پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال دوم، شماره ٤، بهار ۱۳۹۳
صص. ۸۵-۷۱

پهنه بندی حساسیت خطر وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز خلخال چای با استفاده از مدل‌های چند معیاره

موسی عابدینی* ـ دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اردبیل
محمدحسین فتحی– دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه اردبیل

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۲/۲۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۱۱/۲۸

چکیده

زمین لغزش یکی از انواع حرکات توده‌ای می‌باشد، که تحت تأثیر عوامل متنوع طبیعی و انسانی، هیدرولوژیکی، اقلیمی ایجادشده و به وسیله حضور مستمر عناصر متعددی از جمله بارش و رطوبت تشدید می‌گردد. از اقدامات اساسی جهت دستیابی به راهکارهای کنترل و مدیریت حرکت‌های توده‌ای، شناسایی عوامل موثر در وقوع این پدیده می‌باشد. در تحقیق حاضر که مستخرج از نتایج نهایی طرح پژوهشی است و در آن از ترکیب مدل‌های منطق فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی (Fuzzy-AHP) به عنوان یکی از روش‌های قابل‌استفاده و کاربردی به طور موردی در حوضه آبخیز خلخال چای در استان اردبیل مورد استفاده قرار گرفته است، اقدام به شناسایی عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش و پهنه بندی مناطق مستعد خطر وقوع زمین لغزش نمودیم. نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر نشان می‌دهد؛ عواملی نظیر شیب، لیتولوژی، ارتفاع، بارش، فاصله از رودخانه، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، گسل و جهت شیب به ترتیب اولویت به عنوان مهم‌ترین عوامل موثر در لغزش به منظور پهنه بندی شناسایی گردیده و مورد مطالعه قرار گرفتند. یافته‌های تحقیق نشانگر آن است که حدود (۲۱.۸۲) درصد از زمین لغزش‌ها با مساحتی در حدود (٤٦.۳۰) کیلومترمربع در زمره مناطق با لغزه‌خیزی زیاد و خیلی زیاد و در مناطق شرق و شمال شرق حوضه واقع‌شده‌اند. مناطق با خطر متوسط با مساحت (٤۱.۳۰) کیلومترمربع بیشتر در منطقه شرق و جنوب غرب حوضه آبریز واقع‌شده است. مناطق با حساسیت کم و خیلی کم نیز (۱۲٤.٥٤) کیلومترمربع در واقع (۵۸.۷) درصد از سطح حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. لذا در برنامه‌ریزی‌های محیطی و هرگونه دخالت در شرایط محیط طبیعی و ساخت‌وساز در مناطق شمال شرق و شرق حوضه بهتر است با مطالعات دقیق و علمی صورت گیرد تا منجر به تشدید ناپایداری شیب‌ها و مخاطرات محیطی نشود.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی، زمین لغزش، Fuzzy AHP، GIS، حوضه آبخیز خلخال‌چای.

---

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۳۵۵۵۲۲۶ E-mail: abedini@uma.ac.ir

مقدمه

زمین لغزش[۱] پدیده‌ای است که به عوامل مختلفی چون شیب، زمین‌شناسی، بارندگی، پوشش گیاهی، زلزله و ...، بستگی دارد (اگزا لینلیو و همکاران[۲]، ۱۹۹۰: ۱۸). حرکات توده‌ای، از جمله پدیده‌های مورفودینامیک هستند که تحت تأثیر عوامل مختلفی در سطح دامنه‌های مناطق کوهستانی به وقوع می‌پیوندد و مهم‌ترین آن‌ها زمین لغزش در اشکال مختلف است. یکی از اثرات غیر قابل انکار این پدیده، تشدید فرسایش خاک و انتقال رسوبات به پشت سدها و یا بندهای پایین دست و مخاطرات آن در حوضه‌های آبخیز می‌باشد (پارسایی، ۲۰۰۶: ۲۲۰). لذا شناسائی نواحی مستعد وقوع حرکت‌های توده‌ای یکی از اقدامات اولیه در مدیریت اولیه منابع طبیعی و کاهش آسیب‌های ناشی از این پدیده محسوب می‌شود (بهشتی‌راد و همکاران، ۱۳۹۱: ۶۳). از طرفی تغییر اوضاع اقلیم و افزایش میزان باران سالیانه ممکن است این پدیده را در دامنه‌های پوشیده از رسوبات سطحی تشدید کند (محمودی،۱۳۸۶: ۳۸-۴۳) زمین لغزش یکی از مشکلات و مخاطرات طبیعی ایران، به‌ویژه در نواحی کوهستانی است که موجب ایجاد خسارت‌های جانی و مالی زیاد می‌شود. موقعیت جغرافیایی ایران و ساختار زمین‌شناسی، اقلیم، توپوگرافی، پوشش گیاهی و دخالت انسان سبب شده است که این پدیده در برخی از نقاط به ویژه شمال ایران زیاد دیده شود. وقوع لغزش‌ها پیامدهای منفی مانند تخریب پوشش گیاهی، جاده‌ها، منازل مسکونی، فرسایش خاک، افزایش بار رسوبی (رفاهی، ۱۳۷۷: ۵۰۳) و از همه مهمتر تلفات جانی و بستن مسیر رودخانه و تهدید جاذبه‌های اکوتوریستی مناطق پایین دست را به دنبال خواهد داشت، (جوکار سرهنگی،۱۳۸۶: ۸۰). در مقایسه با انواع مخاطرات طبیعی همچون آتشفشان و سیل، زمین لغزش آسیب‌های قابل توجهی را به جهت مالی و جانی منجر شده است (گوزیتی، ۲۰۰۵). بر اساس برآوردهای اولیه در ایران سالانه حدود ۵۰۰ میلیارد ریال خسارت مالی از طریق وقوع زمین لغزش وارد می‌شود (حسین‌زاده و دیگران، ۱۳۸۸). پژوهش کامل در زمینه بروز زمین لغزش و آگاهی از منشاء و علل وقوع آن، شناختن و روابط و اثرات تغییر یک یا چند عامل بر عوامل دیگر و فرایند تغییرات در ناپایداری دامنه‌ها، متضمن برنامه‌ریزی است (رجائی،۱۳۸۷: ۳۴۹). بررسی پدیده زمین لغزش جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش از یکسو به منظور شناسایی مناطق دارای قابلیت زمین لغزش در محدوده فعالیت‌های بشری حائز اهمیت بوده و ا زسویی دیگر جهت شناسایی مکان‌های امن برای توسعه زیستگاه‌ها و سکونتگاه‌ها یجدید و سایر کاربریهای آتی انسان نظیر جاده ، مسیرهای انتقال نیرو، نیروگاه و غیره در مقیاس‌های مختلف مورد توجه برنامه‌ریزان قرار دارد، (سفیدگری و همکاران، ۱۳۸۴: ۵۷۴-۵۸۰). با توجه به اینکه از بین انواع مخاطرات طبیعی، پدیده زمین لغزش مدیریت-پذیرتر می‌باشد، لذا جهت استفاده بهینه از محیط طبیعی و منابع موجود در آن و همچنین برای استفاده از تاسیسات اقتصادی و زیربنایی، شناخت کامل از محیط و با اعمال مدیریت صحیح در استفاده از آن نسبت به تشدید و تسهیل لغزش‌ها جلوگیری نمود. لذا با برنامه‌ریزی دقیق و درک شرایط طبیعی حاکم بر محیط به ساخت و ایجاد تاسیسات زیربنایی اقدام نمود (امیر احمدی،۱۳۸۹: ۱۸۳). بعلاوه تفکیک مناطق از لحاظ پایداری و ناپایداری و استعداد اراضی به زمین لغزش در اجرای پروژههای عمرانی بویژه برای ساخت و سازهای شهری مهم است (عابدینی،۱۳۹۰،۶۹). هدف از پهنه‌بندی، تقسیم سطح زمین به نواحی همگن و درجه‌بندی آن‌ها بر حسب میزان واقعی یا پتانسیل خطر لغزش می‌باشد، (وارنز، ۱۹۸۴: ۲). پهنه‌بندی مناطق بر اساس عوامل مخرب محیطی، عبارت است تقسیم نواحی جغرافیائی مختلف برحسب واکنش در مقابل بلایای طبیعی است (شهابی و قلی زاده،۱۳۹۰: ۶۵ به نقل از فاسسیولی و همکاران). در حوضه مورد مطالعه (خلخالچای) وجود پارامترهای لازم و موثر برای وقوع زمین لغزش باعث بالا رفتن خطر زمین لغزش در

---

[۱]-زمین لغزش(landslide) شامل کلیه حرکات و گسیختگیهای دامنه ای نسبتاً سریع، که در اثر کاهش ضریب اطمینان، تحت تأثیر غلبه نیروهای مخرب، محرک بر نیروهای مقاوم در سطوح شیبدار بوقوع می پیوندد(شعریت جعفری، ۱۳۷۵: ۷).

سطح حوضه شده است که به عنوان یک عامل منفی برای کاربریهای طبیعی و انسانی موجود در منطقه تلقی می‌شود. در این حوضه پدیده زمین لغزش یکی از مهم‌ترین مخاطرات ژئومورفولوژیکی و اراضی شیب‌دار آن از پتانسیل بالایی برای وقوع این مخاطره برخوردارند. پهنه‌بندی صحیح و اصولی خطر زمین لغزش و عوامل موثر در آن می‌تواند در تصمیم-گیری برای مهار و کنترل و کاهش خسارات ناشی از آن مفید و موثر باشد. این تحقیق نتایج طرح پژوهشی است و به دلیل اهمیت مسئله در این حوضه، اقدام به پهنه‌بندی حساسیت خطر زمین لغزش در حوضه خلخال‌چای با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، نموده است. بررسی منابع و آثار منتشره موجود نشان داد که در رابطه با موضوع تحقیق پیش رو، تا به حال هیچ تحقیقی با روش Fuzzy AHP در حوضه خلخال‌چای به عمل نیامده‌است. با این وجود، در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای در مورد علل وقوع و پهنه‌بندی خطر و نحوه ثبت و نحوه پیشگیری زمین لغزش در گوشه کنار جهان و ایران به عمل آمده است که به اختصار به برخی از آن‌ها می‌پردازیم:

محققینی ازجمله بیسکوجیت[1] (۲۰۱۰)، به ارزیابی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون لجستیک پرداخته و بعد از پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با هر دو روش لجستیک و روش شبکه عصبی مصنوعی به این نتیجه رسیده است که نتایج حاصل از روش شبکه عصبی مصنوعی از روش لجستیک بهتر و دقیق‌تر است، در این مطالعه ۹۸ ٪ از لغزش‌های رخداده در واحدهایی با سازندهای زمین‌شناسی حساس به هوازدگی، زمین بدون پوشش و شیب بالا رخداده است. شیوان[2] (۲۰۱۰)، به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با روش شبکه عصبی مصنوعی پرداخته است و به این نتیجه رسیده است که شبکه عصبی مصنوعی به عنوان یک مدل قابل اطمینان جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش است و در این مطالعه عوامل شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی به عنوان عوامل موثر در زمین لغزش شناسایی شدند. در باره اثرات بارندگی‌هایی بر گسیختگی‌های دامنه‌ها ی کم عمق به روش تجربی چانگ و همکاران [3](۲۰۱۰) تحقیق نموده‌اند و آنان به این نتیجه رسیدند که با پیدایش هر گونه گسیختگی در پای دامنه تحت هر عاملی گسیختگی‌های متوالی به بخش بالا دست دامنه سرایت می‌کند و ارتباط تنگاتنگی بین عوامل درونی و بیرونی در شکل گیری گسیختگی‌های دامنه‌ای و زمین لغزش‌ها وجود دارد. محققینی مانند عیسایی و دیگران (۲۰۱۱)، وحیدنیا و دیگران (۲۰۰۹)، برای مکان‌یابی بیمارستان‌ها، این روش را در ترکیب با روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بکار گرفته‌اند و از آن تحت عنوان روش Fuzzy AHP نام برده‌اند و با ارزیابی فاکتورهای موثر در مکانگزینی بهینه بیمارستانها با استفاده از لایه‌های شبکه ارتباطی، مراکزجمعیتی، مراکزبیمارستانی موجود، تسهیلات و خدمات شهری، فاصله از گسل، شیب، فاصله از خطوط نیرو و ... توانسته‌اند پهنه‌های مناسب جهت احداث مراکز بیمارستانی را بصورت نقشه پهنه‌بندی ارایه نمایند. عبادی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۶)، درپژوهشی که در حوضه آبخیز شیرود صورت گرفت، با استفاده از مدل منطق فازی و با به‌کارگیری عملگر گامای فازی اقدام به پهنه‌بندی پتانسیل زمین لغزش در محدوده مورد پژوهش نمودند، نتایج پژوهش نشان داد که عملگر گامای ۰/۸ بهترین نتیجه را در پهنه‌بندی زمین لغزش در منطقه دارد. جوکار سرهنگی (۱۳۸۶) ، در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه صفارود با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روشAHP به این نتیجه رسید که ۹۴٪ از موارد مشاهده شده لغزش در پهنه‌بندی خطر بسیار زیاد و زیاد قرار گرفته که نشان دهنده دقت بالای روش مورد استفاده است. عظیم‌پور (۱۳۸۸)، با روش AHP به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه اهر چای پرداخته است و به این نتیجه رسیده است که عوامل زمین‌شناسی بیشترین وزن (نقش) و عوامل انسانی کمترین وزن نقش را در به وقوع پیوستن خطر زمین لغزش داشته‌اند. امیر احمدی (۱۳۸۹)، به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه چلاو آمل با استفاده از GIS و روشAHP پرداخته‌است و به این نتیجه رسیده است که به ترتیب عوامل زمین‌شناسی،

[1]-Biswajeet

[2]-Shivani

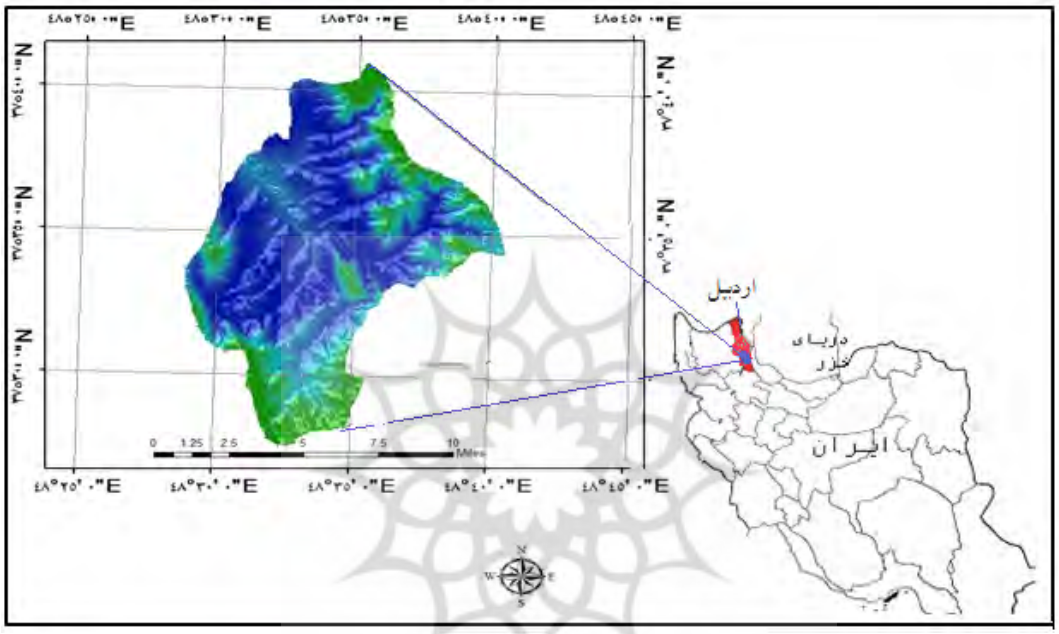
[3]-Ching et al

خاک‌شناسی، عناصر خطی، شیب، بارش، کاربری اراضی و ارتفاع به عنوان مهم‌ترین عوامل موثر زمین‌لغزش شناسایی شدند. فرداد و همکاران (۱۳۹۰)، در مورد پهنه‌بندی حساسیت خطر زمین لغزش با روش‌های منطق فازی و شبکه عصبی نمودند و به این نتیجه رسیدند که در روش فازی با دخالت نظر کارشناس خبره و انتخاب بهینه عملگر فازی AND جوابی بهینه و منطبق بر محیط طبیعی حاصل می‌شود. شکربهجت و عابدینی(۱۳۹۱)، به بررسی فرسایش و رسوبدهی در حوضه نیرچای واقع در استان اردبیل با روش منطق فازی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که عامل لیتولوژی و حساسیت سنگها به فرسایش مهم‌ترین عوامل افزایش رسوب حوضه بودند. عابدینی و همکاران (۱۳۹۲)، به بررسی مکان‌یابی بهینه توسعه فیزیکی شهر سرعین با استفاده از مدل Fuzzy و همپوشانی نمودند و مقر شهر به چهار قسمت، با خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط و کم طبقه‌بندی نموده‌اند. نادری و همکاران (۱۳۹۰) کارایی چهار روش ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح، روش گوپتا و جوشی را برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز زنگوان استان ایلام انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که روش ارزش اطلاعاتی کارایی بهتری نسبت به سایر روشها دارد. عابدینی (۱۳۹۱) اقدام به پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش در حوضه گیوی چای با استفاده تحلیل سلسله‌مراتبی AHP نموده و در نهایت بعد از تلفیق وزنی ۹ عامل موثر کل حوضه را به چهار قسمت با خطر وقوع بسیار بالا، بالا، متوسط و ضعیف طبقه بندی نمودند که در آن عامل شیب و لیتولوژی به ترتیب بشترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش داشته‌اند. بیدار (۱۳۹۱)، اقدام به پهنه بندی حرکات توده ای در مسیر جاده مشگین شهر– مویل با بهره مندی از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) نموده است. ایشان با تلفیق لایه‌های ۹ گانه از این حوضه را به چهار بخش با خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط و کم خطرطبقه بندی کرده است. محققین خارجی نیز نظیر یاکلین (۲۰۰۸) با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با توجه به ویژگی سازند های زمین شناسی در ترکیه پرداخته نموده و به این نتیجه رسیده است که در منطقه مورد مطالعه ۹۸٪ از لغزش‌های رخ داده در واحدهایی با سازندهای زمین‌شناسی حساس به هوازدگی، زمین بدون پوشش و شیب بالا رخ داده است. صفاری و اخدر (۱۳۹۲)، مقایسه مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی در پهنه بندی خطر زمین لغزش در جاده ارتباطی مریوان- سنندج کارکرده‌اند و نتایج نشان داده که از میان دو روش مورد بحث، استفاده از مدل نسبت فراوانی به دلیل فازی سازی مناسب هر معیار با استناد به نقشه‌های پراکنش زمین لغزش‌های رخداده و نحوه تفکیک طبقات خطر، روش مناسب‌تری برای پهنه‌بندی زمین لغزش‌ها در این جاده ارتباطی محسوب می‌شود. با توجه به پژوهش‌های صورت گرفته می‌توان اذعان داشت که فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی توانایی بالایی را برای به‌کارگیری در زمینه پهنه بندی مناطق حساس وقوع زمین لغزش را داراست. البته باید در نظر داشت که توان متخصص و استفاده از کارشناسان مجرب در رابطه با مقایسات زوجی بین معیارها و زیر معیارها و نیز تعیین روابط بین آن‌ها می‌تواند تا مقادیر زیادی دقت مدل را در حل و پیش‌بینی مسئله مورد نظر افزایش دهد. و تلفیق این روش با عملگرهای متد فازی می‌تواند دقت نتایج حاصله را تا حد زیادی افزایش دهد. لذا جهت حصول به نتایج عینی و دقیق در این پژوهش مدل تطبیقی (Fuzzy-AHP) انتخاب گردیده است.

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز خلخال چای در قسمت جنوب شرقی استان اردبیل و تقریباً در حد فاصل و مرز استان اردبیل و استان گیلان در شهرستان خلخال واقع‌شده است. موقعیت این منطقه از ۳۷ درجه،۳۰ دقیقه تا ۳۷ درجه،۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه،۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه،۴۰ دقیقه طول شرقی گسترده شده است. شکل (۱) موقعیت محدوده مورد نظر را نمایش می‌دهد. مساحت آن حدود ۱۸۷/۵ کیلومترمربع و محیط آن برابر ۷۰ کیلومتر می‌باشد. به جهت چینه شناسی در این منطقه سنگ‌های از دوران کرتاسه تا عهد حاضر مشاهده می‌شود. بیشترین گسترش چینه‌ای در سطح حوضه با گدازه‌های آندزیتی و توف‌های ماسه‌ای در جنوب غرب و آهک‌های مارنی و ماسه‌ای در جنوب شرق و شرق حوضه است. ساختار زمین‌شناسی حوضه خلخال چای بخشی از واحد تالش است به عبارتی این حوضه را به جهت ساختار زمین‌شناسی

می‌توان جزو واحد تالش طبقه‌بندی کرد، (علائی طالقانی،۱۳۸۴: ۱۲۶–۱۲۸). در سطح حوضه گسل‌های زیادی قابل مشاهده است که بیشتر آن‌ها با یک روند شمال–جنوب در نیمه شرقی حوضه تمرکز یافته است. به جهت اقلیمی منطقه مورد نظر تحت تأثیر عوامل بیرونی و محلی است که موجب تغییرات دما و ایجاد بارش می‌شود. مقدار متوسط بارش در حوضه در محدوده ارتفاعی ۱۷۵۵ تا ۱۹۵۵ متر حدود ۳۹۶ میلی‌متر و از ارتفاع ۲۳۰۰ تا ۲۷۳۵ متر حدود ۴۷۲ میلی‌متر می‌باشد. میانگین دمایی بلندمدت آن حدود ۸ درجه سانتی گراد می‌باشد و بر اساس سیستم طبقه‌بندی دمارتون می‌توان این منطقه را در گروه مناطق با آب و هوای مدیترانه‌ای تقسیم‌بندی کرد.



شکل (۱): نقشه موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز خلخال‌چای

مواد و روش

امروزه به واسطه توسعه سریع قدرت پردازش کامپیوترها و تکنولوژی سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تعداد وسیعی از روش کمی و آماری در ارزیابی قابلیت رخداد زمین لغزش گسترش یافته است (وانگ[1]،۲۰۱۳). از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل‌هایی مثل رگرسیون لجستیک، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)[2]، فرآیند تحلیل شبکه (ANP)، شبکه عصبی، مصنوعی (ANN)[3]، انواع مدل‌های دو متغیره آماری، مدلLNRF و مدل منطق فازی و غیره اشاره کرد. تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) شامل یک سری از تکنیکها از جمله وزن‌دهی یا تحلیل‌های همگرایی است که اجازه می‌دهد، طیف یاز معیارهای وابسته به مبحث امتیازدهی و سپس به وسیله کارشناسان و گروه‌های ذینفع رتبه‌بندی شوند(سپهر و همکاران، ۱۳۹۱،به نقل از هگیز). به عبارتی در تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، مسائلی مبنتی رابطه مجموعه گزینه‌ها است که بر پایه معیارهای متعارض و ناسازگاری مورد ارزیابی قرار می‌گیرند (پرهیزکار و غفاری، ۱۳۹۰، ۱۵۲). در این پژوهش از ۹ پارامتر طبیعی و انسانی (لیتولوژی، بارش، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، درجه و جهت شیب، کاربری زمین، زمین‌شناسی و فاصله از جاده)، جهت اجرای مدل و پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش استفاده‌شده است. جهت تهیه داده‌ها از نقشه‌های زمین‌شناسی۱:۱۰۰۰۰۰ ، آمار ایستگاه‌های هواشناسی

1-Wang
2-Analytical Hierarchical Process
3-artificial neural network

منطقه برای تهیه لایه بارش، تصاویرسنجنده ETM به تاریخ (۲۰۱۱/۰۸/۱۸) ، ماهواره لندست برای تهیه شاخص کاربری زمین استفاده‌شده است. از لایه DEM منطقه با پیکسل سایز ۲۸ متر نیز جهت تهیه لایه شیب، جهت دامنه، شبکه آبراهه و تراکم شبکه زهکشی استفاده‌شده است. آماده‌سازی و تهیه داده‌ها در محیط دو نرم‌افزار ArcMap و Erdas صورت گرفته است.

بعد از تهیه نقشه عوامل موثر بر خطر لغزش و نقشه پراکنش لغزش‌ها، هر یک از عوامل و کلاس‌های مربوط به آن وزن‌دهی شدند. در این پژوهش از روش تحلیل سلسله‌مراتبی(AHP) که یکی از مدل‌های چند معیاره تصمیم‌گیری است، برای وزن‌دهی عوامل موثر بر وقوع لغزش و معیارهای هر یک از آن‌ها استفاده‌شده است. AHP یک روش نیمه کیفی در مطالعه زمین لغزش است که شامل یک ماتریس وزن‌دهی بر مبنای مقایسات زوجی بین عوامل بوده و میزان مشارکت هر یک از عوامل را در وقوع زمین لغزش مشخص می‌کند(آیالو[1] و همکاران،۲۰۰۵).

روش کار بدین صورت است؛ که ابتدا به منظور تعیین ارجحیت عوامل مختلف و تبدیل آن‌ها به مقادیر کمی از قضاوت‌های شفاهی (نظر کارشناسی) بر مبنای مقایسات زوجی استفاده می‌شود، به طوری که تصمیم‌گیرنده ارجحیت یک عامل را نسبت به علل دیگر بر اساس جدول ۱ در نظر گرفته و این قضاوت‌ها را به مقادیر کمی بین ۱ الی ۹ تبدیل می‌نماید. سپس نتایج این مقایسات، برای محاسبه شاخص ناسازگاری به نرم‌افزار Expert Choice وارد می‌شود. اگر شاخص محاسبه‌شده کمتر از ۰/۱ باشد نتایج قابل‌قبول بوده و در غیر این صورت باید دوباره در وزن‌دهی تجدید نظر شود.

به منظور پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، وزن هر یک از معیارها و زیر معیارها که از روش سلسله‌مراتبی محاسبه گردیده بود، استخراج و بر اساس آن‌ها نقشه‌های سلسله‌مراتبی هر یک از عوامل تهیه‌شده است. در مرحله استنتاج فازی که در حقیقت استفاده از عملگرهای مختلف به منظور تلفیق نقشه‌ها می‌باشد، از عملگر گاما استفاده و نقشه خطر زمین لغزش در حوضه خلخال چای بر اساس این عملگر تهیه شد.

جدول ۱ - طبقه‌بندی ارجحیت مقادیر وزن‌ها بر اساس قضاوت کارشناسی

توصیف زبانی ارجحیت طبقات	مقدار عددی وزن‌ها
کاملاً مهم یا کاملاً مطلوب تر	۹
اهمیت خیلی قوی	۷
اهمیت یا مطلوبیت قوی	۵
کمی مطلوب تر یا کمی مهم تر	۳
اهمیت یا مطلوبیت یکسان	۱
اولویت بین فواصل	۲، ۴، ۶ و ۸

نتایج

با توجه به نوع پارامترهای در نظر گرفته‌شده برای پهنه‌بندی زمین لغزش، ۹ پارامتر فوق در ۴ دسته اصلی به عنوان معیارهای اصلی دسته‌بندی شدند (هیدرواقلیم، زمین‌شناسی، پوشش زمین و انسانی، ویژگی‌های دامنه) و پارامترها به عنوان زیر معیارهای هریک از این معیارها معرفی شدند. با توجه به روابط متقابل معیارها و زیر معیارها و روابط درونی هریک از آن‌ها و هدف مورد نظر، با کمک کارشناسان متخصص مدل سلسله‌مراتبی برای تعیین حساسیت زمین لغزش

[1] Ayalew

تهیه شد؛ تا با توجه به آن ارتباطات موجود بین هر یک از عناصر مدل مشخص شده و مقایسات زوجی بین آن‌ها صورت گیرد.

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی با شناسایی و اولویت‌بندی عناصر تصمیم‌گیری آغاز می‌شود. این عناصر شامل چهار سطح هدف‌ها، شاخص‌ها، یا مشخصه‌ها، ، گزینه‌های احتمالی می‌شود که در اولویت‌بندی بکار گرفته می‌شوند، فرآیند شناسایی عناصر و ارتباط بین آن‌ها که منجر به ایجاد یک ساختار سلسله‌مراتب می‌شود را ساختن سلسله‌مراتب می‌گویند. در این تحقیق جهت امتیازدهی دو به دویی ابتدا با طراحی جدول معیارها به صورت یک پرسش‌نامه اقدام به نظرخواهی از متخصصین و پژوهشگران در زمینه زمین لغزش نموده و با بررسی امتیازات کارشناسانه که با توجه به دقت بالای متخصصن مربوطه در امتیازدهی، از دقت بالایی برخوردارند، این امتیازات وارد فرآیند تصمیم‌گیری در روش تحلیل سلسله‌مراتبی می‌گردد.

در مرحله اول تحقیق لایه‌های مورد نظر با استفاده از نظر کارشناسی که بر مبنای شناخت محیط و روابط پدیده‌ها در منطقه مورد مطالعه می‌باشد در نرم‌افزار اکسپرت چویس با یکدیگر مقایسه شدند. این فرایند بر روی هر یک از معیارهای اصلی صورت گرفت که در این حالت از اهمیت خود معیارها نسبت به همدیگر صرفنظر شده است. بنابراین تحقیق با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی وزن نسبی هر کدام از شاخص‌های اصلی مشخص شده و وزن نهایی حاصل از محاسبات سلسله‌مراتبی در هر کدام از لایه‌ها با توجه به رابطه زیر تأثیر داده شده است (جدول۲).

جدول (۲): محاسبه وزن نسبی هر کدام از عوامل

	شیب	لیتولوژی	ارتفاع	بارش	رودخانه	زمین‌شناسی	کاربری اراضی	گسل	جهات شیب
شیب	۰.۳۵۳	۰.۴۲۴	۰.۳۹۵	۰.۳۴۹	۰.۳۰۷	۰.۲۷۱	۰.۲۴۲	۰.۲۱۹	۰.۲
لیتولوژی	۰.۲۱۲	۰.۲۶۳	۰.۲۶۲	۰.۲۴۵	۰.۲۲۶	۰.۲۰۸	۰.۱۹۱	۰.۱۷۷	۰.۲۱۸
ارتفاع	۰.۱۰۶	۰.۱۳۱	۰.۱۷۴	۰.۱۸۴	۰.۱۸۱	۰.۱۷۳	۰.۱۶۴	۰.۱۵۵	۰.۱۵۴
بارش	۰.۰۷۰	۰.۰۶۵	۰.۰۸۷	۰.۱۲۲	۰.۱۳۲	۰.۱۳۸	۰.۱۳۶	۰.۱۳۳	۰.۱۰۸
رودخانه	۰.۰۵۳	۰.۰۴۳	۰.۰۴۳	۰.۰۶۱	۰.۰۹۰	۰.۱۰۴	۰.۱۰۹	۰.۱۱۳	۰.۰۷۶
زمین‌شناسی	۰.۰۴۲	۰.۰۳۲	۰.۰۲۹	۰.۰۳۰	۰.۰۴۵	۰.۰۶۹	۰.۰۸۲	۰.۰۸۸	۰.۰۵۳
کاربری اراضی	۰.۰۳۵	۰.۰۲۶	۰.۰۲۱	۰.۰۲۰	۰.۰۲۲	۰.۰۳۴	۰.۰۵۴	۰.۰۶۶	۰.۰۳۶
گسل	۰.۰۳۰	۰.۰۲۱	۰.۰۱۷	۰.۰۱۵	۰.۰۱۵	۰.۰۱۷	۰.۰۲۷	۰.۰۴۴	۰.۰۲۵
جهات شیب	۰.۰۲۶	۰.۰۱۸	۰.۰۱۴	۰.۰۱۲	۰.۰۱۱	۰.۰۱۱	۰.۰۱۳	۰.۰۲۲	۰.۰۱۸

$$\lambda = \frac{85.013}{n(9)} = 9.445$$

$$CI = \frac{\lambda - n}{n-1} = \frac{9.445-9}{9-1} = \frac{0.445}{8} = 0.055$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.055}{1.45} = 0.0379 \square 0.038$$

* چون تعداد (۹) = n می‌باشد، پسRI که ضریب ثابت است و با تغییر تعداد پارامتر تغییر می‌کند در اینجا ۱/۴۵ می-باشد.

* مقدارCR کمتر از ۱/. آمد. پس ارزشی که به عوامل دادیم درست است.

میزان شیب دامنه: نقشه شیب برای منطقه مورد مطالعه در ۵ کلاس ۵–۱۵،۰–۵، ۳۰–۱۵، ۴۵–۳۰ و بیشتر از ۴۵ درجه تهیه گردید. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که بیشترین درصد لغزش در کلاس خطر ۴۵–۱۵ درجه قرار دارد.

جهت شیب: در این تحقیق به منظور ارتباط بین جهت شیب و لغزش‌های رخداده نقشه جهت شیب به ۹ کلاس ۲۲/۵-۰، ۶۷/۵-۲۲/۵، ۱۱۲/۵-۶۷/۵، ۱۵۷/۵-۱۱۲/۵، ۲۰۲/۵-۱۵۷/۵، ۲۴۷/۵-۲۰۲/۵، ۲۹۲/۵-۲۴۷/۵، ۳۳۷/۵-۲۹۲/۵، ۳۶۰-۳۳۷/۵درجه طبقه‌بندی گردید که بیشترین درصد لغزش در کلاس ۲۴۷/۵-۱۵۷/۵ درجه قرار دارد.

طبقات ارتفاعی: نقشه طبقات ارتفاعی خود از کلاس‌بندی نقشه DEM منطقه تهیه می‌شود و به منظور بیان ارتباط بین عامل ارتفاع و زمین لغزش‌های رخداده در منطقه و با توجه به هیستوگرام فراوانی تجمعی، نقشه طبقات ارتفاعی در ۵ کلاس ۱۶۰۰-۱۲۵۰، ۲۰۰۰-۱۶۰۰، ۲۴۰۰-۲۰۰۰، ۲۸۰۰-۲۴۰۰ و بیشتر از ۲۸۰۰ متر تهیه گردید. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که بیشترین درصد لغزش در کلاس ۲۴۰۰-۲۰۰۰ قرار دارد.

زمین‌شناسی منطقه: در این تحقیق واحدهای سنگ‌شناسی حوضه خلخال چای بر اساس جنس و سن مجزا گردید نتایج به دست آمده از قطع نقشه زمین‌شناسی با نقشه پراکنش لغزش‌ها نشان می‌دهد که بیشترین لغزش در واحدهایی که عناصر سازنده آن عمدتاً شامل ماسه‌سنگ و رس و کنگلومرا می‌باشد، رخ داده است.

بارش: یکی از عوامل محرک و تأثیرگذار در فرآیند لغزش عامل بارش و میزان نفوذ آن در لایه‌های سطحی و زیرسطحی دامنه‌ها می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های باران سنجی موجود اقدام به استخراج داده‌های بارش انتقال آن به محیط ARCGIS و تهیه نقشه خطوط مباران نمودیم و در نهایت طبقات بارشی را به پنج طبقه ۱۰۰-۲۰۰، ۲۰۰-۳۰۰، ۳۰۰-۴۰۰، ۴۰۰-۵۰۰ و بیشتر از ۵۰۰ تقسیم‌بندی نمودیم. نتیجه حاصله از تطبیق زمین لغزش‌ها با میزان بارندگی نشانگر رابطه مستقیم بین حجم بارش و رخداد زمین لغزش در منطقه را دارد.

نقشه فاصله از آبراهه: نقشه فاصله از آبراهه به ۵ کلاس با فواصل ۳۰۰-۰، ۶۰۰-۳۰۰، ۹۰۰-۶۰۰، ۱۲۰۰-۹۰۰ و بیشتر از ۱۲۰۰ متر تقسیم و به منظور بیان ارتباط بین خطر زمین لغزش و حریم فاصله از آبراهه‌ها به کار گرفته شد که نتایج نشان داد بیشترین حساسیت نسبت به لغزش مربوط به کلاس ۳۰۰-۰ متر است.

فاصله از جاده: به منظور تهیه نقشه فاصله از جاده، شبکه جاده از روی نقشه توپوگرافی استخراج و در محیط نرم‌افزار Arc GIS رقومی گردید. سپس نقشه مورد نظر با فواصل ۳۰۰-۰، ۶۰۰-۳۰۰، ۹۰۰-۶۰۰، ۱۲۰۰-۹۰۰ و بیشتر از ۱۲۰۰ متر تقسیم شد. نتایج نشان داد بیشترین حساسیت نسبت به لغزش مربوط به کلاس ۳۰۰-۰ متر است.

کاربری اراضی: در حوضه خلخال چای کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای موجود، با استفاده از روش طبقه-بندی نظارت شده و الگوریتم حداکثر احتمال، استخراج و با عملیات میدانی تکمیل شده است. بر اساس مطالعه صورت گرفته کاربری‌های اراضی باغات و کشت آبی، زراعی دیم، اراضی جنگلی، و اراضی بایر در منطقه شناسایی شد. نتایج نشان داد که بیشترین حساسیت نسبت به لغزش در کلاس اراضی بایر وجود دارد.

فازی سازی داده‌ها

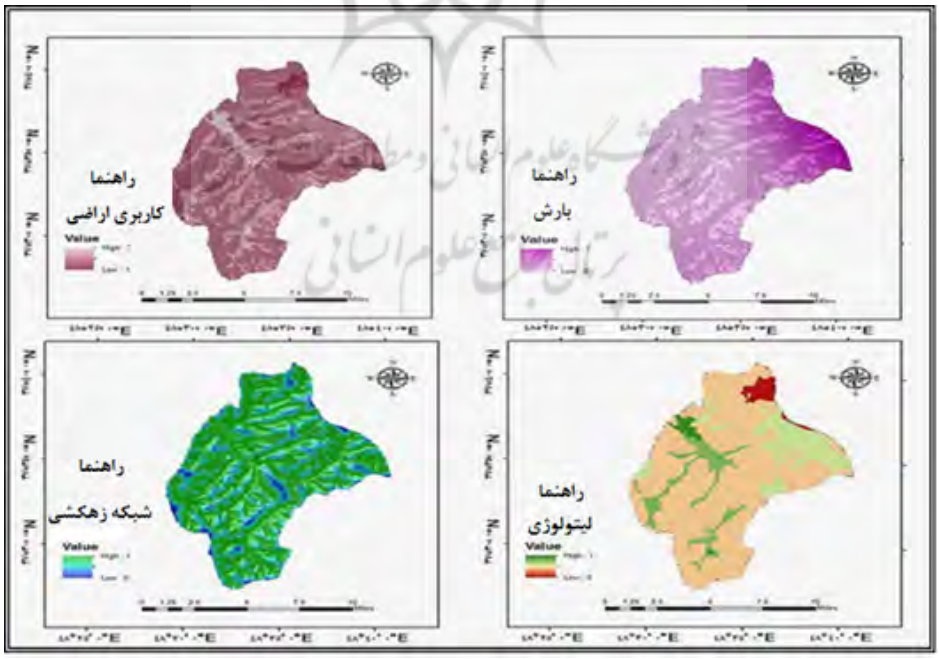
پس از وزن‌دهی و الویت‌بندی ۹ لایه حوضه مورد تحقیق به روش سلسله‌مراتبی، آن‌ها را مجدداً در محیطArc GIS10 تبدیل به نقشه‌هایی با منطق فازی نمودیم. مدل منطق فازی تعمیمی از نظریه کلاسیک مجموعه‌ها در علم ریاضیات است. و روشی نوین جهت بیان عدم قطعیت‌ها و ابهامات روزمره می‌باشد. مجموعه‌های فازی از طریق تابع عضویت تعریف می‌شوند. برای هر مجموعه فازی عددی بین صفر تا یک وجود دارد؛ که صفر عدم عضویت کامل و یک عضویت کامل را نشان می‌دهد(مهدوی و همکاران،۱۳۹۰)، مدل فازی با استفاده از عملگرهای مختلفی صورت می‌گیرد. از عملگرهای مهم مدل منطق فازی می‌توان به عملگر ضرب جبری فازی (Fuzzy Product)، جمع جبری فازی (Fuzzy Sum) گامای فازی و غیره اشاره کرد. عملگر گامای فازی در مقایسه با دو عملگر جمع و ضرب فازی نقش تعدیلی در نتیجه دارد. و حساسیت خیلی بالای عملگر ضرب فازی و حساسیت خیلی کم عملگر جمع فازی را تعدیل کرده و به واقعیت نزدیک‌تر می‌کند. این عملگر بر حسب حاصل‌ضرب جبری فازی و حاصل جمع جبری فازی بر اساس رابطه (۱) تعریف می‌شود. که این عملگر به نقشه‌های نهایی حاصل از اعمال وزن دهی سلسله‌مراتبی اعمال و نقشه‌های

نهایی جهت مشخص شدن پهنه‌های حساس خطر وقوع زمین لغزش در محدوده پژوهش استخراج خواهد گردید (شکل ۲ و۳).

$$\mu_{combination}=((Fuzzy\ Algebraic\ Sum)(Fuzzy\ Algebraic\ Product))^{1-\gamma} \quad \text{رابطه (۱)}$$

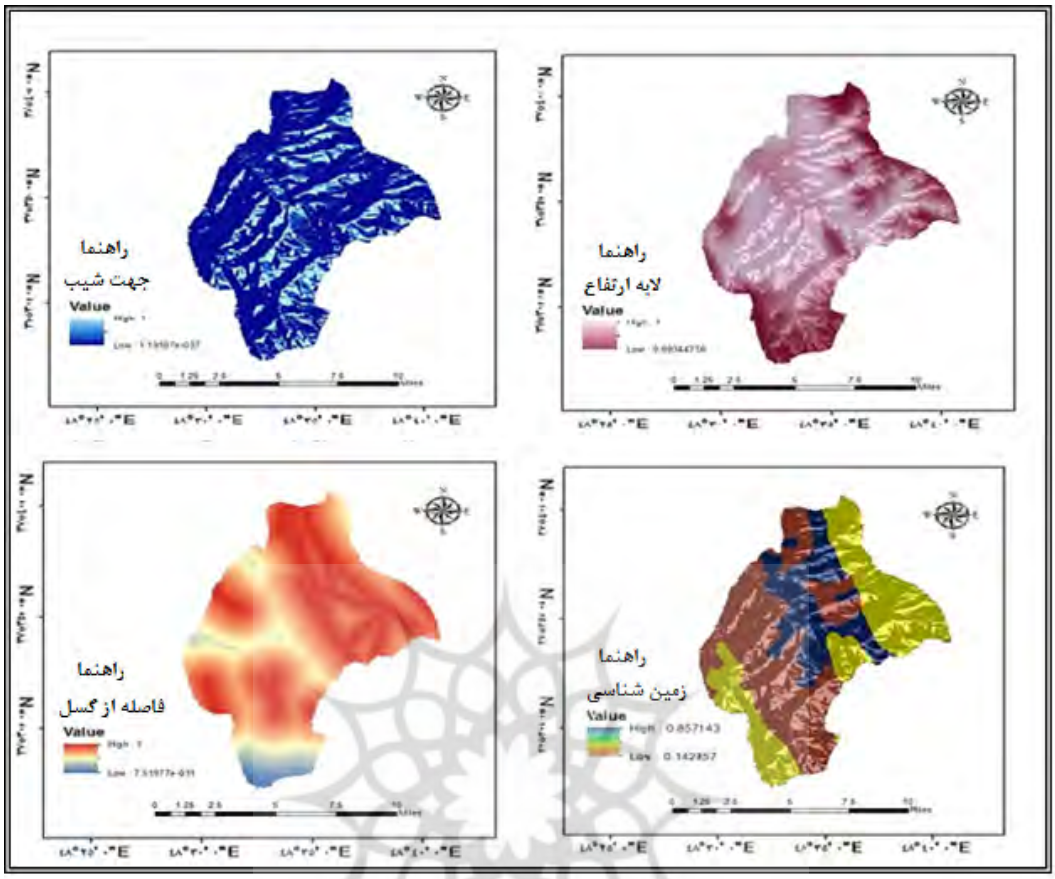
که در آن $\mu_{combination}$لایه حاصل از گامای فازی وγ پارامتر تعیین‌شده در محدوده صفر و یک است. زمانی که γ را برابر ۱ قرار دهیم ترکیبی که اعمال می‌شود. همان جمع جبری فازی و زمانی که γ برابر صفر باشد ترکیب، برابر با ضرب جبری فازی است. مقدار در نظر گرفته‌شده برای γ مقادیری در خروجی ایجاد می‌کند، که با اثر افزایشی جمع جبری و اثر کاهشی ضرب جبری فازی سازگاری دارد. پس باید در نظر داشت که انتخاب صحیح مقدار گاما در بالا بردن دقت کار بسیار مفید است (آل شیخ[1]،۲۰۰۸:۴۵۵).

در این تحقیق از ۹ شاخص جهت ارزیابی تناسب زمین برای وقوع زمین لغزش استفاده‌شده است. برای اجرای مدل منطق فازی و آماده سازی لایه‌ها از نسخه ۱۰ نرم‌افزار Arc GIS استفاده شد. به این ترتیب که تمام لایه‌ها با سیستم مختصات مشترک تهیه‌شده و برای استفاده در مدل منطق فازی استانداردسازی شدند. هر کدام از این لایه‌ها با توجه به نو عملکردشان از تابع خاصی تبعیت می‌کنند و بنا به نوع لایه تابع عضویت فازی ممکن است از نوع خطی افزایش یا کاهشی و غیره باشد. با تعیین توابع فازی می‌توان با استفاده از برخی از توابع موجود در نرم‌افزار ARCGIS و یا به صورت فرمول نویسی با استفاده از تحلیل‌گر RasterCalculator لایه‌ها را به صورت لایه‌های استانداردشده در بازه ارزشی صفر تا یک در آورد. لایه‌های وکتوری پلیگونی نیز بدون نیاز به تابع با دادن کدهای بین (۰تا ۱) و تبدیل به لایه رستری به حالت فازی تبدیل می‌شوند. عضویت در روش فازی بر روی یک مقیاس گروه‌بندی شده از ۱ (عضویت کامل) تا صفر (عدم عضویت کامل) بیان می‌شود (حیدری‌نژاد و رنجبر،۱۳۹۱). هر کدام از این لایه‌ها به تنهایی با توجه به ضابطه و نوع تابعی که برای آن در نظر گرفته‌شده است. محدودیت و امکانات ایجاد زمین لغزش را بیان می‌کند (شکل‌های ۲ و ۳).



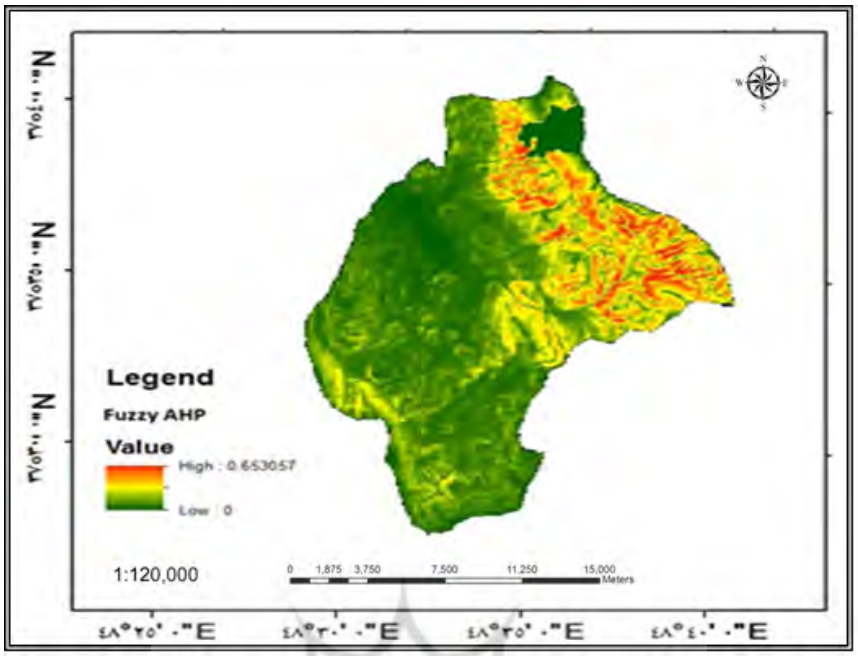
شکل (۲): لایه‌های کاربری اراضی، بارش، لیتولوژی و شبکه زهکشی فازی سازی و استفاده‌شده در پهنه‌بندی زمین لغزش حوضه خلخال‌چای

[1]Alesheikh



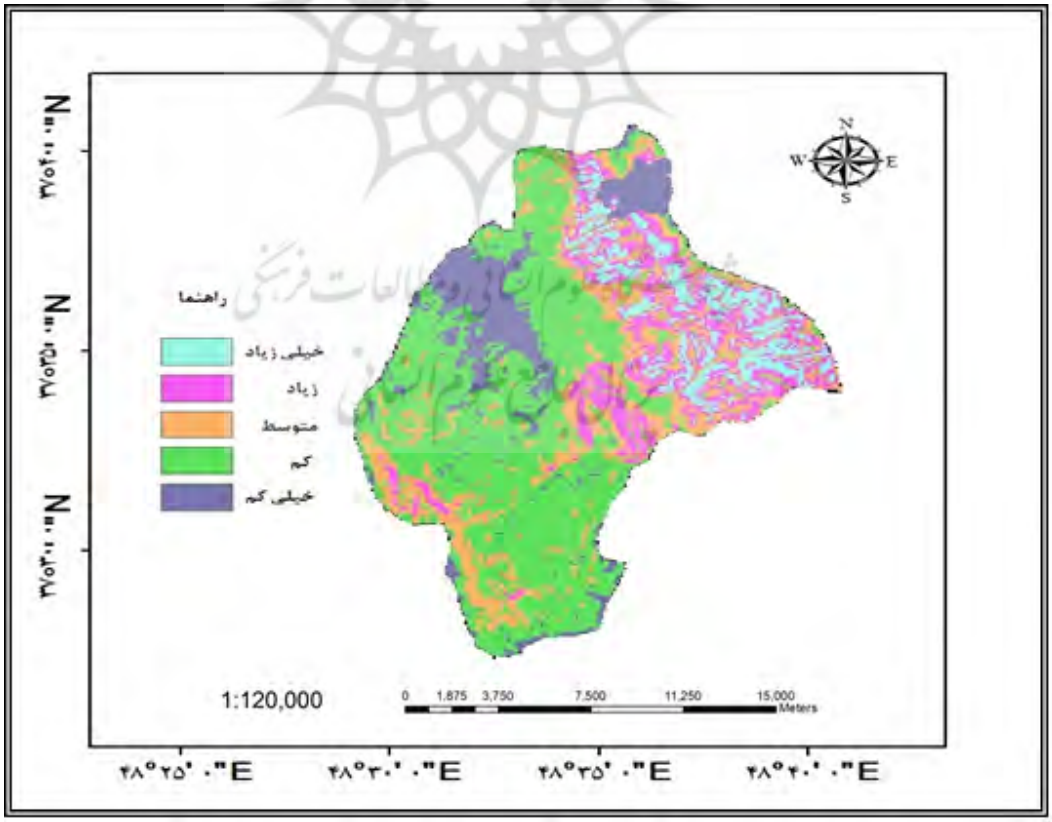
شکل (۳): لایه‌های ارتفاعی، جهات شیب، زمین‌شناسی و گسل، فازی سازی و استفاده‌شده در پهنه‌بندی زمین لغزش حوضه خلخال‌چای در پهنه‌بندی زمین لغزش حوضه خلخال‌چای

بعد از به دست آوردن نقشه‌های نهایی هرکدام از عناصر موثر در فرآیند زمین لغزش، بر اساس مدل تلفیقی، در نهایت برای هم‌پوشانی و به دست آوردن یک نقشه نهایی برای نشان دادن پتانسیل حساسیت و خطر زمین لغزش در محدوده مورد پژوهش، نقشه‌های ایجادشده را در محیط Fuzzy overlay با ضریب گامای ۷٪ تلفیق کرده و نقشه نهایی پهنه‌بندی زمین لغزش با مدل تلفیقی (فازی/ ای اچ پی) حاصل شد (شکل ۴).



شکل (۴): پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش به روشFuzzy AHP در حوضه آبریز خلخال‌چای

در نهایت جهت محاسبه طبقه‌بندی و مشخص شدن مساحت هریک از کلاسه‌های زمین لغزش اقدام به طبقه‌بندی نهایی زمین لغزش در پنج کلاس با ضریب اهمیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط،کم و خیلی کم اقدام نمودیم (شکل ۵).



شکل (۵): نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش، طبقه‌بندی شده در پنج کلاس، با استفاده از مدل (Fuzzy-AHP)

بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی حساسیت زمین لغزش برای حوضه آبریز خلخال چای صورت پذیرفت. این روش نه تنها مقدار نقش هر عامل در وقوع لغزش را تعیین می‌کند، بلکه این روش چگونگی ارتباط و هماهنگی بین عوامل موثر در لغزش را به شکل حلقه‌های زنجیر در بر می‌گیرد. چون ارتباط درونی عوامل موثر به گونه‌ای است که حذف هیچ‌کدام از آن‌ها امکان‌پذیر نیست. بنابراین حدالامکان تمام عوامل کار در نظر گرفته می‌شود. با توجه به روابط متقابل پارامترها در رخداد یک زمین لغزش می‌توان اذعان داشت که فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی توانایی بالایی را برای به‌کارگیری در این زمینه داراست. البته باید در نظر داشت که توان متخصص و استفاده از کارشناسان مجرب در رابطه با مقایسات زوجی بین معیارها و زیرمعیارها و نیز تعیین روابط بین آن‌ها می‌تواند، تا مقادیر زیادی دقت مدل را در حل و پیش‌بینی مسئله مورد نظر افزایش دهد.

با توجه به نتایج قابل‌قبول به دست آمده از این مدل ترکیبی در حوضه آبریز خلخال چای و نیز نتایج اکتسابی از کاربرد این مدل در پژوهش‌های صورت گرفته، در داخل و خارج از کشور می‌توان به توانایی و قابلیت تعمیم این مدل اذعان داشت. عوامل مختلف تأثیرگذار در لغزش‌های حوضه آبریز خلخال‌چای به ترتیب اولویت عبارتنداز: شیب، ارتفاع، سنگ‌شناسی، بارش، رودخانه، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، گسل و جهات شیب که عامل شیب بیشترین وزن (۰/۳۰۷) و عامل جهت شیب کمترین وزن (۰/۰۱۹) را به خود اختصاص داده است. با توجه به نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش، حوضه آبریز از لحاظ حساسیت به لغزش به پنج منطقه تقسیم گردید و مناطق با ریسک وقوع زمین لغزش زیاد تا خیلی کم شناسایی شدند. نتایج مدل و ارزیابی آن نشان داد که مدل قابلیت قابل‌قبولی با پیش‌بینی ۶۵ درصد زمین لغزش‌ها در پهنه‌های با حساسیت زیاد و خیلی زیاد را دارا می‌باشد. در این خصوص مناطق با خطر بسیار زیاد و زیاد با مساحت (۴۶.۳۰) کیلومترمربع بیشتر در مناطق شرق و شمال شرق حوضه که از لحاظ میزان شیب، نوع سازند، فاصله از حریم گسل، فاصله از حریم رودخانه و ... مناسب برای وقوع لغزش می‌باشند واقع‌شده‌اند. مناطق با خطر متوسط با مساحت (۴۱.۳۰) کیلومترمربع بیشتر در منطقه شرق و جنوب غرب حوضه آبریز واقع‌شده است. مناطق با حساسیت کم و خیلی کم نیز (۱۲۴.۵۴) کیلومترمربع در واقع (۵۸.۷) درصد از سطح حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. در جدول (۲) فضا یا مساحت اراضی حوضه مورد تحقیق واقع‌شده در هریک از پهنه‌های با خطر بسیار زیاد تا خیلی کم را نشان داده شده است.

جدول۳ : سطح اشغال هریک از پهنه‌ها در حوضه آبریز خلخال‌چای

پهنه‌های خطر	مساحت (کیلومترمربع)	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
پهنه با خطر بسیار زیاد	۱۷.۲۱	۱۷۲۱	٪۸.۱۱
پهنه با خطر زیاد	۲۹.۰۹	۲۹۰۹	٪۱۳.۷۱
پهنه با خطر متوسط	۴۱.۳۰	۴۱۳۰	٪۱۹.۴۶
پهنه با خطرکم	۹۸.۴۹	۹۸۴۹	٪۴۶.۴۲
پهنه با خطر خیلی کم	۲۶.۰۴	۲۶۰۴	٪۱۲.۲۷
کل	۲۱۲.۱۵	۲۱۲۱۵	٪۱۰۰

برای اینکه بتوانیم مدل اجراشده در منطقه را مورد ارزیابی قرار دهیم با استفاده از یک سوم زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه (۴۲ زمین لغزش) که در اجرای مدل استفاده‌نشده بودند، پراکنش فضایی‌شان در کلاس‌های پنج‌گانه نقشه حساسیت زمین لغزش مورد ارزیابی آماری قرارگرفت که نتایج آن در جدول (۴) ارائه شده است. کنترل‌های میدانی نیز، به لحاظ وقوع زمین لغزش‌ها در منطقه با وضعیت پهنه‌بندی (Fuzzy AHP) انطباق بالایی را نشان می‌دهد، که نشانگر دقت در داده‌های ورودی و پردازش مدل بوده است.

جدول ۴: ارزیابی کلاس‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش و درصد زمین لغزه‌های رخ داده

کلاس حساسیت	مساحت هر کلاس به درصد	مساحت زمین لغزش‌های رخ داده به درصد
پهنه با خطر بسیار زیاد	٪۸.۱۱	۴۴/۲
پهنه با خطر زیاد	٪۱۳.۷۱	۳۰/۶
پهنه با خطر متوسط	٪۱۹.۴۶	۹/۱۱
پهنه با خطرکم	٪۴۶.۴۲	۱۰/۶
پهنه با خطر خیلی کم	٪۱۲.۲۷	۵/۴۹

با توجه به نتایج ارزیابی بیشترین مقدار زمین‌لغزش‌ها در کلاس پنج رخ داده است. طبق اطلاعات جدول با افزایش کلاس خطر تراکم زمین لغزش‌ها در آن کلاس افزایش می‌یابد به طوری که کلاس با حساسیت خیلی زیاد حدود ۴۴ درصد زمین لغزش‌ها را در خود جای داده است. این در حالی است که مساحت این کلاس نسبت به کل منطقه مورد مطالعه تنها (۸/۱۱)درصد است. کلاس‌های با حساسیت خیلی کم، کم و حساسیت متوسط با اینکه حدود (۷۸/۱۵)درصد مساحت منطقه را شامل می‌شوند اما تنها بخش ناچیزی از زمین لغزش‌های رخ داده(۲۵/۲ درصد) در این کلاس‌ها واقع‌شده‌اند. این در حالی است که (۷۴/۸) درصد زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه در کلاس‌های چهارم و پنجم خطر(حساسیت زیاد و خیلی زیاد) واقع‌شده‌اند. با توجه به مطالب اشاره‌شده در بالا و نیز نتایج ارزیابی و نقشه نهایی می‌توان اذعان کرد که مدل فوق قابلیت خوبی در منطقه از لحاظ پیش‌بینی وقوع زمین لغزش دارد. با توجه با نتایج حاصله، در برنامه‌ریزی‌های محیطی و هرگونه دخالت در شرایط محیط طبیعی و ساخت‌وساز در مناطق شمال شرق و شرق حوضه بهتر است. با مطالعات دقیق و علمی صورت گیرد. تا منجر به تشدید ناپایداری شیب‌ها و مخاطرات محیطی نشود.

منابع

۱. امیراحمدی، ابوالقاسم (۱۳۸۵)، بررسی نقش اقلیم در حرکت دامنه‌ای در ارتفاعات شمال خراسان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (*GIS*) جهت کنترل بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آن، پایان‌نامه دکترا، دانشگاه تربیت معلم تهران.

۲. امیر احمدی، ابوالقاسم (۱۳۸۹)، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (*AHP*)، مطالعه موردی حوضه آبخیز چلاو آمل، فصلنامه علمی-پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، سال هشتم،شماره ۲۷.

۳. بیدار، زینب (۱۳۹۱)، پهنه‌بندی حرکات توده‌ای در مسیر جاده مشگین‌شهر- مویل با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (*AHP*). پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا. دانشکده علوم انسانی محقق اردبیلی.

۴. حیدری‌نژاد، سمیه، رنجبر، حسین (۱۳۹۱)، مکان‌یابی گمانه‌های اکتشافی درکانسار در هزار با استفاده از منطق فازی، مجموعه مقالات پانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، صص ۵ تا ۹.

۵. حسین‌زاده، محمدحسین. محمدرضا ثروتی، عادل منصوری، بابک میرباقری، سعید خضری (۱۳۸۸)، پهنه‌بندی ریسک وقوع حرکات توده‌ای با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال سوم، شماره یازدهم، صفحات ۲۷-۳۷.

۶. جوکار سرهنگی، عیسی (۱۳۸۶)، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه‌صفارود با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای،شماره نهم.

۷. رفاهی، حسینقلی (۱۳۷۷)، فرسایش آبی و کنترل آن، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران.

۸. رجائی، عبدالحمید، (۱۳۸۷)،کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه‌ریزی شهری و روستائی. انتشارات سمت.

۹. سپهر، عادل، اختصاصی، محمدرضا و سیدعلی المدرسی (۱۳۹۱)، ایجاد شاخص‌های بیابان‌زایی براساس *DPSIR* (بهره‌گیری از روش فازی–تاپسیس). مجله جغرافیای و برنامه‌ریزی محیطی،شماره پیاپی ۴۵.

۱۰. سفیدگری، رحیم (۱۳۸۴)، ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در مقیاس ۵۰۰۰۰: ۱، مطالعه موردی حوضه آبخیز دماوند. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، ص ۵۸۰-۵۷۴.

۱۱. شکر بهجت، سمیرا و عابدینی، موسی (۱۳۹۱)، بررسی فرسایش پذیری خاک حوضه آبخیز نیرچای (آقلاقانچای) با استفاده از منطق فازی و مدل*TOPSIS*، دانشگاه محقق اردبیلی،گروه جغرافیا.

۱۲. شریعت، جعفری، محسن (۱۳۷۵). زمین لغزش‌ها (مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی). ناشر سازه، ص ۴۸-۲۹.

۱۳. شهابی، همین و قلی زاده، محمدحسین (۱۳۹۰). پهنه بندی خطر زمین لغزش با روش تحلیل چندمعیاره فضائی. فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۲۱، ص ۶۵.

۱۴. صفاری، امیر, اخدر، آرش (۱۳۹۲)، مقایسه مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: جاده ارتباطی مریوان – سنندج)، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، فردوسی مشهد،شماره ۱ صفحات ۷۹-۹۶.

۱۵. عابدینی، موسی (۱۳۹۱)، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش‌های حوضه گیوی چای بر اساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی (*AHP*)، طرح پژوهشی گروه جغرافیای دانشگاه محقق اردبیلی.

۱۶. عظیم‌پور، علیرضا (۱۳۸۷)، ارزیابی نتایج مدل *AHP* در پهنه بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی حوضه آبخیز اهر چای)، مجله علمی–پژوهشی فضای جغرافیایی، سال نهم، شماره ۲۶،ص:۷۱-۸۷.

۱۷. عابدینی، موسی، چراغی کامرانی، معصومه، و ویدا رحمانی (۱۳۹۲). مکان‌یابی بهینه توسعه فیزیکی شهر سرعین با استفاده از مدل *Fuzzy* و همپوشانی. ۲۶ اردیبهشت‌ماه. مجموعه مقالات همایش ملی معماری پایدار و توسعه شهری–بوکان.

۱۸. عبادی‌نژاد، سیدعلی. مجتبی یمانی، مهران مقصودی، صمدشادفر، ارزیابی کارایی عملگرهای منطق فازی در تعین توانمندی زمین لغزش، مجله علوم مهندسی آبخیزداری ایران، سال اول، شماره ۲، پاییز ۱۳۸۶.

۱۹. غفاری گیلانده، عطاء، پرهیزکار، اکبر (۱۳۹۰)، سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاری، ترجمه، انتشارات سمت.

۲۰. فرداد، مهدی، آلشیخ، علی اصغر، حکیم پور، فرشاد و علیرضا وفایی‌نژاد (۱۳۹۰)، پهنه‌بندی حساسیت خطر زمین لغزش با روش‌های منطق فازی (*Fuzzy*) و شبکه عصبی*Neural Network* در، *GIS* مطالعه موردی منطقه مال خلیفه. پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.

۲۱. قدسی پور، سیدحسن (۱۳۸۸)، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی *AHP*چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
۲۲. گلی، علی و الفت، لهیا (۱۳۸۹). مکان‌یابی دستگاه‌های خودپرداز با استفاده از روش سلسله‌مراتبی (*AHP*). مطالعه موردی بانک کشاورزی منطقه ۱۰ شهرداری تهران. فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره پیاپی ۱۸،ص ۹۳-۱۰۸.
۲۳. مهدوی، عاطفه، نوری امامزاده‌یی، محمدرضا مهدوی نجف‌آبادی، رسول و سیدحسن طباطبائی (۱۳۹۰)، مکان‌یابی عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی سفره‌های زیرزمینی به روش منطق فازی در حوضه آبریز دشت شهرکرد. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره۵۶.
۲۴. محمودی، فرج‌الله (۱۳۸۶)، ژئومورفولوژی دینامیک، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه پیام نور.
۲۵. نادری، فتح‌الله. حاجی کریمی (۱۳۹۰). ارزیابی کارایی دو روش ارزش اطلاعاتی و گوپتاوجوش در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز تلخاب ایلام. پژوهش‌های آبخیزداری،شماره ۹۲.

26. *Ale sheikh, A., Soltani, M., Nouri, N., Khalilzadeh, M, (2008),* Land Assessment for Flood Spreading Site Selection Using Geospatial Information System, *International*
27. *Journal of Environmental Science and Technology, Vole .5, No .4, 455-462.*
28. *Biswajeet P. (2010), Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling Original Research Article, Environmental Modeling & Software, Volume 25, Issue 6, Pages 747-759.*
29. *Ching, C.H She-C Y. (2010) Experimental investigation of rainfall criteria for shallow slope failures. Elsevier Geomorphology Vol (pp) 326–338*
30. *Guzzetti, F. Carrara, A. Cardinali, M. Reichenbach, P. 1999. Landslide hazard evaluation: An aid to a sustainable development. Geomorphology. Vol, 31, 181–216.*
31. *Shivani C. (2010), Landslide Susceptibility Zonation through ratings derived from Artificial Neural Network Original Research Article.International Journal of Applied Earth Observation and Geo-information, Volume 12, Issue 5, October 2010, Pages 340-350*
32. *Varnas D.J.1984, Landslide hazard zonation:a review of Principle and Practice,Unexco,Paries,pp (63).*
33. *Wang, L.j. Kazuhide, S. Shuji, M. 2013. Landslide susceptibility analysis with logistic regression model based On FCM sampling strategy.Computers & Geosciences 57…, pp: 81–92.*
34. *Yalcin, A, (2008), GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey), Volume 72, Issue 1, 1 January 2008, Pages 1-12.*