پهنه بندی خطر حرکات توده‌ای با استفاده از روش منطق فازی (مطالعه موردی حوضه آبریز سیرا)

مریم ایلانلو* – عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد واحد ماهشهر
ابراهیم مقیمی– استاد دانشگاه تهران
محمدرضا ثروتی– دانشیار دانشگاه شهید بهشتی
منیژه قهرودی تالی – دانشیار دانشگاه شهید بهشتی

دریافت مقاله: ۸۹/۲/۱۷ **پذیرش نهایی: ۸۹/۶/۲۵**

چکیده

تهیه نقشه‌های پیش بینی وقوع حرکات توده‌ای، امروزه مورد توجه زمین شناسان و ژئومرفولوگ‌ها قرار گرفته است. این پژوهش با هدف شناسایی عوامل مؤثر در ایجاد پدیده حرکات توده‌ای و مشخص کردن مناطق دارای پتانسیل حرکات توده‌ای در حوضهٔ آبخیز سیرا به روش فازی انجام شده است.
به این منظور، ابتدا مهمترین عوامل موثر در وقوع حرکات توده‌ای رخ داده در حوضه با توجه به نتایج حاصل از مطالعات و پژوهش‌های پیشین انجام شده از طریق تهیهٔ نقشه‌های آن‌ها بررسی و خصوصیات مربوط به هر یک از آن‌ها شناسایی شدند و سپس با تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ مربوط به سال‌های ۱۳۳۶ و ۱۳۸۲ منطقه تحقیق و انجام عملیات میدانی با استفاده از ***GPS*** نقشهٔ پراکنش حرکات توده‌ای تهیه و رقومی گردید. درمرحلهٔ بعد با بکارگیری روش فازی (***Fuzzy***) نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع حرکات توده‌ای تهیه گردید. نتایج نشان داد که اکثر حرکات توده‌ای وقوع یافته در این حوضه، در سازند کرج، در ارتفاع بین ۲۷۰۰ تا ۳۲۰۰ متر، در شیب ۲۰ تا ۴۳ درجه رخ داده است.

واژگان کلیدی: حرکات توده‌ای، مدل سازی، پهنه بندی، مدل فازی، حوضه آبریز سیرا

نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۱۳۸۵۵۰۳** ***E-mail: maryamilanloo@gamil.com

۱. مقدمه

کشور ما ایران، با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط متنوع زمین شناسی و اقلیمی، عمده شرایط طبیعی را برای ایجاد طیف وسیعی از زمین لغزش‌ها داراست (نیک‌اندیش،۱۳۷۶) زمین لغزش یکی دیگر از خطرهای زمین شناختی است که در برخی از نقاط کشور ما روی داده و خسارات فراوان جانی و مالی بر جای گذاشته است. این پدیده هر ساله در اکثر استان‌های کشور موجب خسارت‌های حیاتی به شهرها و روستاها، کارخانه‌ها و مراکزصنعتی، دریاچه‌ها، جنگل‌ها و مراتع و بویژه مزارع و مناطق مصنوعی گشته و یا آنها را مورد تهدید قرار می‌دهد (کمک پناه، ۱۳۷۰) حرکت توده‌ای مواد، بویژه زمین لغزش‌ها از نظر تخریب و یا تهدید منابع ارضی، بویژه در دهه‌های اخیر سبب شده است که این پدیده از جنبه‌های مختلف مورد کنکاش قرار گیرد.

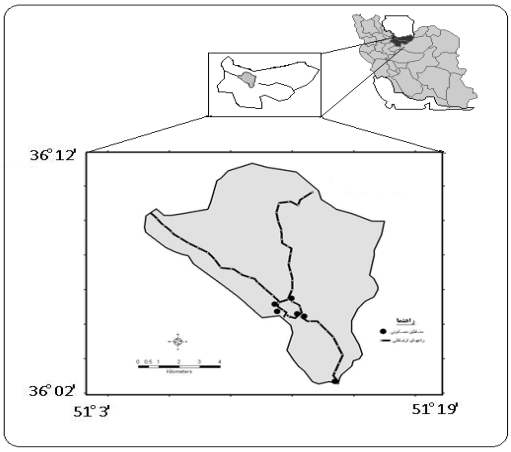
تهیه نقشه‌های پیش‌بینی وقوع حرکات توده‌ای - برای مقابله با این مخاطره طبیعی امروزه مورد توجه زمین شناسان و ژئومرفولوگ‌ها قرار گرفته است. وقوع مخاطرات و سوانح طبیعی هر ساله در نقاط مختلف جهان و ایران خسارات جانی، مالی و زیست محیطی قابل توجهی به بار می‌آورد. حرکت‌های توده‌ای نیز نوع خاص از سوانح طبیعی و فرمی از فرآیندهای دامنه‌ای هستند (کرم،۱۳۸۰) که زاییده شرایط ژئومرفولوژی، هیدرولوژی و زمین ساختی محل می‌باشند. این شرایط به همراه فرآیندهای ژئودینامیک، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، فعالیت‌های انسانی، مقدار و شدت بارندگی و زمین لرزه‌ها باعث شکل‌گیری زمین لغزش می‌گردند(سفیدگری،۱۳۸۱). نظر به تأثیرات نامطلوبی که وقوع حرکات توده‌ای و زمین لغزه‌ها بر روی سیستم‌های اجتماعی- اقتصادی و طبیعی دارند لزوم شناخت مناطق حساس به زمین لغزش برای اجتناب از خطر و جلوگیری از بروز خسارات مالی، جانی، زیست محیطی و شروع اقدامات حفاظتی و پیشگیری امری بسیار ضروری به نظر می‌آید (مهدویفر،۱۳۷۶).

توسعه سیستم‌های کامپیوتری و قابلیت‌های روز افزون سخت افزاری و نرم افزاری طی سه دهه اخیر، این امکان را برای متخصصان علوم مختلف فراهم آورده تا بتوانند آخرین اطلاعات و داده‌های موجود مرتبط با تخصص خود را که به نحوی با مکان جغرافیایی سر و کار داشته باشد در سیستمی تحت عنوان سیستم اطلاعات جغرافیای (***GIS***) ذخیره نمایند و با تغییر، تلفیق یا هر نوع فرآیند دیگر قادر باشند از خروجی‌های حاصله در امر تجزیه و تحلیل، برنامه‌ریزی، مدیریت و تصمیم‌گیری استفاده نمایند. امروزه مدیریت منابع طبیعی نیازمند یک سیستم سریع، کارا، تلفیق‌گر و مناسب جهت برنامه‌ریزی و طراحی می‌باشد.

از جمله مطالعاتی که در زمینه پهنه بندی خطر حرکات توده‌ای با استفاده از منطق فازی انجام شده عبارتند از: مهدویفر (۱۳۷۶) ، فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۸۴)، عبادی نژاد وهمکاران (۱۳۸۶) ، تنگستانی (۲۰۰۳)، ***Binagi*** و همکاران (۱۹۹۸)، ***Chi*** و همکاران (۲۰۰۲)، ***Pistocchi*** و همکاران (۲۰۰۲)، ***Ercanoglu*** و ***Gokceoglu*** (۲۰۰۲)، ***Ercanoglu*** و ***Gokceoglu*** (۲۰۰۴)، ***Zhu*** و همکاران (۲۰۰۴)، ***Schernthanner*** (۲۰۰۵)، ***Gorsevski*** و همکاران (۲۰۰۶) و ***Lee*** (۲۰۰۶). نتایج حاصله از تحقیقات انجام شده نشان داده که استفاده از مجموعه‌های فازی به دلیل در نظر گرفتن محدوده‌ای از احتمالات به جای اعداد، محدودیت روش‌های کمی را برطرف ساخته و تحلیل دقیق‌تری از نقش عوامل طبیعی نسبت به سایر روش‌های کمی ارائه کرده است و به مراتب دقت بیشتری در پیش‌بینی وقوع حوادث طبیعی از جمله حرکات توده‌ای دارد.

۲. معرفی محدوده مورد مطالعه

برای آزمون مدل و پهنه‌بندی خطر بالقوه حرکات توده‌ای در بخش از ارتفاعات البرز مرکزی حوضه آبخیز سیرا، بخشی از رودخانه کرج انتخاب شده است. این حوضه در مختصات جغرافیائی ۳۶ درجه و ۰۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۳ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۹ دقیقه طول شرقی، در بخش شمال غرب استان تهران قرار دارد و از نظر سیاسی بین استان مازندران واقع شده است. مساحت حوضه آبخیز سیرا ۷۶ کیلومتر مربع می‌باشد. این حوضه یکی از زیرحوضه‌های اصلی، حوضه آبخیز سد کرج می‌باشد. ساختار اقتصادی - اجتماعی حوضه، روستایی است و مراتع و منابع طبیعی آن در طول سال مورد استفاده روستائیان قرار می‌گیرد.

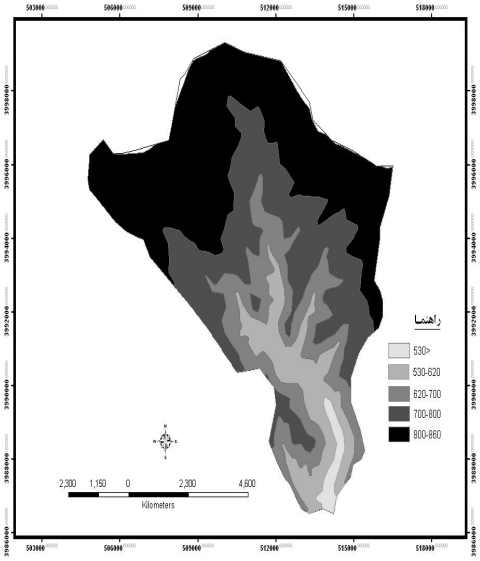


شکل ۱. نقشه موقعیت حوضه آبریز سیرا

۳. روش پژوهش

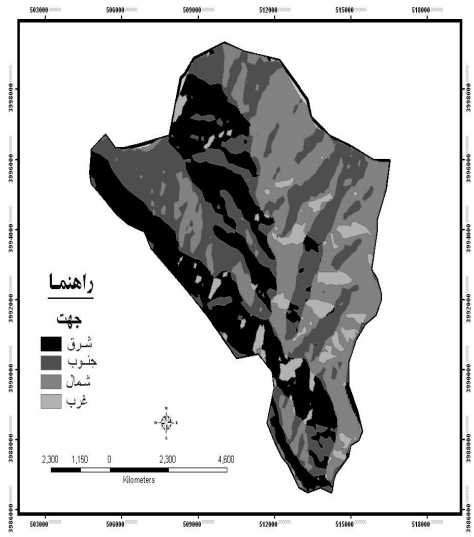
ابتدا مبانی نظری مربوط به موضوع بررسی گردید. سپس با استناد به مرور منابع و مشورت با کارشناسان، عوامل مؤثر در وقوع حرکات توده‌ای مانند لایه‌های سنگ، شیب دامنه، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از رودخانه و جاده، بارش، اثر ذوب برف و یخبندان و کاربری زمین در محیط سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی رقومی گردیدند. لایه اطلاعاتی کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (***TM***) مربوط به سال ۲۰۰۲، لایه سنگ با استفاده از نقشه زمین شناسی، لایه‌های شیب، جهت دامنه و ارتفاع با استفاده از نقشه توپوگرافی و لایه‌های بارش و اثر ذوب برف و یخبندان[Č] با استفاده از اطلاعات اقلیمی ایستگاه‌های موجود در منطقه تهیه گردیدند.

نقشه پراکندگی حرکات توده‌ای در سطح حوضه از طریق عکس‌های هوایی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ جدید منطقه و عکس‌های هوایی ۱:۵۰۰۰۰ مربوط به سال ۱۳۳۴، تصاویر ماهواره‌ای لندست (***TM***)، بررسی‌های میدانی و تهیه فرم‌های مشخصات حرکات توده‌ای فراهم گردید.



شکل۲. نقشه بارش سالانه در سیرا

۱. منظور از اثر ذوب برف و یخ، ماندگاری برف می‌باشد.



شکل ۳. نقشه زاویه جهت دامنه در سیرا

بر اساس نقشه به دست آمده، مساحت حرکات توده‌ای رخ داده در منطقه ۶۳ کیلومتر مربع است تقریباً بیش از نیمی از منطقه دارای حرکات توده‌ای از نوع پیچیده است. بر اساس نتایج بررسی‌های به عمل آمده، بیشتر حرکات توده‌ای بدلیل ساختار زمین ساختی منطقه از نوع ریزش است. در گام بعدی، متغیرهای مستقل طبقه‌بندی و با لایه‌ی اطلاعاتی حرکات توده‌ای تلفیق گردیدند. وزن‌دهی طبقات عوامل، بر اساس روابط حاکم بر منطق فازی صورت پذیرفت.

تئوری فازی در سال ۱۹۶۵ توسط لطفی‌زاده در مقاله‌ای با عنوان «مجموعه‌های فازی» در مجله اطلاعات و کنترل ارائه گردید. تئوری فازی، شامل تمام تئوری‌های است که از مفاهیم اساسی مجموعه‌های فازی یا توابع عضویت استفاده می‌کند. لطفی‌زاده ادعا نمود که برای مشخص شدن اعضاء یک مجموعه می‌بایست تابع عضویت[1] تعریف شود (تاناکا، ۱۳۸۳). به عبارت دیگر یک مجموعه فازی، مجموعه‌ای از عناصر با ویژگی‌های مشابه است که یک درجه مشخص از صفر تا یک دارد. صفر بدین معنی است که هیچ عضویتی در آن مجموعه ندارد و یک، یعنی به طور کامل عضو آن مجموعه است (***Scott Mackay,2001*** و ***Zhu***). هدف از ارائه تئوری فازی، ایجاد روشی نوین در بیان عدم قطعیت‌ها و ابهامات روزمره است(اشقلی فراهانی،۱۳۸۰).

در سال‌های اخیر، تئوری مجموعه‌های فازی کارایی زیادی در تشخیص الگو پیدا نموده است و این از آن جهت است که به کمک مجموعه‌های فازی، می‌توان عدم قطعیت

1- Membership Function

موجود در تشخیص الگوها را مدل سازی نمود و تا حد ممکن به شیوه تشخیص انسانی نزدیک شد. فازی بودن مربوط به پدیده‌هایی است که تبیین آنها به طور قطعی ممکن نیست. عدم قطعیت در این حالت به وسیله تابع عضویت اعضاء به مجموعه‌ای که ویژگی مورد نظر از طریق ان تعریف شده است، بیان می‌گردد.

از مزیت‌های مدل فازی این است که در این حالت به طور قطع و یقین وزن آن عامل تعیین نمی‌گردد بلکه فقط احتمال صحیح بودن وزن ارائه شده بیش از احتمال صحیح بودن سایر اعداد نزدیک به آن خواهد بود. مزایای دیگر آن این است که از آنجا که وزن دهی و بررسی تأثیر عوامل کیفی در بروز حرکات توده‌ای در عمل با مشکلاتی روبروست از مجموعه‌های فازی برای کمی کردن تأثیر عوامل مختلف کیفی می‌توان استفاده کرد. البته این روش با مشکلاتی از قبیل افزایش بی دلیل وزن‌ها، طولانی بودن محاسبات و انتخاب درست ساختمان مدل روبرو می‌باشد، با پیشرفت تحقیقات و فن آوری رایانه‌ای واستفاده از الگوریتم‌های مناسب، امکان حل مشکلات مذکور وجود دارد (کرم،۱۳۸۰).

اپراتورهای فازی چهار نوع می‌باشند که شامل فازی اور[۱]، فازی‌اند[۲]، ضرب جبر فازی[۳] و جمع جبری فازی[۴] است. هر کدام از این عملگرها یا اپراتورها مزایا و معایبی دارد. در این پژوهش بعد از وزن دهی معیارها از اپراتور ضرب فازی برای تلفیق لایه‌های به کار رفته در پهنه‌بندی استفاده شده است. این اپراتور باعث می‌شود تا در نقشه خروجی اعداد کوچکتر شده و به سمت صفر میل کنند. در نتیجه تعداد پیکسل کمتری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرد.

۴. یافته‌ها

۴-۱. ارتفاع و وقوع حرکات توده‌ای:

نتایج حاصل از همپوشانی و جداول متقاطع نقشه عاملی دسته بندی ارتفاعی و انواع حرکت‌های توده‌ای نشان می‌دهد که، حدود ۷۰ درصد واحدهای دارای حرکات توده‌ای در طیف ارتفاعی ۲۷۰۰ متری قرار دارند.

۴-۲. مقدار شیب دامنه و وقوع حرکات توده‌ای:

در حوضه مورد مطالعه حدود ۱۷ درصد درصد واحدهای دارای حرکات توده‌ای در محدوده شیب‌های ۱۵-۰، حدود۵۱ درصد درصد واحدهای دارای حرکات توده‌ای در

1-Fuzzy Or
2-FUZZY And
3-FUZZY algebraic Product
4-FUZZY algebraic Sum

محدوده شیب‌های ۳۰-۱۵ حدود ۲۶ درصد واحدهای دارای حرکات توده‌ای در محدوده شیب‌های ۴۵-۳۰ قرار دارند.

۴-۳.جهت دامنه‌ها و وقوع حرکات توده‌ای:

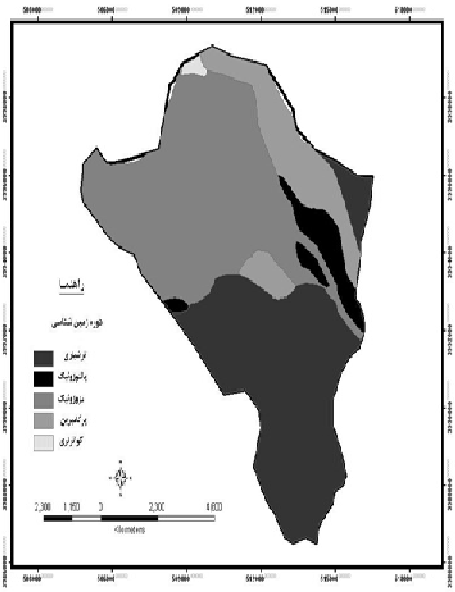
نتایج حاصل از جداول متقاطع نشان می‌دهند که توزیع درصد واحدهای دارای حرکت توده‌ای تقریباً در تمامی جهت‌های دامنه‌ای دیده می‌شود. در این بین تنها دامنه‌های شمالی و غربی تمرکز بیشتری بدلیل داشتن رطوبت بیشتر را نشان می‌دهند.

۴-۴. سنگ و وقوع حرکات توده‌ای:

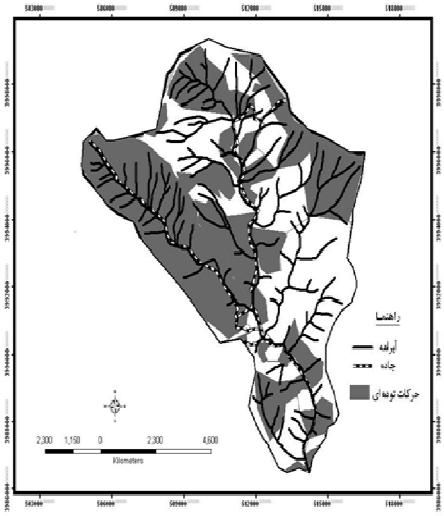
بررسی‌های نشان می‌دهند که حدود ۶۳ درصد واحدهای دارای حرکات توده‌ای در سازندهای متعلق به دوره ترشیاری قرار دارند. سنگ‌های این دوره عمدتاً شامل: شیل، ماسه سنگ، توف و سنگ‌های آذر آواری می‌باشد.

۴-۵. فاصله از گسله‌های اصلی و وقوع حرکات توده‌ای:

با قبول این فرض عام که با دور شدن از گسله‌های اصلی،تأثیر شدت زمین لرزه کاهش یافته و احتمال وقوع حرکت توده‌ای نیز کمتر می‌شود می‌توان برحسب فاصله از گسله‌ها، انتظار احتمال وقوع یا عدم وقوع حرکت‌های توده‌ای را داشت. بررسی حاضر نشان می‌دهد که حدود ۴۵ درصد از کل حرکت توده‌ای در فاصله صفر تا ۲۰۰ متری از گسله‌های اصلی قرار دارند.



شکل۴. نقشه زمین شناسی در سیرا



شکل ۵. نقشه پراکنش حرکات توده‌ای در سیرا

۴-۶. مجموع بارش سالانه و وقوع حرکات توده‌ای:

حدود ۵۳ درصد از واحدهای دارای حرکت توده‌ای در محدوده‌ای قرار دارند که مجموع بارش سالانه‌ای بیش از۷۰۰ میلی‌متر دارند. مقدار بحرانی و آستانه شروع و مشاهده حرکات توده‌ای، بارش سالانه۶۰۰ میلی‌متر به بالاست. لازم به ذکر است که در محدوده‌های با بارش بیش از ۷۰۰ میلی‌متر از تواتر رخداد حرکت‌های توده‌ای کاسته می‌شود.

۴-۷. ذوب برف و یخبندان و وقوع حرکات توده‌ای:

حدود ۵۳ درصد اثر ماندگاری برف در ارتفاعات بیش از ۲۸۰۰ متردیده می‌شود. اثر ماندگاری برف و ذوب آن در بین انواع حرکات توده‌ای، در ایجاد جریان‌ها نقش عمده‌ای دارند.

۴-۸.کاربری- پوشش زمین و وقوع حرکات توده‌ای:

بررسی نتایج حاصل از جداول متقاطع نشان می‌دهد که به طور کلی حدود ۴۵ درصد واحدهای دارای حرکت توده‌ای در نواحی رخ داده اند که کاربری و پوشش آنها مرتع بوده است. در این میان ۳۵ درصد حرکت‌های مذکور در نواحی دارای فاقد پوشش گیاهی دیده می‌شود.

۴-۹. عامل فاصله از راه ارتباطی و وقوع حرکات توده‌ای:

از مجموع واحدهای دارای حرکت توده‌ای ۳۰٪ درصد آنها در نواحی رخ داده که ۱۰۰ متر و کمتر با راهها فاصله داشته اند.

۴-۱۰. فاصله از آبراهه‌های اصلی و وقوع حرکات توده‌ای:

وقوع حرکت‌های توده‌ای رابطه معکوسی با فاصله از آبراهه اصلی دارد. در مجموع حدود ۷۱ درصد واحدهای دارای حرکت توده‌ای، در فاصله کمتر از ۲۰۰ متری از آبراهه‌ها دیده می‌شوند که این رقم بسیار بالا است.

۵.پهنه بندی خطر وقوع حرکات توده‌ای

در این پژوهش بعد از وزن دهی معیارها و با توجه به اینکه در ضرب جبر فازی تمامی عوامل وزنی مؤثر در وقوع حرکات توده‌ای در هم ضرب می‌شوند و چون وزن‌های داده شده به طبقات عوامل بین صفر و یک می‌باشند در نتیجه در نقشه حاصله اعداد کوچک می‌شوند و به سمت صفر میل می‌کنند.

نحوه وزن دهی به معیارها بر اساس نقش آن‌ها در وقوع حرکات توده‌ای است بدین ترتیب که لایه‌های که دارای نقش بیشتری هستند وزنی نزدیک به یک می‌گیرند و برعکس. در این پژوهش معیار سنگ یک متغیر کیفی است که تأثیر بسیار زیادی در وقوع حرکات توده‌ای دارد. ضرایب لایه‌های عامل سنگ که شامل : ۱- سنگ‌های دوره پرکامبرین ۲- سنگ‌های دوره پالئوزوئیک ۳- سنگ‌های دوره مزوزوئیک ۴- سنگ‌های دوره ترشیاری ۵- سنگ‌های دوره کواترنر می‌شود به ترتیب برابر با : ۰.۵، ۰.۳، ۰. ۶، ۰.۹، ۰.۱ است. در بین این پنج قسمت، سنگ‌های دوره ترشیاری به دلیل سست بودن و کم مقاوم بودن که بیشتر از نوع شیل و توف است دارای بیشترین ضریب می‌باشند. و سنگ‌های دوره کواترنر که بیشتر در کف دره‌ها و مناطق کم شیب تر قرار دارند دارای ضریب کمتری می‌باشند.

دیگر پارامتر عامل زمین ساختی، فاصله از گسل است. این پارامتر به فاصله‌های ۰-۲۰۰، ۲۰۰-۴۰۰، ۴۰۰-۶۰۰، ۶۰۰-۸۰۰ و بیشتر از ۸۰۰ متر تقسیم شده است. ضرایب این فاصله‌ها با توجه به نقش و تأثیر آن‌ها در وقوع حرکت‌های توده‌ای به ترتیب برابر با : ۱، ۸ ، ۰، ۰.۶، ۰.۵، ۳ و ۰ است. گسله‌ها سبب شکسته شدن و خرد شدن و کم شدن مقاومت نسبی آن‌ها در برابر فرسایش می‌شوند .

در رابطه با عامل توپوگرافیک، سه عامل شیب، ارتفاع و جهت دامنه مورد استفاده قرار گرفته است. شیب به پنج قسمت ۰-۱۵، ۱۵-۳۰، ۳۰-۴۰، ۴۰-۵۰ و ۵۰-۱۰۰ درجه تقسیم شده است. ضرایب آنها به ترتیب برابر با ۰.۴،۰.۹،۱ ۰.۸، ۰.۶، است. معیار

ارتفاع نیز به پنج قسمت ۲۲۰۹-۱۶۷۶، ۲۷۴۲- ۲۲۰۹، ۳۲۷۵ - ۲۷۴۲ و بیشتر از ۳۲۷۵ مترتقسیم شده است[ج]. رابطه ارتفاع و وقوع حرکات توده‌ای یک رابطه مستقیم است، پس ضرایب آنها ۰.۴،۰.۷،۰.۹،۰.۸،۰.۶ می شود. در ارتباط با پارامتر جهت دامنه باید ذکر کرد که ضرایب چهار جهت شرق، شمال، جنوب و غرب برابر با، ۰.۲، ۰.۹، ۰.۸، ۱ است.

عامل هیدرولوژی یکی دیگر از عوامل مؤثر در وقوع حرکات توده‌ای می‌باشد. رابطه وقوع حرکات توده‌ای با عامل هیدرولوژی همان طور که پیشتر گفته شد یک رابطه معکوس است. لذا هر چه فاصله نزدیکتر باشد ضرایب هم بیشتر است. در این راستا دو عامل رودخانه و چشمه مورد توجه است. پارامتر فاصله از رودخانه ۲۰۰-۰، ۴۰۰-۲۰۰، ۶۰۰-۴۰۰، ۸۰۰-۶۰۰ و بیشتر از ۸۰۰ متر است و ضرایب آنها به ترتیب: ۱،۰.۹،۰.۷،۰.۵، ۰.۱. پارامتر فاصله از چشمه نیز به پنج زیرمعیار ۵۰۰-۰،۱۰۰۰-۵۰۰، ۲۰۰۰-۱۰۰۰، ۳۰۰۰-۲۰۰۰ و بیشتر از ۳۰۰۰ متر تقسیم می‌شود که ضرایب آنها برابر با، ۰.۶ ۰.۳، ۰.۲ ۰.۱، ۰ است.

در عامل کاربری اراضی دو پارامتر، پوشش گیاهی و فاصله از راه‌های ارتباطی به کار رفته است. پارامتر پوشش گیاهی به مناطق فاقد پوشش گیاهی، مراتع نیمه متراکم، مراتع متراکم، زراعت و باغداری و مجتمع‌های باغداری تقسیم می‌شود. خطر وقوع حرکات‌های توده‌ای در مناطق فاقد پوشش گیاهی افزایش می‌یابد. به همین دلیل ضریب آن‌ها به ترتیب برابر با ۱، ۰.۹، ۰.۱، ۰.۶،۰.۴ است. احداث جاده‌ها و راههای ارتباطی در مناطق کوهستانی معمولا منطقه را برای وقوع حرکات توده‌ای آماده می‌کند و خطر احتمال وقوع حرکات توده‌ای را افزایش می‌دهد. هرچه فاصله به جاده نزدیکتر باشد خطر احتمال وقع حرکت‌های توده‌ای بیشتر می‌شود و ضریب آن نیز زیاد است. پارامتر فاصله ار راههای ارتباطی به ۲۰۰-۰، ۴۰۰-۲۰۰، ۶۰۰-۴۰۰، ۸۰۰-۶۰۰ و بیشتر از ۸۰۰ متر تقسیم شده است که ضرایب آن‌ها برابربا ۱، ۰.۸، ۰.۶،۰.۱، ۰ است. در عامل اقلیمی، از دو پارامتر بارش و اثر ذوب برف و یخبندان (ماندگاری برف) استفاده شده است. پارامتر بارش شامل محدوده‌های با بارش کمتر از ۵۳۰ میلی‌متر، ۶۲۰-۵۳۰ میلی‌متر، ۷۰۰- ۶۲۰ میلی‌متر، ۸۰۰-۷۰۰ میلی‌متر و بیشتر از ۸۰۰ میلی‌متر می‌شود . زمانی که بارش افزایش می‌یابد، خطر وقوع حرکات توده‌ای نیز افزایش می‌یابد. البته نوع بارش نیز مهم است. ضرایب بارش به ترتیب برابر با ۰.۳، ۰.۵، ۰.۷، ۰.۸، ۱ است. پارامتر برف (ماندگاری برف) به محدوده کمتر از ۲۸۰۰ متر و محدوده بیش از

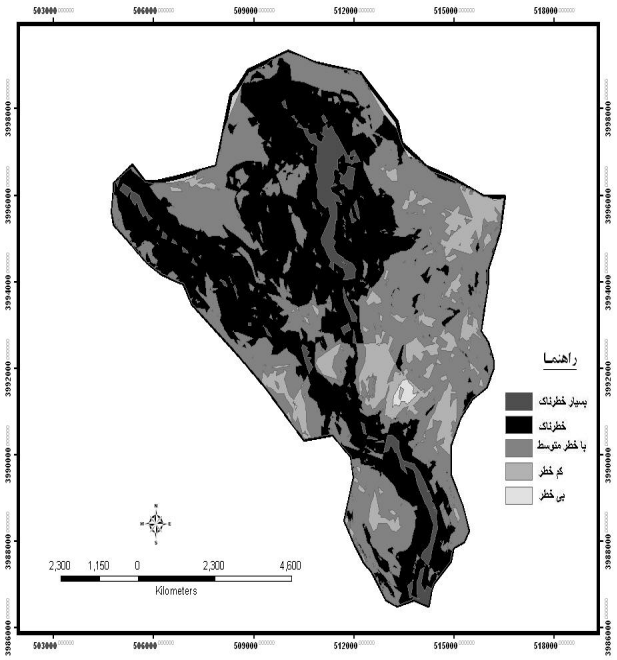
---

۱. برای تقسیم بندی و طبقه بندی طبقات ارتفاعی از اعداد روند استفاده می شود. ولی در این پژوهش چون قصد بر این بود که طبقات ارتفاعی به پنج قسمت مساوی تقسیم شود، اعداد رند به کار نرفته‌اند .

۲۸۰۰ متر تقسیم شده است که ضرایب آنها برابر با ۰/۳ و ۰/۸ است. در ارتفاعات بالا بارش معمولا بصورت برف است و برف ماندگاری بیشتری دارد. ذوب برف‌ها در اوایل بهار عامل مؤثری در وقوع حرکات توده‌ای می‌باشد، پس رابطه وقوع حرکات توده‌ای و برف، یک رابطه مستقیم است. بعد از وزن‌دهی به معیارها با استفاده از نرم افزار ***ARCGIS/MAP*** و گزینه ***Spatial Analyst*** و گزینه ***Raster Calculator*** و وارد کردن فرمول ضرب فازی و ترکیب لایه‌ها بر اساس فرمول می‌توان به آزمون مدل دست پیدا کرد(شکل ۶).

جدول ۱.مساحت‌طبقات‌نقشهٔ‌پهنه‌بندی‌حرکات‌توده‌ای‌درحوضه‌آبریزسیرابه‌روش‌ضرب‌جبری فازی

طبقات پهنه بندی	مساحت طبقه (کیلومتر مربع)	مساحت لغزش (کیلومتر مربع)
خیلی زیاد	۲۲.۰۴	۱۴
زیاد	۱۲.۹	۱۱.۲
متوسط	۳۱.۹۳	۸.۸
کم	۶.۸۵	۴.۸
خیلی کم	۲.۲۸	۱.۲
مجموع	۷۶	۴۰



شکل۶. نقشه پهنه بندی خطروقوع حرکات توده‌ای به روش فازی ضرب فازی درحوضه آبخیز سیرا

۷. نتیجه گیری

براساس نقشه پهنه‌بندی به روش ضرب حوضه آبریز سیرا به پنج منطقه تقسیم شده است: **"منطقه بسیار خطرناک، خطرناک، متوسط، کم خطر و بی خطر"**(شکل ۶) بر اساس همپوشانی نقشه بدست آمده در نتیجه پهنه بندی منطقه به روش ضرب جبر فازی و نقشه پراکندگی کلیه حرکات توده‌ای، در حدود ۶۳ درصد حرکات توده‌ای در منطقه خیلی خطرناک و خطرناک رخ داده است. وسعت منطقه خیلی خطرناک و خطرناک در این حوضه بسیار زیاد است که نشان دهنده توان بالای حوضه از لحاظ رخداد حرکات توده‌ای است.

از بین عوامل مؤثر در وقوع حرکات توده‌ای عامل سنگ به همراه پوشش گیاهی نقش بسزایی در وقوع حرکات توده‌ای در حوضه مورد مطالعه دارند. البته باید ذکر کرد ارتفاع زیاد منطقه و وجود دامنه‌های شمالی و غربی در منطقه نیز سبب وقوع حرکات توده‌ای شده است زیرا دامنه‌های شمالی و غربی همراه با ارتفاع زیاد سبب ماندگاری بیشتر برف، تسریع عمل یخ بندان و ذوب در منطقه می‌شود.

اپراتور ضرب فازی به تنهایی برای پیش بینی و آزمون مدل مناسب نیست. بلکه بهتر است از سایر اپراتورهای فازی به مانند اور، اند، جمع ضرب فاز و گاما استفاده کرد تا نتایج بهتری بدست آورد.

روش‌های برخورد با نواحی مستعد وقوع حرکت‌های توده‌ای و یا نواحی گسیخته شده کلاً شامل: ۱- اجتناب از این نواحی ۲- پیشگیری از وقوع حرکت‌های توده‌ای ۳- علاج بخشی وتثبیت نواحی گسیخته شده است. اصلی‌ترین روش‌های تثبیت دامنه‌های ناپایدارشامل موارد زیر می‌باشند:

- نقشه برداری از نقاط ناپایدار و اندازه گیری مقدار توده‌های لغزشی در طول سال با استفاده از روش‌های معمول، میله گذاری و ژالون بندی، طناب کشی و ...
- احداث دیواره‌های حائل و مقاوم در نقاط پر خطر و ریزشی.
- ایجاد تراست‌ها یا موانع پله‌ای شکل در شیب‌های تند دامنه‌های پرخطر.
- احداث گالری‌های بتونی مقاوم در نقاط پرخطر و دامنه‌های ریزشی با شیب بیش از ۷۰ درجه.
- تغییر مسیر جاده در نقاط پر خطری که استفاده از موانع و سازه‌های بکار رفته دیگر نمی‌تواند مانع سقوط و حرکت توده‌ای مواد بر روی جاده گردد.
-لایروبی سالانه تراست‌های ایجاد گردیده بر روی شیب‌های توده‌ای.
-کاهش ارتفاع دامنه‌ها از طریق برداشتن مواد از رأس دامنه‌ها و ....
- بهبود سیستم زهکشی، حفر چاه‌ها و پمپاژ آب و رطوبت زیادی.

- احداث دیواره‌های حفاظت سنگی در نقاط نسبتاً ناپایدار و دامنه‌هایی با بلوک‌های نامتعادل.
- ایجاد تراست در دامنه‌های نسبتا پرشیب مشرف بر جاده و آبراهه‌های اصلی.
- تقویت پوشش گیاهی.

۷. منابع

۱. اشقلی فراهانی،ع(۱۳۸۰)، **ارزیابی خطر ناپایداری دامنه‌های طبیعی در منطقه رودبار با استفاده از تئوری فازی**، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت معلم.

۲. تاناکا، ک(۱۳۸۳)، **مقدمه‌ای بر منطق فازی برای کاربردهای عملی آن**، ترجمه وحیدیان کامیاد، ع. و طارقیان، ح. ر، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۳. سفیدگری، ر(۱۳۸۱)، **ارزیابی روش‌های پهنه بندی خطر زمین لغزش در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰(مطالعه موردی: حوزه آبخیز دماوند)**، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.

۴. شفاهی، ی و نظری، س(۱۳۸۲)، **تحلیل مسأله انتخاب وسیله نقلیه در سفرهای کاری با به کارگیری سیستم‌های ژنتیک - فازی**، مجموعه مقالات چهارمین همایش مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن، دانشگاه مازندران، ۷ و ۸ خرداد.

۵. فاطمی عقدا، س. م، غیومیان، ج، تشنه لب، م و اشقلی فراهانی، ع(۱۳۸۴)، **بررسی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: منطقه رودبار)**، مجله علوم دانشگاه تهران.

۶.کرم، ع(۱۳۸۰)، **مدل سازی کمی و پهنه بندی خطر زمین لغزش در زاگرس چین خورده (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سرخون- استان چهارمحال و بختیاری)**، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.

۷.کمک پناه، علی(۱۳۷۳)، **پارامترهای مؤثر در پهنه بندی خطر لغزش در نواحی زلزله خیز**، مهندسی بین اللملی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، نشریه شماره ۱.

۸. مصطفایی، ج(۱۳۸۰)، **برآوردگر اطلاع متقابل بر اساس معیار استقلال مکانی**، پایان نامه کارشناسی ارشد ریاضی، دانشگاه تربیت معلم تهران.

۹. مهدویفر، م، ر(۱۳۷۶)، **پهنه بندی خطر زمین لغزش منطقه خورش رستم (جنوب غربی شهرستان خلخال)**، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.

۱۰. نیک اندیش، ن(۱۳۷۶)، **نگرشی بر اهمیت حرکات توده ای زمین در ایران**، نشریهٔ جهادسازندگی، شمارهٔ ۱۵۵، سال دوازدهم.

11. Binaghi, E., Luzi, L., Madella, P., Pergalani, F. and Rampini, A. (1998):Slope instability zonation: a comparison between certainty factor and fuzzy dempster–shafer approaches. Natural Hazards 17: 77–97.

12. Chi, K. H., Park, N. W. and Chung, C. J. (2002): Fuzzy logic integration for landslide hazard mapping using spatial data from Boeun, Korea, Symposium on Geospatial Theory, Processing and Application, Ottawa 2002. 70-76

13.Ercanoglu, M., and Gokceoglu, C. (2002): Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. Environmental Geology 41:720–730.

14. Gorsevski, P. V., Jankowski, P. and Gessler, P. E.(2006): Heuristic approach for mapping landslide hazard integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process. Control and Cybernetics 35, 1-26.

15. Lee, S. 2006. Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping. Environmental Geology 50:847-855.

16. Pistocchi, A., Luzi, L. and Napolitano, P(2002): The use of predictive modeling techniques for optimal exploitation of spatial databases: a case study in landslide hazard mapping with expert system-like methods. Environmental Geology 41:765–775.

17. Schernthanner. H. (2005): Fuzzy logic approach for landslide susceptibility mapping (Rio Blanco, Nicaragua). Msc Thesis, Institute of Geography, NAWI, Paris Lodron University Salzburg, PP. 94

18. Tangestani, M.H(2003):. Landslide susceptibility mapping using fuzzy gamma operation in GIS, Kakan catchment area, Iran. Proceedings of the Map India 2003 Conference, copyright GIS Development .net. pp. 7

19. -Zhu, A. X., Scott Mackay, D(2001): Effects of spatial detail of soil information on watershed modeling. Journal of Hydrology 284, 57-77.