۰،۸۲	۱
جمع	۲۳۹۵۹،۱۴	۱۰۰	۷۲۹۶	۱۰۰		

فاصله از رودخانه

با مطالعه شبکه آبراهه‌های حوضه مورد مطالعه نتایج نشان می‌دهد که وقوع حرکات توده ای با فاصله از شبکه آبراهه‌ها رابطه عکس دارد. همپوشانی لایه فاصله از رودخانه با لایه حرکات توده‌ای در مدل LNRF بیان می‌کند که طبقه کمتر از ۴۰۰ متر از رودخانه بیشترین وزن را دارد. شکل (۷) این عامل با برداشت تکیه‌گاه‌های جانبی رودخانه براثر فرسایش و تغییر مسیر کانال‌های آبی توسط انسان جهت و زاویه شیب دامنه‌ها تغییر می‌کند و علاوه‌بر این نفوذ بیشتر آب از طریق کانال‌ها به لایه‌های حساس موجب سنگینی وزن آن می‌شود.



شکل (۷) الف نقشه فاصله از رودخانه



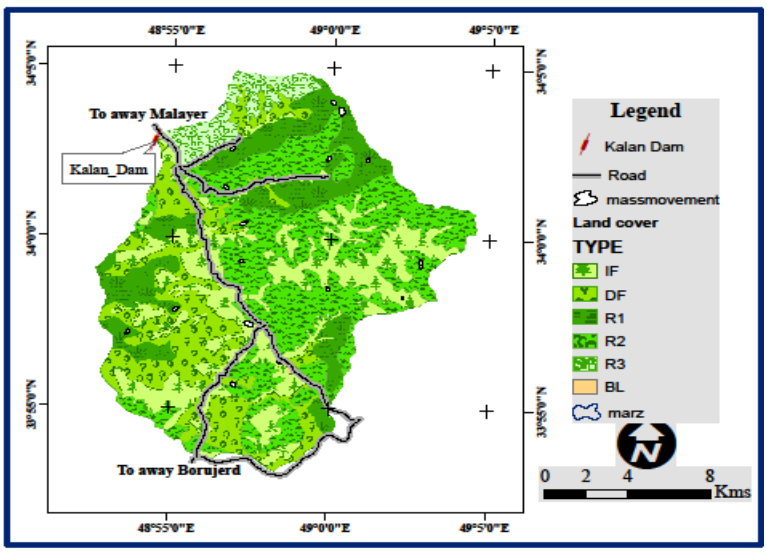
شکل (۷) ب نقشه رودخانه

جدول (۷) مساحت حرکات توده‌ای در طبقات فاصله از رودخانه و محاسبه وزن هر سطح

فاصله از رود	مساحت واحد (Km^2)	مساحت به درصد	زمین لغزش رخداده (Km^2)	زمین لغزش رخداده به درصد	*LNRF*	*Weight*
>۲۰۰	۱۵۳۰۵٫۸	۶۳٫۹	۳۱۶۱	۴۳٫۳	۱٫۷۳	۲
۲۰۰–۴۰۰	۶۹۶۶٫۲۶	۲۹٫۱	۲۷۱۸	۳۷٫۳	۱٫۴۹	۲
۴۰۰–۶۰۰	۱۴۷۴٫۶۶	۶٫۲	۵۲۱	۷٫۱	۰٫۲۹	۰
<۶۰۰	۲۱۲٫۹۸۴	۰٫۹	۸۹۵	۱۲٫۳	۰٫۴۹	۱
جمع	۲۳۹۵۹٫۱	۱۰۰	۷۲۹۶	۱۰۰		

پوشش گیاهی

اثرت پوشش گیاهی در پایداری شیب‌ها بستگی به شرایط محلی، عمق خاک، شیب دامنه، نوع گیاهان، وضعیت خرد شدگی سنگ‌ها و آب و هوا دارد. پوشش گیاهی در بعضی مواقع عامل پایداری و در شرایطی، محرک ناپایداری دامنه‌ها است. ریشه گیاهان به‌وسیله جذب بخشی از آب زیرزمینی به خشک کردن شیب و افزایش پایداری کمک می‌کند. و در شرایطی با نفوذ آب به قشر زیرین خاک موجب مرطوب و سیلانی شدن خاک دامنه‌ها از جمله خاک رس شده و حرکت توده خاک بر دامنه‌ها می‌شود. همان‌گونه که در (جدول ۸) و (شکل ۸) ملاحظه می‌گردد اراضی با تراکم بیش از ۵۰ درصد R1 و با ۱۷/۲ درصد از مساحت کل حوضه، ۴۴،۱ درصد از مساحت کل حرکات توده‌ای را شامل می‌شود. این رقم می‌تواند بیانگر بهره‌برداری غیراصولی از اراضی در منطقه باشد. درحالی‌که اراضی مرتعی با تراکم پوشش ۲۵–۵ درصد R3 با مساحت ۵/۱ درصد از کل حوضه حرکات توده‌ای رخ نداده است و در اراضی بدون پوشش و بیرون‌زدگی سنگی BL با مساحت تنها ۰/۲ درصد از کل حوضه ۲ درصد از حرکات توده‌ای در این اراضی رخداده است.



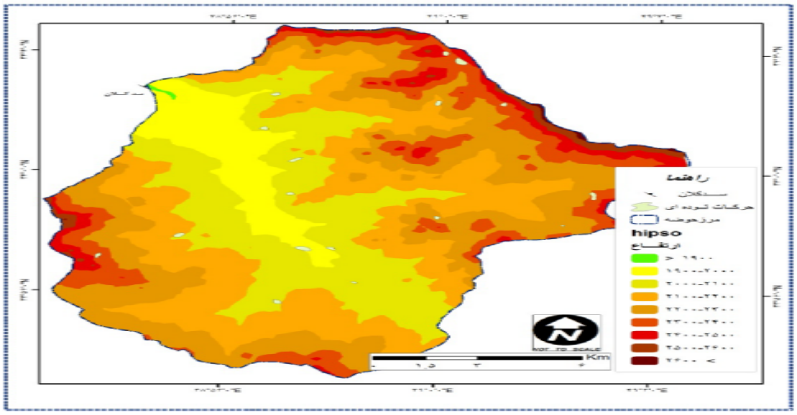
شکل (۸) نقشه تراکم پوشش گیاهی حوضه کلان ملایر

جدول (۸) مساحت حرکات توده‌ای در تراکم پوشش گیاهی و محاسبه وزن هر سطح

پوشش گیاهی	علائم اختصاری	مساحت واحد (Km^2)	مساحت به درصد	زمین لغزش رخداده (Km^2)	زمین لغزش رخداده به‌درصد	LNRF	Weight
باغ و زراعت آبی	IF	۵۸۱۹،۷۳	۲۴	۱۰۱۱	۱۳،۹	۰،۸۰	۱
زراعت دیم	DF	۴۸۱۴،۱۷	۲۰،۱	۳۹۵	۵،۴	۰،۳۱	۰
مراتع <۵۰٪	R1	۴۱۱۴،۶۵	۱۷،۲	۳۲۱۷	۴۴،۱	۲،۵۵	۲
مراتع ۲۵٪ تا ۵۰٪	R2	۷۹۴۶،۱۲	۳۳،۲	۲۵۲۹	۳۴،۷	۲،۰۱	۲
مراتع ۵٪ تا ۲۵٪	R3	۱۲۲۳،۶۷	۵،۱	۰	۰	۰،۰۰	۰
فاقدپوشش گیاهی	BL	۴۰،۵	۰،۲	۱۴۴	۲	۰،۱۱	۰
		۲۳۵۹۵۹،۱۴	۱۰۰	۷۲۹۶	۱۰۰		

سطوح ارتفاعی

ارتفاع از سطح دریا معرف تغییرات و نوسانات اقلیمی است. به دلیل اختلاف میزان انرژی که هر نقطه زمین از خورشید دریافت می‌کند، متفاوت است. تغییرات ارتفاع می‌تواند تأثیر بسزایی بر سه عامل دما، بارش و رطوبت بگذارد (خضری، ۱۳۸۵). سطوح ارتفاعی حوضه از ۱۸۹۰ متر در خروجی حوضه تا ۲۶۷۸ متر در ارتفاعات شمال‌شرق حوضه است. ارتفاع متوسط وزنی حوضه ۲۱۷۸/۴ متر برآورد شده است. در هر طبقه ارتفاعی مساحت حرکات رخداده برآورد و در (جدول ۹) ارایه شده است بیشترین حرکات در ارتفاع بیش از ارتفاع متوسط وزنی حوضه به‌وقوع پیوسته است (شکل ۹).



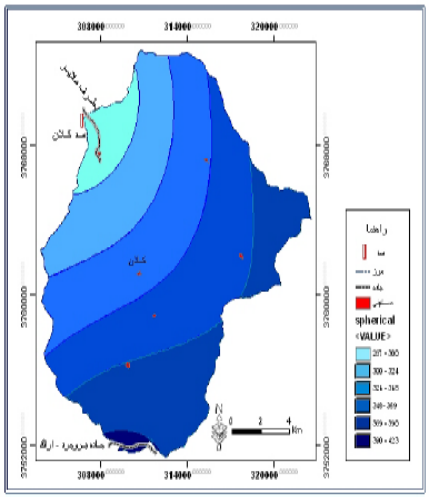
شکل (۹) نقشه طبقات ارتفاعی حوضه کلان ملایر

جدول(۹) مساحت زمین لغزش در طبقات ارتفاعی و محاسبه وزن هر سطح

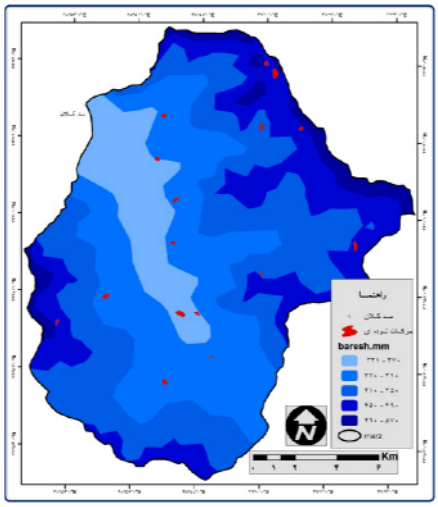
طبقات ارتفاعی	مساحت واحد (Km^2)	مساحت به درصد	زمین لغزش رخداده(Km^2)	زمین لغزش رخداده به درصد	LNRF	Weight
۱۸۰۰–۱۹۰۰	۱۹،۰۴۳۶	۰،۱	۰	۰۰	۰۰	۰
۱۹۰۰–۲۰۰۰	۲۰۷۰،۰۳	۸،۶۴	۸۲۰	۱۱،۲۴	۱،۰۱	۰
۲۰۰۰–۲۱۰۰	۵۴۲۴،۹۹	۲۲،۶۴	۲۵۴۸	۳۴،۹۲	۳،۱۴	۲
۲۱۰۰–۲۲۰۰	۶۶۳۹،۳۹	۲۷،۷۱	۸۳۵	۱۱،۴۴	۱،۰۳	۱
۲۲۰۰–۲۳۰۰	۵۶۹۵،۳۳	۲۳،۷۸	۳۹۱	۵،۳۶	۰،۴۸	۰
۲۳۰۰–۲۴۰۰	۲۷۲۳،۸	۱۱،۳۷	۲۳۲۲	۳۱،۸۳	۲،۸۶	۲
۲۴۰۰–۲۵۰۰	۱۰۰۹،۵۷	۴،۲۱	۳۸۰	۵،۲۱	۰،۴۷	۰
۲۵۰۰–۲۶۰۰	۳۳۶،۷۱۱۹	۱،۴۱	۰	۰۰	۰۰	۰
۲۶۰۰–۲۷۰۰	۳۸،۸۹۹۶	۰،۱۶	۰	۰۰	۰۰	۰
جمع	۲۳۹۵۹،۱۴	۱۰۰	۷۲۹۶	۱۰۰		۰

بارش

فاکتورهای هیدرواقلیم مانند: بارش، دما از نظر ذوب و انجماد در وقوع زمین‌لغزش‌ها ما نقش مهمی ایفا می‌کنند. آستانه تأثیر عوامل مزبور بسته به‌ویژگی‌های مناطق متنوع می‌باشد. این عوامل به صورت افزایش فشار آب نفوذی و سطح آب زیرزمینی، افزایش بار دامنه، زیرشویی و از بین بردن تکیه‌گاه‌های جانبی و زیرین دامنه‌ها می‌توانند به‌عنوان عامل مسبب و هم عنوان عامل محرک در وقوع زمین لغزش‌ها ایفا نقش نمایند. وسعت برآورد شده هر سطح با زمین لغزش رخداده در آن سطح در جدول (۱۰) ارائه شده است. ۶۱/۲۳ درصد از حرکات توده ای در سطح بارشی ۳۹۰–۳۴۸ میلی‌متر رخداده است (جدول ۱۰) و (شکل الف۱۰ و ب).



شکل الف (۱۰) نقشه خطوط همباران



شکل الف (۱۰) نقشه طبقات همباران

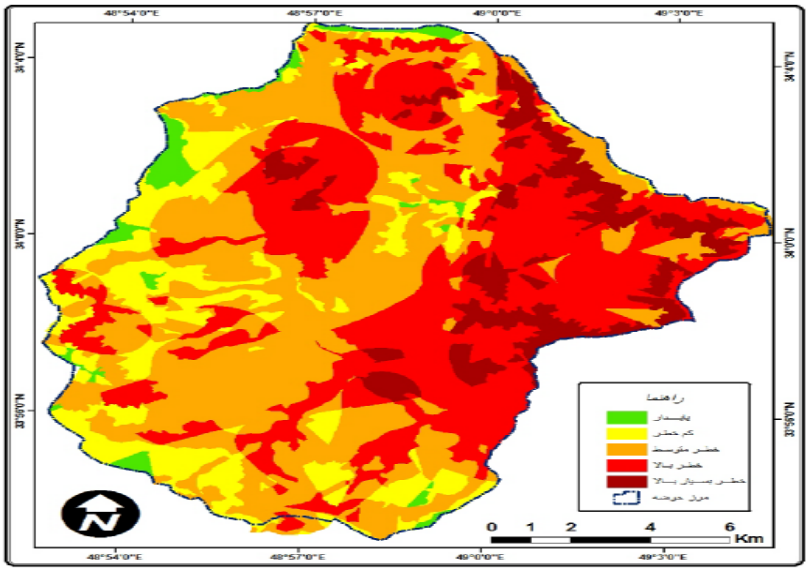
جدول(۱۰) مساحت زمین لغزش در طبقات همباران و محاسبه وزن هر سطح

LNRF	Weight	مساحت زمین لغزش رخداده به درصد	مساحت زمین لغزش رخداده	مساحت به درصد	مساحت واحد(Km^2)	بارندگی (mm)
۱	۰،۹۶	۱۹،۲۵	۱۴۰۴،۵	۱۲	۲۸۷۳،۵	۳۳۱–۳۷۰
۲	۱،۷۰	۳۳،۹۵	۲۴۷۷	۳۱،۲۱	۷۴۸۰	۳۷۰–۴۱۰
۰	۰،۴۹	۹،۷۵	۷۱۱،۳	۳۳،۱۵	۷۹۴۵	۴۱۰–۴۵۰
۲	۱،۸۵	۳۷،۰۵	۲۷۰۳،۲	۱۹،۲۶	۴۶۱۵،۵	۴۵۰–۴۹۰
۰	۰	۰	۰	۴،۳۶	۱۰۴۵،۱۴	۴۹۰–۵۲۲
		۱۰۰	۷۲۹۶	۱۰۰	۲۳۹۵۹،۱۴	

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر برای تعیین نواحی مستعد زمین لغزش و ناپایداری دامنه‌ها در حوضه سد کلان عوامل مؤثر مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت و با استفاده از مدل LNRF میزان و ارزش تأثیر هریک تعیین شد. در خاتمه با تلفیق نقشه‌های وزنی با یکدیگرنقشه پهنه‌بندی

تهیه و نواحی مستعد حرکات توده‌ای تعیین گردید. با توجه به داده‌های حاصله چنین استنباط می‌شود که: از بین سازندها، واحدهای سنگی رسوبات آبرفتی و واحد فیلیت و اسلیت به‌دلیل فرسایش‌پذیری زیاد مستعد وقوع زمین لغزش هستند. چرا که ضخامت آبرفت‌ها و قرار گرفتن آن‌ها بر روی شیست‌ها و همچنین به‌دلیل تجزیه بیوتیت‌ها در شیست و شیب مناسب مستعد حرکات توده‌ای در منطقه هستند و از حساسیت بالایی برخوردارند. اغلب حرکات توده‌ای حوضه در نقاط نزدیک گسل رخداده است و رابطه معکوسی با فاصله گرفتن از گسل دارد. گسل‌های واقعه تا فاصله ۱۰۰۰ متری در اثر لرزه، درز و شکستگی هایی در سنگ‌ها ایجاد نموده‌اند که یکی از عوامل مؤثر در تسریع وقوع حرکات توده‌ای حوضه به‌شمار آمده و بیشترین درصد ناپایداری‌ها را ایجاد نموده‌اند. در شیب‌های ۲۰ تا ۳۰ درصد، بیشترین حرکات توده‌ای رخداده است، که موجب تولید انرژی ثقل همراه با خاک‌های منطقه که از نوع رسی و مارنی می‌باشد و در اثر جذب آب به مرز پلاستیسیته رسیده‌اند موجب ناپایداری دامنه‌ها گردیده‌اند. در دامنه‌های روبه جنوب به‌علت ذوب سریع برف و یخ رواناب ناشی از آن موجب حرکت سریع توده خاک به سمت پایین شده و در واحد فلات حوضه با وسعت زیاد و همراه با فعالیت انسان موجب ناپایداری دامنه شده است. به دلیل نفوذ آب در نزدیکی شبکه آبراهه‌ها و سیلانی شدن توده خاک در دامنه‌ها به‌ویژه، در فاصله ۲۰۰متری شبکه آبراهه‌ها تعداد لغزش‌ها بیشتر و با دورشدن از آبرهه تأثیر آن کاسته می‌شود. با نتایج به‌دست آمده از بررسی تراکم پوشش گیاهی نشان می‌دهد که تغییرکاربری اراضی که به‌ویژه کشت آبی و باغات مورد استفاده درمنطقه موجب ناپایداری‌ها در این اراضی شده است. مراتع متراکم و نیمه‌متراکم در خاک‌های کم‌عمق تا نیمه‌عمیق و با بافت سبک تا متوسط گسترش دارند. که نقش مهمی در جذب و نفوذ آب در خاک‌های کم عمق را دارند به‌ویژه از اوایل بهار که به‌عنوان چراگاه مورد استفاده قرار می‌گیرند. دراین شرایط ناپایداری دامنه‌ها تشدید می‌شود. نتایج حاصله از تلفیق نقشه‌های تهیه شده و تهیه نقشه پهنه‌بندی و حرکات توده‌ای، (شکل۱۱) نشان می‌دهد که بیشتر حرکات توده‌ای در منطقه با ناپایداری زیاد تا خیلی زیاد رخداده است.



شکل (۱۱) نقشه پهنه‌بندی برحسب پایداری حرکات دامنه‌ای حوضه کلان

که با میزان وزن و ارزش هر یک از واحدها با استفاده از مدل مورد استفاده با یکدیگر تطابق دارند. با توجه به داده‌های حاصله از بررسی‌های (جدول ۱۱) و نقشه پهنه‌بندی منطقه نتایج نشان می‌دهد که خطر وقوع لغزش در منطقه از ناپایداری متوسط تا زیاد قابل طبقه‌بندی می‌باشد.

جدول (۱۱) مساحت طبقات پایداری در حوضه کلان ملایر

ردیف	طبقه	مساحت هرطبقهٔ	درصد طبقات
۱	پایدار	۶۴۲،۰۴	۲/۷
۲	ناپایدار کم	۳۶۱۷،۵	۱۵
۳	ناپایدار متوسط	۹۳۲۳،۹	۳۸/۷
۴	ناپایدار زیاد	۸۴۱۳،۷۸	۳۴/۹
۵	ناپایدار خیلی زیاد	۲۰۸۹،۷	۸/۷
	جمع	۲۴۰۸۶،۹۲	۱۰۰

همچنین بخش شرقی و جنوب‌شرقی حوضه بیشترین مناطق ناپایداری را به خود اختصاص داده و این امر به فرسایش شدیدی در خاک و حمل مواد توسط جریانات سطحی به مخزن سد می‌شود که این مر موجب کاهش عمر مفید سد مـی‌گردد. بـرای پیشگیری پیشنهاد می‌شود پایدارسازی دامنه‌ها با تغییر کاربری صحیح در دامنه‌ها، اجرای روش‌های تثبیت لغزش‌ها از جمله جنگل‌کاری، زهکشی مناسب، ایجاد کانال‌های تخلیه آب، جلوگیری از روش‌های آبیاری روی دامنه‌ها در منطقه انجام شود. از این موضوع به‌علاوه مقادیر (R^2) نشان می‌دهد که فاصله از گسل، فاصله از رود، شیب مهم‌ترین عوامل موثر در بروز حرکات توده‌ای منطقه است (جدول ۱۲).

جدول (۱۲) پارامترهای موثر در وقوع حرکات توده‌ای منطقه مورد مطالعه

	لیتولوژی	فاصله از گسل	طبقات ارتفاعی	شیب	جهت شیب	طبقات همباران	فاصله از رود	پوشش گیاهی
R2	۰/۳۹۶	۰/۹۲۶	۰/۲۶۶	۰/۷۱۸	۰/۵۱۰	۰/۱۷۸	۰/۸۲۹	۰/۳۶۹

بررسی‌های میدانی و صحرایی نتایج حاصله از مدل را به‌خوبی تأیید می‌نماید و تا حدودی می‌توان چنین بیان نمود که مدل LNRF دارای کارآیی مناسبی است. که با نتایج حاصله از بررسی‌های (رنجبر، ۱۳۹۱) (سرور، ۱۳۹۱) (شادفر، ۱۳۹۰) (موسی‌پور، ۱۳۸۶) تا حد قابل قبولی مطابقت دارد لیکن پیشنهاد می‌شود جهت واسنجی آن در حوضه‌های دیگر نیز به‌کار گرفته و مقایسه انجام پذیرد.

منابع

۱ـ ایلدرومی علیرضا (۱۳۹۰)، «تحلیل مورفومتری زمین‌لغزش در حوضه آبخیز سداکباتان و برآورد رسوب آن‌ها»، ***مجله علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی***، شماره۳۷، سال شانزدهم، پاییز ۱۳۹۰، صص ۱-۲۳.

۲ـ پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور، www.ndir.ir.

۳ـ خضری، سعید؛ روستایی، شهرام؛ رجایی، عبدالحمید (۱۳۸۸)، «پهنه‌بندی و تحلیل سلولی ناپایدار دامنه‌ای در بخش مرکزی حوضه آبخیز رودخانه ذاب»، ***نشریه دانشکده علوم انسانی و اجتماعی جغرافیا دانشگاه تبریز***، شماره ۲۲، سال دوازدهم، سال ۱۳۸۵، صص ۱۴۳-۱۶۷.

۴ـ رحمتی، مریم، (۱۳۹۱)، «پهنه‌بندی مورفوژنتیک و ارتباط آن در فراوانی زمین‌لغزش در مسیر آزادراه خرم‌آباد-پل زال»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

۵ـ روستایی، شهرام؛ علیزاده، راحله (۱۳۹۱) «پهنه‌بندی خطرزمین لغزش در حوزه صوفی چای (مراغه) با استفاده از روش آنبلاگان»، ***فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی***، شماره ۳۹، سال دوازدهم، پاییز ۱۳۹۱، صص ۱۷-۳۵.

۶ـ رنجبر، محسن؛ معمارافتخاری، محمد (۱۳۹۱) «پهنه‌بندی پدیده لغزش با استفاده از روش LNRF در جاده هراز (از امازاده هاشم تا لاریجان)، ***جغرافیا*** (فصلنامه پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)، شماره ۳۳، سال دهم، تابستان ۱۳۹۱، صص ۱۲۸-۱۰۷

۷ـ سرور، جلیل‌الدین؛ رمضانی گورابی، بهمن؛ ادهمی، مریم (۱۳۹۱) «پهنه‌بندی حرکت‌های توده‌ای از طریق بررسی مدل LNRF مطالعه موردی: منطقه نیر به سراب»، ***فصلنامه جغرافیایی طبیعی***، شماره ۱۶، سال پنجم، تابستان ۱۳۹۱، صص ۲۴-۱۱.

۸ـ شادفر، صمد؛ یمانی، مجتبی؛ نمکی، محمد (۱۳۹۱) «پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی»، تراکم سطح و LNRF در حوضه چالکرود»، شماره ۱، سال ۱۳۹۰، صص ۴۰-۴۷.

۹ـ شریعت جعفری، م. (۱۳۷۵)، «***زمین لغزش مبانی و اصول پایداری شب‌های طبیعی***»، انتشارات سازه.

۱۰ـ گزارش زمین‌شناسی ملایر (۱۳۷۹)، «نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱۰۰۰۰۰ :۱»، سازمان زمین‌شناسی کشور.

۱۱ـ گزارش سد کلان ملایر (۱۳۸۳)، «مطالعات مرحله دوم، گزارش فنی و تأسیسات وابسته مهندسان مشاور بند آب»، ***نشریه شماره ۴۳۷***، سازمان آب منطقه‌ای همدان.

۱۲ـ متولی، صدرالدین (۱۳۹۰)، «شناسایی عوامل مؤثر بروقوع حرکت‌های توده‌ای در منطقه دو هزار تنکابن»، ***فصلنامه پژوهشی اکوسیستم‌های طبیعی ایران***، شماره ۴، تابستان۱۳۹۰، ۸۱-۷۰.

۱۳ـ موسی‌پور، محمد (۱۳۸۶)، «ارزیابی مدل LNRF و ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز جلسیان (تنکابن)»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران.

۱۴ـ یعقوبی ماشیمانی، حسین (۱۳۸۵)، «بررسی حرکات توده‌ای با تأکید بر اقلیم در رودبار»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده تحصیلات تکمیلی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت.

15- Gupta, R.P, Joshi, B.C. (1989), "Landslide Hazard Zoning Using the GIS Approach-A Case Study from the Ramganga Catchment Himalayas", Department of Earth Scinces, University of Rookee.

16- Komac, M. (2006), "A Landslide Susceptibility Model Using the Analytical Hierarchy Process Method and Multivariate Statistics in perialpine Slovenia", ***Geomorphology***, 74: 17–28

17- Naderi, F., Naseri, B, Karimi, H, Habibi e Bibalani, Gh., (2010), "Efficiency Evalution of Different Landslide Susceptibility Mapping Method (Case study: Zangvan Watershed, Ilam Province)", First International Conference of Soil and Roots Engineering Relationship (LANDCON1005), Ardebil Province, Iran.

18- Sharma R.H. Narendra.M.SH, (2008), "Rain Inducted Shallow Landslide Hazard Assessment for Ungauged Catchments", In ***Hydrogeology***, Vol 16, pp 871-877.

19- Yelcin, A., (2008), "GIS Vased Landslide Susceptibility Maping Using Analytical Hierarchy Process and Vivariate Statistics in Ardesen (Turkey), Comparisons of Result and Confirmation", ***Catena***, 72: (2008), 1- 12.