

ارزیابی منطقه‌ای مخاطره سیل در مقیاس زیرحوضه با استفاده از سنجش از دور و مدل منطق فازی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز مرنند)

سید محمد موسوی^۱، شهرام روستائی^{۲*}، هاشم رستمزاده^۳

۱. کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز

۲. استاد گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

۳. استادیار گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۸/۰۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۷/۰۱/۱۴)

چکیده

از جمله مهم‌ترین مخاطرات تهدیدکننده جوامع بشری سیل است. در پژوهش حاضر با یکپارچه‌سازی مدل منطقی برآورد رواناب اوج، به ارزیابی مخاطره سیل حوضه آبخیز مرنند در مقیاس زیرحوضه با استفاده از سنجش از دور و GIS پرداخته شده است. پس از تعیین ضریب رواناب با استفاده از لایه‌های پوشش/کاربری اراضی تهیه‌شده از تصاویر ماهواره Sentinel 2A، نقشه شیب تهیه‌شده از DEM ۳۰ متری سنجنده ASTER و گروه‌های هیدرولوژیک خاک، با استفاده از میزان تعیین‌شده که با محاسبه زمان تمرکز زیرحوضه‌ها تعیین شد، رواناب اوج برای همه زیرحوضه‌ها محاسبه شد. در ادامه، با استفاده از تابع عضویت خطی در مدل منطق فازی، یکپارچه‌سازی دو لایه رواناب اوج تهیه‌شده و لایه ارتفاع، بین صفر و یک فازی‌سازی شدند و سپس با اعمال همپوشانی ضربی وزن‌های مشخص براساس شاخص مخاطره سیل (FHI)، به هر یک از این دو لایه و سپس جمع نتایج آنها، نقشه توزیع مخاطره سیل تهیه شد. با کلاس‌بندی نقشه مخاطره تهیه‌شده در پنج کلاس شامل بسیار کم‌خطر، کم‌خطر، متوسط، پرخطر و بسیار پرخطر با نتایج به‌دست‌آمده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مشارکتی یا PGIS و ورود این اطلاعات به ماتریس درهم‌ریختگی میزان دقت نقشه‌های تهیه‌شده ۸۷/۸۳ درصد تعیین شد.

کلیدواژگان: حوضه آبخیز مرنند، مخاطره سیل، منطق فازی، PGIS، Sentinel 2A.

مقدمه

سیل از اصلی‌ترین مخاطرات جهانی است که سبب خسارت‌های زیادی به بخش کشاورزی، شیلات، مسکن و زیرساخت‌ها می‌شود و به شدت روی فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی تأثیر می‌گذارد [۱]. رخداد سیل یکی از سه بلایای طبیعی اصلی ایران است و به جرئت می‌توان گفت که سالانه حداقل در یک نقطه از این سرزمین سیل درخور توجهی رخ می‌دهد. براساس مطالعات انجام‌شده، سالانه حدود ۴۰ رخداد کوچک و بزرگ در همه‌ی نقاط کشور رخ می‌دهد [۲]. به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص از جمله اقلیم خشک و نیمه‌خشک، رگبار شدید، وجود کوهستان‌های متعدد با شیب تند و اراضی غیرقابل نفوذ، شرایط را برای سیل کاملاً فراهم کرده است. بیشتر مناطق ایران با قرار گرفتن در مرکز پرفشار جنب حاره‌ای طی ماه‌های متوالی از ریزش‌های جوی محروم هستند و در ماه‌های دیگر سال میزان درخور توجهی باران در مدت چند روز یا گاهی چند ساعت ریزش می‌کند و سیل‌های مخربی را به وجود می‌آورد [۳].

حوضه آبخیز مرند از توابع استان آذربایجان شرقی جزء مناطقی است که در سال‌های گذشته سیل‌های فراوانی در آن رخ داده است و خسارت‌های زیادی به بخش‌های مختلف اعم از اراضی کشاورزی، اراضی باغی، دام‌ها، مناطق سکونت‌گاهی و زیرساخت‌ها شامل جاده‌ها و پل‌ها و... وارد کرده است. با بررسی‌های صورت‌گرفته در دفتر حفاظت و مهندسی رودخانه‌ها و سواحل مستقر در سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی، مشخص شد که از سال ۱۳۸۲ تا سال ۱۳۹۵ تعداد ۵۱ واقعه سیل در مناطق مختلف و گاه به‌دفعات روی داده است. با توجه به آمار و ارقام ثبت‌شده وقوع سیل طی سالیان اخیر و اینکه بیشتر مناطقی که سیل در آنها رخ داده است کوهستانی و بدون آمارهای هیدرولوژیکی هستند، لازم است ارزیابی دقیقی از این منطقه از نظر مخاطره سیل صورت گیرد و مناطق در معرض خطر سیل مشخص شوند.

امروزه، استفاده از علوم جدید به‌ویژه تکنیک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا ارزیابی سریع و نسبتاً دقیقی از پتانسیل مخاطرات طبیعی از جمله سیل داشته باشند. بنابراین، تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای شناسایی مناطق سیل‌خیز، تعیین گستره سیل، پهنه‌بندی مناطق

سیل‌گیر و برآورد خسارت‌های واردشده به انواع کاربری‌ها در سطح وسیعی استفاده می‌شوند [۴]. تهیه نقشه‌های بهینه مخاطره سیل به وسیله سیستم اطلاعات جغرافیایی از طریق ادغام لایه‌های فضایی مؤثر در ایجاد سیل (به طور مثال، ارتفاع، رواناب، کاربری اراضی و غیره) صورت می‌پذیرد [۵] و [۶]. از آنجا که بیشتر حوضه‌های کشور آمارهای ثبت‌شده ندارند و هم‌زمان سیل‌های مخرب در آنها اتفاق می‌افتد، لازم است با استفاده از مدل‌ها و روش‌های تجربی و اطلاعات کسب‌شده با بهره‌گیری از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه‌های مخاطره سیل در مناطق مختلف تهیه شود. با تعیین محل دارای پتانسیل زیاد مخاطره سیل به نوعی می‌توان یک ارزیابی کلی از وضعیت سیل‌گیری منطقه به دست آورد و در صورت لزوم راهکارهای مدیریتی بهینه و اثربخش برای مدیریت این مخاطره جدی اعمال کرد.

مطالعات زیادی در زمینه بررسی جنبه‌های مختلف سیل در ایران و جهان صورت گرفته است که به چند مورد اشاره می‌شود: در پژوهشی با استفاده از مدل منطق فازی، خطر سیل شهر کرج با لایه‌های به کار گرفته‌شده شامل شیب، خاک، ژئومورفولوژی، کاربری اراضی، انحنای طولی و عرضی جریان، بارش، تراکم زهکشی، فاصله از رودخانه و لایه زمین‌شناسی پهنه‌بندی شد. نتیجه پژوهش یادشده نشان داد سطوح با خطر بسیار زیاد در قسمت‌های جنوب غربی و جنوب شرقی منطقه مطالعه‌شده وجود دارد [۷]. در پژوهش دیگری با استفاده از مدل منطق فازی در محیط GIS، پتانسیل سیل‌گیری و سیل‌خیزی در حوضه قوری‌چای با استفاده از توابع عضویت منطق فازی پهنه‌بندی شد. در پژوهش یادشده نشان داده شد که در این حوضه، پهنه‌های با خطر بسیار زیاد در پایین‌دست و شامل نواحی کم‌شیب، سطوح همگرا با پروفیل مقعر، نواحی پست و حاشیه رودخانه هستند [۸]. در مطالعه‌ای کارایی روابط تجربی برآورد دبی اوج سیل را در مناطق بیابانی ایران مرکزی با استفاده از روش فولر و آمار ۳۱ ساله در ۱۰ ایستگاه هیدرومتری بررسی شد. تحلیل‌های اولیه نشان داد در این محدوده اقلیمی وسیع با کیفیت آماری ضعیف کارایی ندارد، ولی در محدوده‌های اقلیمی نیمه‌خشک، نیمه‌مرطوب و مرطوب از کارایی نسبتاً بیشتری برخوردار است [۹]. با استفاده از مدل منطق فازی در محیط GIS، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری در منطقه خیاوچای مشکین‌شهر صورت گرفت که نتیجه آن نشان داد

اراضی، نقشه/تیپ خاک، آمار بارندگی و DEM بوده است. در نهایت، نقشه شاخص مخاطره سیل در پنج کلاس تهیه شد و با مقایسه با برداشت‌های میدانی مشخص شد که این مدل حدود ۷۷ تا ۸۱ درصد به واقعیت نزدیک بوده است [۱۵]. در پژوهشی در حوضه نیکوزیای کشور قبرس با هدف تهیه نقشه مخاطره سیل با به‌کارگیری هم‌زمان تصاویر با قدرت تفکیک مکانی خیلی زیاد و نیز استفاده از تحلیل چندمعیاره و تعیین وزن هریک از این عوامل مؤثر در ایجاد سیل اقدام شد و سپس شاخص مخاطره سیل (FHI) محاسبه شده و در نهایت منطقه مطالعه شده در هفت کلاس خطرپذیری سیل طبقه‌بندی شد [۱۶].

در اغلب این پژوهش‌ها به نقشه‌های کاربری اراضی توجه زیادی شده است که با استفاده از انواع تصاویر ماهواره‌ای و با قدرت تفکیک مکانی متفاوت به کار گرفته شده‌اند. هدف بخشی از پژوهش‌های آورده شده برآورد درست و قابل اعتماد از مقدار دبی اوج سیل و نیز بخشی دیگر از پژوهش‌ها به منظور ارزیابی، پهنه‌بندی و تعیین مناطق در معرض مخاطره سیل است. در پژوهش حاضر پس از برآورد رواناب اوج با مدل‌سازی روش منطقی در محیط Arc/GIS، از روش آماری در تهیه نقشه مناطق در خطر سیل استفاده می‌شود که مزایای روش یادشده عبارت است از: ۱. به دلیل ادغام روش‌های آماری برآورد قابل اعتمادی از این روش به منظور اجتناب از یک روش صرفاً تجربی وجود دارد؛ ۲. این ادغام به راحتی در Arc/GIS امکان‌پذیر است؛ ۳. قادر خواهد بود هر دو موضوع حساسیت هر سطح کوچک از نظر سیل‌پذیری و مدیریت اضطراری سیل را در نظر بگیرد. این مقوله به مدیران بلاهای طبیعی این امکان را می‌دهد تا مناطق در معرض خطر سیل را مؤثرتر مدیریت کنند؛ ۴. اجازه می‌دهد تا عوامل مؤثر خطر سیل به راحتی در دسترس کارشناسان محلی قرار گیرد [۱۷].

مواد و روش‌ها

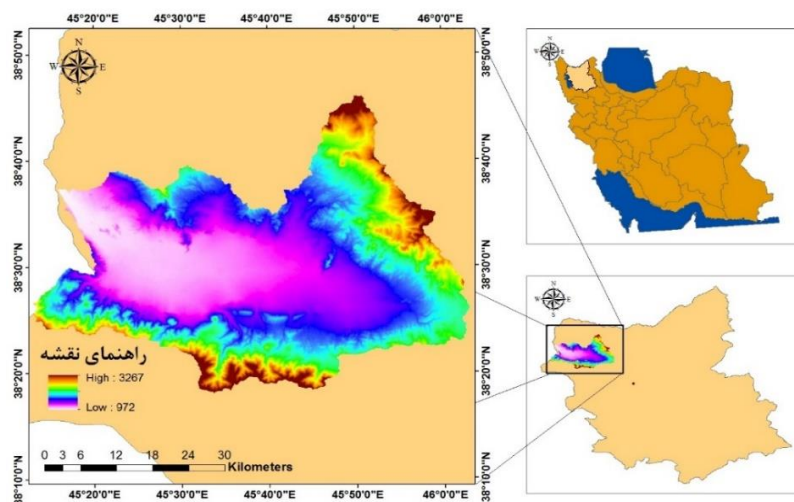
منطقه مطالعه شده

حوضه آبخیز مرند در شمال غرب ایران و دارای موقعیت جغرافیایی $45^{\circ} 10'$ تا $46^{\circ} 10'$ درجه و دقیقه شرقی و $38^{\circ} 15'$ تا $38^{\circ} 45'$ درجه و دقیقه شمالی در استان آذربایجان شرقی واقع شده است. مساحت این حوضه آبخیز حدود 2030 کیلومتر مربع است و بیشترین و کمترین ارتفاع

دره‌ها، خط‌القعرها و مناطق پایین‌دست مؤثرترین سطوح سیل‌گیری حوضه خیاوچای است [۱۰]. در تحقیقی با استفاده از مدل منطق فازی در حوضه قره‌ناو به ارزیابی پتانسیل سیل‌خیزی این منطقه پرداخته شد. داده‌های پژوهش یادشده شامل بارش، خصوصیات مورفولوژیک دامنه، شیب، تراکم زهکشی و فاصله از رودخانه بود و سپس تابع عضویت عملگر فازی گاما اعمال شد. در نهایت، مشخص شد که مناطق جنوبی و شرقی حوضه با حدود ۳۵ درصد مساحت در رده‌های با قابلیت پتانسیل بسیار زیاد و زیاد از نظر سیل‌خیزی قرار می‌گیرند [۱۱]. به منظور پهنه‌بندی ریسک سیل با استفاده از مدل منطق فازی در اصفهان پژوهشی انجام شد و معیارهای مؤثر در ریسک سیل شامل شیب، دبی سیل، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، ارتفاع، زمین‌شناسی و شماره منحنی به روش منطق فازی استفاده شد. از عملگر گاما برای اعمال تابع عضویت استفاده شده و در نهایت ریسک سیل منطقه در پنج طبقه کلاس‌بندی شد. نتایج پژوهش یادشده نشان داد حدود ۳۷ درصد از مساحت منطقه مطالعه شده در کلاس با ریسک زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرد [۱۲]. در پژوهشی به منظور ارزیابی مخاطره سیل و ریسک آن با استفاده از سنجش از دور و GIS در منطقه چامولی کشور هندوستان انجام شد و با استفاده از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در بازه زمانی بین سال‌های ۱۹۷۴ تا ۲۰۱۳، پوشش گیاهی و سایر کاربری اراضی را مشخص کردند و همچنین با استفاده از DEM در محیط GIS، لایه‌های مؤثر در مشخص کردن مناطق در خطر سیل مانند شیب، جهت و لایه ارتفاعی تهیه شد و در نهایت با نمره‌دهی به هریک از لایه‌ها در محیط GIS، نقشه ارزیابی مخاطره و خطر سیل در پنج طبقه تهیه شد [۱۳]. در مطالعه‌ای با هدف مدیریت خطر سیل در کشور غنا با استفاده از مدل منطقی اصلاح‌شده و دوره بارندگی سال‌های ۱۹۵۷ تا ۲۰۱۲ مشخص شد که در ماه مه در این منطقه بیشترین میزان بارش انجام شده است و در پی آن بیشترین رواناب اوج نیز در این ماه بوده است. در نهایت، مشخص شد که با افزایش اراضی ساخته شده، ضریب رواناب و میزان رواناب اوج افزایش خواهد یافت [۱۴]. در پژوهشی با هدف مدل‌سازی سیل برای تهیه نقشه مخاطره سیل در سه منطقه از غرب آفریقا با استفاده از یکپارچه‌سازی مدل منطقی پرداخته شد. داده‌های به‌کار گرفته شده در این پژوهش شامل نقشه کاربری

درجه سانتی‌گراد است. با توجه به تأثیرات بارز توپوگرافیک شاید بتوان اقلیم مرند را از نوع مدیترانه‌ای با ویژگی‌های اقلیم مناطق کوهستانی نیمه‌سرد تلقی کرد [۱۸]. در شکل ۱ نقشه حوضه آبخیز شهرستان مرند مشاهده می‌شود.

منطقه به ترتیب برابر ۳۲۶۷ و ۹۷۲ متر و همچنین ارتفاع متوسط منطقه برابر ۱۵۶۱ متر است. طبق آمارهای سازمان هواشناسی میانگین بلندمدت بارندگی ایستگاه مرند حدود ۳۹۵ میلی‌متر و نیز میانگین دمای سالیانه این منطقه ۱۲/۱



شکل ۱. منطقه مطالعه شده

فیزیکی و هندسی پدیده‌های زمینی ثبت‌شده روی تصویر، سگمنت‌سازی شده و واحدهای پردازش تصاویر از پیکسل به پدیده‌های تصویری یا سگمنت‌ها تغییر می‌یابد و در نتیجه آن با پردازش جامع‌تر این اطلاعات، اشیاء و پدیده‌های دنیای واقعی را با دقت بیشتری می‌توان استخراج کرد. فرایند و نتیجه این نوع از تحلیل تصاویر، در سه بخش قابل تقسیم است که عبارت‌اند از سگمنت‌سازی، طبقه‌بندی فازی و ارزیابی صحت [۲۱]. به منظور سگمنت‌سازی در نرم‌افزار eCognition برای پارامترهای Shape, Scale Parameter و Compactness به ترتیب مقادیر ۵۰؛ ۰/۱ و ۰/۵ لحاظ شد و برای انجام طبقه‌بندی فازی از عملگرهای AND و OR استفاده شد. منطقه مطالعه‌شده به هفت کلاس کلی از نظر پوشش/کاربری اراضی شامل مراتع فقیر، مراتع خوب، اراضی ساخته‌شده، نمکزار، اراضی زراعی، پهنه‌های آبی و اراضی باغی تقسیم شد. ضریب کاپا و دقت کلی نقشه در طبقه‌بندی انجام‌شده به ترتیب برابر ۹۱ و ۹۳/۵ درصد تعیین شد. شکل ۲ نقشه طبقه‌بندی پوشش/کاربری اراضی منطقه مطالعه‌شده را نشان می‌دهد.

نقشه بافت خاک

خصوصیات خاک می‌تواند با یک عامل هیدرولوژیکی بیان

داده‌های استفاده‌شده

نقشه پوشش/کاربری اراضی

در پژوهش حاضر به منظور تهیه نقشه پوشش/کاربری اراضی از تصاویر ماهواره Sentinel 2A با قدرت تفکیک مکانی ۱۰، ۲۰ و ۶۰ برای باندهای مختلف استفاده شده است. تعداد باندهای آن ۱۳ عدد است. با توجه اینکه فراوانی سیل‌های منطقه در ماه‌های مرداد و اردیبهشت است [۱۹]، تصویر مد نظر مربوط به تاریخ ۱۳۹۵/۵/۲۵ است که از سایت <https://scihub.copernicus.eu> برداشت شده است. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بر اساس اطلاعات طیفی محدودیتی‌هایی دارد، بنابراین برای افزایش دقت طبقه‌بندی باید از منابع اطلاعات دیگری استفاده شود [۲۰]. در پژوهش حاضر از روش طبقه‌بندی شیء‌گرا استفاده شد و قبل از انجام مراحل مختلف آن تصویر تهیه‌شده با استفاده از پلاگین SCP^۱ نرم‌افزار QGIS تصحیح اتمسفری شد تا آثار منفی اتمسفری در تصویر از بین برود. به منظور افزایش دقت طبقه‌بندی در پردازش شیء‌گرای تصویر علاوه بر اطلاعات طیفی از اطلاعات مربوط به بافت و شکل نیز استفاده شده است، چرا که در این روش تصویر براساس پارامترهای طیفی،

1. Semi-Automatic Classification Plugin

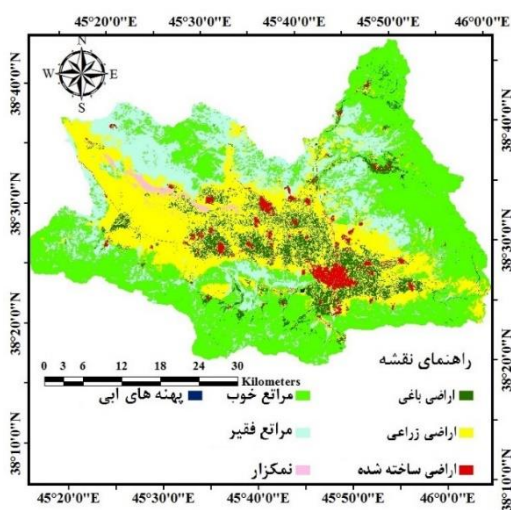
Aster ماهواره TERRA با قدرت تفکیک مکانی حدود ۳۰ متر استفاده شده است. در شکل ۴ نقشه طبقات ارتفاعی منطقه مطالعه شده در پنج کلاس آورده شده است. نقشه شیب

به منظور تهیه نقشه شیب در پژوهش حاضر نیز از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متری سنجنده Aster استفاده شده است. در مجموع، این منطقه به مناطق کم‌شیب در مناطق دشتی و مناطق پرشیب در مناطق کوهستانی تقسیم می‌شود. در شکل ۵ نقشه شیب منطقه در سه کلاس و بر حسب درصد طبقه‌بندی و نمایش داده شده است.

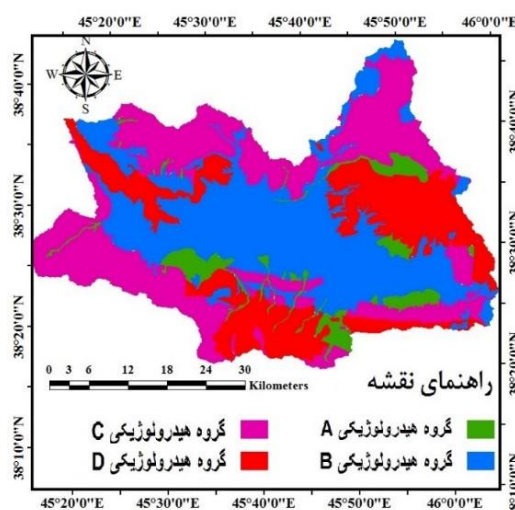
شود که آن، کمترین سرعت نفوذپذیری در حالت مرطوب بودن طولانی مدت خاک است. همه خاک‌ها بر اساس توان ایجاد رواناب، به چهار گروه تقسیم می‌شوند. در جدول ۲ شدت نفوذ در گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و سایر مشخصات هر یک از گروه‌ها آورده شده است [۲۲]. در پژوهش حاضر با استفاده از تجمیع و تحلیل گزارش‌ها و نقشه‌های بافت خاک تهیه شده توسط ارگان‌های مختلف استان آذربایجان شرقی، نقشه بافت خاک منطقه تهیه شد که این نقشه در شکل ۳ نمایش داده شده است.

نقشه طبقات ارتفاعی

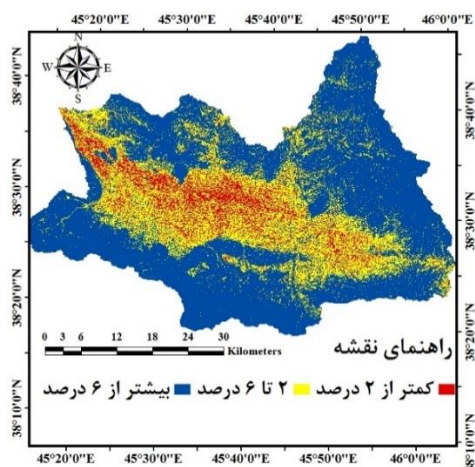
در پژوهش حاضر از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) سنجنده



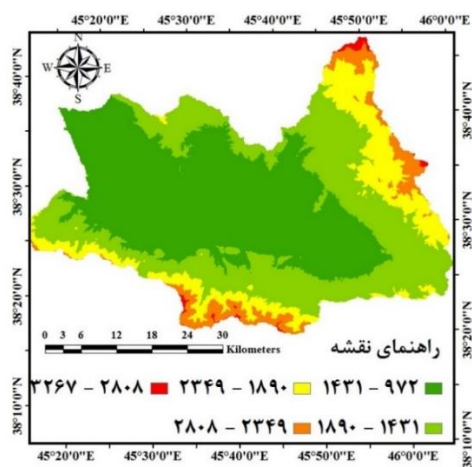
شکل ۳. نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک



شکل ۲. نقشه طبقه‌بندی پوشش/کاربری اراضی



شکل ۵. نقشه شیب منطقه



شکل ۴. نقشه طبقات ارتفاعی

شدت بارندگی

بارش‌های رگباری همراه با رعد و برق در منطقه شمال غرب ایران به دلیل آثار مهم و اغلب فاجعه‌باری که روی مردم و محیط طبیعی به وجود می‌آورند به عنوان یک فاکتور مهم اقلیمی به حساب می‌آیند. در منطقه شمال غرب کشور تا ارتفاع ۲۴۰۰ متری بارش‌های تندری افزایش می‌یابد به طوری که پس از این ارتفاع، شدت این نوع بارش‌ها کاهش می‌یابد چنان که بارندگی بیشتر از ۱۲ میلی‌متر به‌ندرت در آن ارتفاعات دیده می‌شود [۲۳]. در منطقه شمال غرب ایران همبستگی زیادی بین مقادیر ارتفاع و مقادیر ایستگاه‌های زمینی برقرار است و عوامل فیزیوگرافیک مانند ارتفاعات (سهند، سبلان و میشو) بر بارش‌های رگباری تأثیر می‌گذارند [۲۴]. در پژوهش حاضر به منظور مشخص شدن شدت بارندگی مناسب برای هر زیرحوضه، زمان تمرکز هر یک از زیرحوضه‌ها بر اساس روش کریچ مطابق رابطه ۱ تعیین شد.

$$tc = 0.0195L^{0.773}S^{-0.285} \quad (1)$$

در رابطه ۱ tc برابر زمان تمرکز حوضه برحسب ساعت، L طول مسیر آبراهه اصلی برحسب کیلومتر و H اختلاف

ارتفاع بلندترین و پایین‌ترین نقطه حوضه است [۲۵]. طول آبراهه اصلی نیز از رابطه ۲ تعیین می‌شود.

$$Lb = 1/312 * A^{0.568} \quad (2)$$

در رابطه یادشده Lb طول آبراهه اصلی برحسب کیلومتر و A مساحت کیلومترمربع است. بر اساس مقادیر محاسبه‌شده مشخص شد که زمان تمرکز زیرحوضه‌ها حدود یک ساعت است. در ادامه، پس از مطالعه داده‌های رگبار ثبت‌شده با دوره زمانی ۱۱ ساله شامل سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۴ در ایستگاه‌های آب منطقه‌ای شامل شهرهای مرند، جلفا، ورزقان، شبستر و خوی استخراج وقایع بارندگی یک‌ساعته از روی منحنی‌های شدت - مدت بارندگی ثبت‌شده انجام گرفت.

به دلیل نبود توزیع مکانی ایستگاه‌های ثبات بارندگی، به‌خصوص در مناطق کوهستانی، مطابق نتایج پژوهش‌های انجام‌شده درباره بارندگی‌های رگباری شمال غرب ایران [۲۳]. از روش درون‌یابی جبری برحسب مقادیر ارتفاعی استفاده شد. مطابق جدول ۱ بیشترین شدت بارندگی یک‌ساعته به همراه موقعیت جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها به منظور انجام عملیات درون‌یابی جبری تهیه شد.

جدول ۱. بیشترین شدت بارندگی یک‌ساعته

نام ایستگاه	بیشترین شدت بارندگی یک‌ساعته	ارتفاع	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
جلفا	۱۳/۲۴	۷۱۲	۳۸° ۹۳'	۴۵° ۶۱'
مرند	۱۲/۵۴	۱۳۷۵	۳۸° ۴۱'	۴۵° ۷۶'
ورزقان	۱۹/۴۵	۱۶۷۵	۳۸° ۵۰'	۴۶° ۶۳'
شبستر	۱۲/۴۴	۱۴۴۰	۳۸° ۱۶'	۴۵° ۷۰'

به‌دست‌آمده از مدل هیدرولوژیکی که با دخالت فاکتورهای نظیر توپوگرافی (DEM) برای تعیین شدت خطر سیل در منطقه مطالعه‌شده تلفیق می‌شود. در نهایت، با تعریف کلاس به منظور طبقه‌بندی روی نقشه خطر شدت سیل، شاخص خطر سیل (FHI) برای مناطق در خطر سیل تعیین می‌شود [۱۵].

تعیین رواناب اوج با استفاده از مدل منطقی

در پژوهش حاضر برای محاسبه دبی حداکثر رواناب از این مدل استفاده شد که مطابق رابطه ۴ ارائه شده است.

$$Qp = 0.28 * C * I * A \quad (4)$$

در رابطه یادشده، Qp برابر میزان رواناب اوج برحسب مترمکعب بر ثانیه، C، ضریب رواناب است، I، شدت بارندگی برحسب میلی‌متر بر ساعت و A، مساحت منطقه زهکشی برحسب کیلومترمربع است [۲۱].

به منظور تعیین رابطه میزان بارندگی و ارتفاع از رگرسیون خطی مطابق رابط ۳ استفاده شد [۲۶].

$$Y = ax + b \quad (3)$$

در رابطه یادشده a عرض از مبدأ خط و b شیب یا تغییر Y بر حسب تغییر یک واحد از x را نشان می‌دهد.

روش استفاده‌شده در پژوهش

تلفیق مدل هیدرولوژیکی و آماری در GIS

برای تهیه نقشه فضایی مناطق در معرض مخاطره سیل با تفکیک مکانی زیاد در سطح زیرحوضه نیاز به تلفیق نتایج به‌دست‌آمده از دو روش یادشده است. ابتدا با استفاده از نسخه اصلاح‌شده مدل هیدرولوژیکی گویا [۲۷] براساس شدت بارندگی، کاربری اراضی و ضریب رواناب حوضه میزان رواناب تعیین می‌شود. سپس، روش آماری در محیط GIS با خروجی

تعیین ضریب رواناب سطحی

ضریب رواناب سطحی، نسبتی از ارتفاع بارندگی است که در سطح زمین جریان می‌یابد و بستگی به عواملی همچون شدت نفوذپذیری خاک، ذخیره چالابی، تراکم پوشش گیاهی (کاربری اراضی)، شدت بارندگی و شیب زمین دارد [۲۲]. مطابق جدول ۲ هم‌پوشانی هر یک از عوامل یادشده ضریب رواناب مناطق مختلف تعیین می‌شود [۲۸].

مدل‌سازی آماری سیل

نقشه رواناب اوج با لایه ارتفاعی برای تهیه نقشه شدت مخاطره سیل ترکیب می‌شود و البته لازم است قبل از ترکیب دو لایه اطلاعاتی رواناب اوج و ارتفاع به واحدهای خود یعنی مترمکعب بر ثانیه برای رواناب اوج و متر برای ارتفاع، استانداردسازی شوند. با توجه به اینکه پدیده‌هایی نظیر سیلاب تحت تأثیر عوامل بسیاری قرار دارند و این عوامل قطعی و ۱۰۰ درصدی نیستند، بهتر است در مطالعه چنین پدیده‌هایی به جای استفاده از مدل بولین که لازمه آن داده‌های دقیق و کمی است، از مدل منطق فازی استفاده شود. با استفاده از نظریه فازی می‌توان متغیرهای مبهم را به شکل ریاضی درآورد. در مدل فازی هر عضو هم‌زمان در مجموعه‌های مختلف ولی به درجات متفاوت عضویت دارد. درجات عضویت مقادیر بین صفر و یک و نیز خود این دو حد را شامل می‌شود [۲۹]. با استفاده از تئوری نظریه‌های فازی، قبل از ترکیب کردن لایه‌ها، استانداردسازی آنها در مقیاس‌های قابل مقایسه انجام می‌شود [۳۰]. استانداردسازی لایه‌های یادشده با استفاده از تابع عضویت خطی^۱ در نرم‌افزار Arc/GIS انجام می‌گیرد، به صورتی که این تابع، عضویت فازی را بر اساس یک حداکثر با عضویت فازی و یک حداقل با عضویت فازی صفر تعریف می‌کند. به کمترین مقدار اوج رواناب، ارزش صفر به معنای بدون تابع عضویت و یا احتمال کم جاری شدن سیل داده می‌شود، در حالی که به بیشترین مقادیر اوج رواناب، ارزش یک به معنای عضویت کامل یا با بیشترین احتمال جاری شدن سیل داده می‌شود. سایر مقادیر رواناب اوج بین درجه عضویت صفر تا یک قرار می‌گیرند. این قضیه برای لایه ارتفاع معکوس است زیرا مناطق با ارتفاع کم احتمال بیشتر، ولی مناطق با ارتفاع زیاد، احتمال کمتری در وقوع سیل دارند [۱۵].

تهیه نقشه توزیعی شدت مخاطره سیل

برای تولید نقشه شدت خطر سیل در ارتفاعات مختلف، لایه‌های استاندارد شده ارتفاع و رواناب اوج با استفاده از روش ترکیب وزن خطی تلفیق می‌شوند [۳۱]. این کار با استفاده از معادله شاخص مخاطره سیل یا FHI^۲ در محیط نرم‌افزار Arc/GIS و با مشخص کردن وزن هر یک از لایه‌ها صورت می‌گیرد. مجموع وزن همه لایه‌ها باید برابر یک بشود و در این پژوهش به هر یک از لایه‌های ارتفاع و رواناب اوج، امتیاز ۰/۵ داده می‌شود. معادله شاخص مخاطره سیل به صورت رابطه ۵ است:

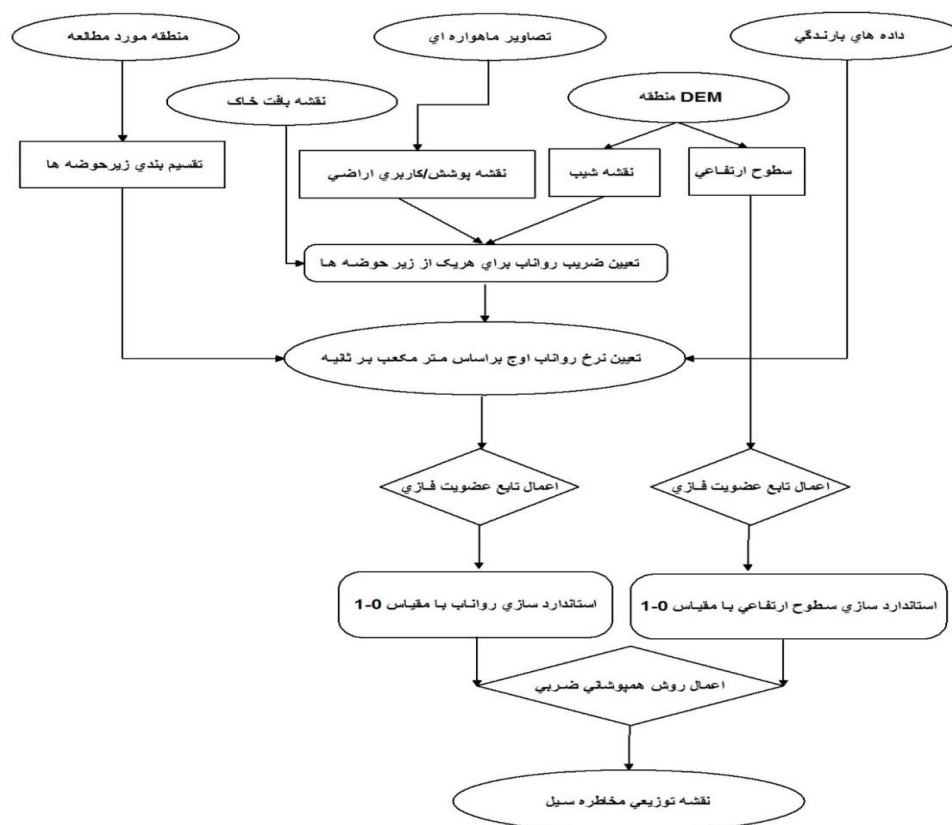
$$FHI = \sum_{i=1}^n \cdot \Delta (DEM) + 0.5 X (PEAK RUNOFF) \quad (5)$$

or $FHI = \sum_{i=1}^n W_i X_i$

در معادله ۵، FHI، شاخص مخاطره سیل، X_i ، لایه استاندارد شده نام، W_i ، وزن هر یک از لایه نام و n تعداد لایه‌های استاندارد ترکیب شده است. از آنجا که وزن لایه‌های استاندارد در محدوده بین صفر تا یک است، در نتیجه ارزش پیکسل‌های خروجی نقشه مخاطره سیل نیز در این بازه قرار می‌گیرد. سپس، برای مشخص کردن مناطق با خطر زیاد و مناطق با خطر کم سیل طبقه‌بندی در نرم‌افزار Arc/GIS صورت می‌پذیرد [۱۵]. در مطالعه حاضر از روش‌های آماری در دو مرحله استفاده می‌شود. در مرحله اول روش‌های استاندارد آماری مختلف برای به دست آوردن شاخص مخاطره سیل به کار برده می‌شود. در مرحله دوم روش‌های آماری با استفاده از اصول سیستم اطلاعات جغرافیایی مشارکتی یا PGIS برای ارزیابی نتیجه نقشه‌های سیل ترکیب می‌شوند [۱۵]. در گام اول با استفاده از مدل منطقی، ارزش هر یک از عوامل مؤثر در دبی اوج سیل محاسبه می‌شود. این عوامل مؤثر شامل پوشش زمین/ کاربری اراضی، بافت خاک، نقشه شیب، ارتفاع و منطقه زهکشی است [۱۷]. سپس، با استفاده از روش‌های آماری میزان رواناب در ارتفاعات مختلف قبل از به کار بردن روش‌های استاندارد برای تعیین مناطق در مخاطره سیل تعیین می‌شود [۱۵]. شکل ۶ فلورچارت پژوهش را نشان می‌دهد.

جدول ۲. تعیین ضرایب رواناب

پوشش / کاربری اراضی	گروه هیدرولوژیکی خاک (A) شیب به درصد			گروه هیدرولوژیکی خاک (B) شیب به درصد			گروه هیدرولوژیکی خاک (C) شیب به درصد			گروه هیدرولوژیکی خاک (D) شیب به درصد		
	<٪۰.۲	۰.۲-٪۰.۶	>٪۰.۶	<٪۰.۲	۰.۲-٪۰.۶	>٪۰.۶	<٪۰.۲	۰.۲-٪۰.۶	>٪۰.۶	<٪۰.۲	۰.۲-٪۰.۶	>٪۰.۶
ساخته شده	۰/۱۶۵	۰/۱۶۷	۰/۱۶۹	۰/۱۶۶	۰/۱۶۸	۰/۱۷۰	۰/۱۶۸	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۶۹	۰/۱۷۲	۰/۱۷۵
زراعی	۰/۱۱۴	۰/۱۱۸	۰/۱۲۲	۰/۱۱۶	۰/۱۲۱	۰/۱۲۸	۰/۱۲	۰/۱۲۵	۰/۱۳۴	۰/۱۲۴	۰/۱۲۹	۰/۱۴۱
باغی	۰/۱۰۸	۰/۱۱۱	۰/۱۱۴	۰/۱۱	۰/۱۱۴	۰/۱۱۸	۰/۱۱۲	۰/۱۱۶	۰/۱۲	۰/۱۱۵	۰/۱۲	۰/۱۲۵
مراتع فقیر و شورهزار	۰/۱۱۵	۰/۱۲۵	۰/۱۳۷	۰/۱۲۳	۰/۱۳۴	۰/۱۴۵	۰/۱۳۰	۰/۱۴۲	۰/۱۵۲	۰/۱۳۷	۰/۱۵۰	۰/۱۶۲
مراتع خوب	۰/۱۱۴	۰/۱۲۲	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۲۸	۰/۱۳۷	۰/۱۲۶	۰/۱۳۵	۰/۱۴۴	۰/۱۳۰	۰/۱۴۰	۰/۱۵



شکل ۶. فلوجارت پژوهش

نقشه‌های پوشش/کاربری اراضی و بافت خاک ابتدا از حالت وکتوری به رستری تبدیل شدند و سپس به همراه نقشه شیب، پیکسل سایز همه آنها به صورت 10×10 هم‌سایز شد. در ادامه، با استفاده از منطق بولین (صفر و یک) هر یک از کلاسه‌های موجود در این نقشه‌های هم‌سایز شده از یکدیگر جدا شدند. به منظور هم‌پوشانی لایه‌های مختلف تهیه شده از مدل‌ساز^۱ نرم‌افزار Arc/GIS استفاده شد و در نهایت با اعمال تجميع همه خروجی‌های تولید شده، ضریب

یافته‌ها و نتایج پژوهش

به منظور تعیین زیرحوضه‌ها از DEM سنجنده Aster و الحاقی Arc/Hyrdo استفاده شد که طی آن منطقه به ۵۸ زیرحوضه با مساحت حدود کمتر از یک هزار و حداکثر پنج هزار هکتار تقسیم‌بندی شد.

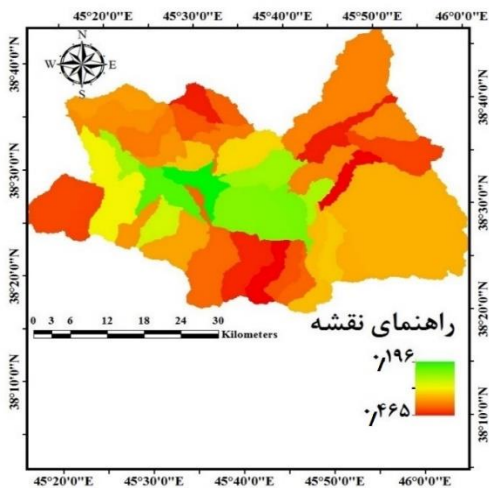
محاسبه ضریب رواناب

محاسبه ضریب رواناب در دو مرحله اصلی انجام شده است و شامل آماده‌سازی لایه‌ها و سپس اعمال هم‌پوشانی ضریبی آنهاست. به منظور هم‌پوشانی دقیق لایه‌ها، هر یک از

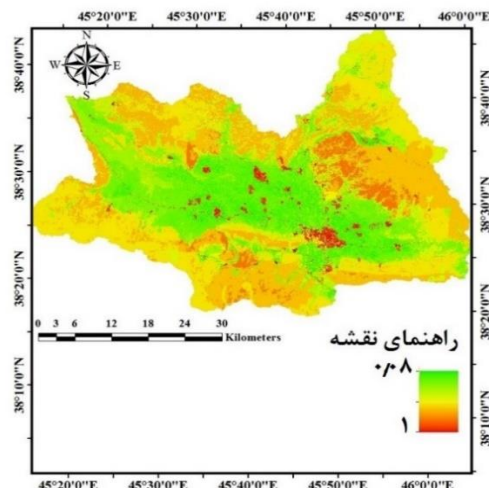
1. Model Builder

زیرحوضه با استفاده از مدل منطقی، لایه‌های ضریب رواناب، شدت بارندگی و مساحت هر یک از زیرحوضه‌ها در هم ضرب شدند. میزان رواناب به‌دست‌آمده برای هر زیرحوضه جدول ۳ آورده شده است.

رواناب کل حوضه مطابق شکل ۷ تهیه شد. در شکل ۸ مقادیر هر زیرحوضه نمایش داده شده است. به منظور تعیین میزان رواناب اوج در سطح هر



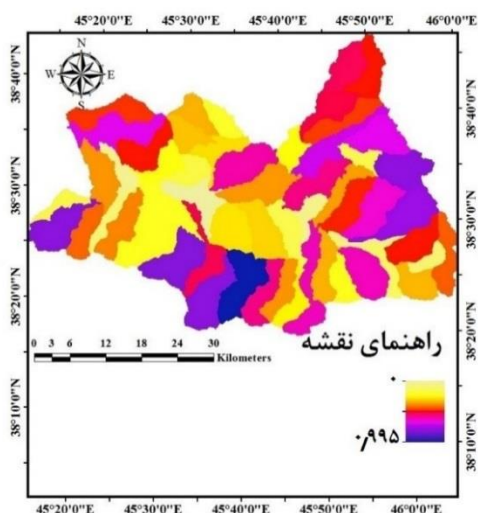
شکل ۸. ضریب رواناب هر زیرحوضه



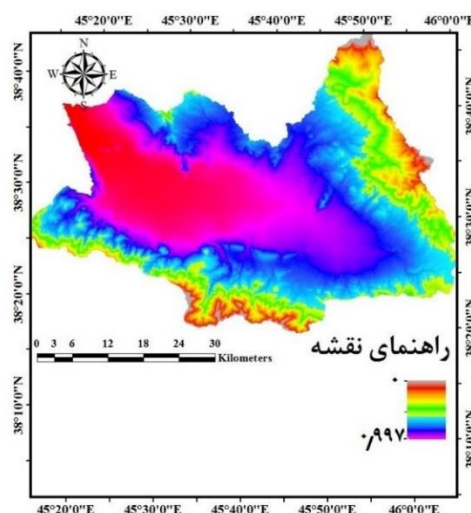
شکل ۷. نقشه ضریب رواناب منطقه

جدول ۳. حجم رواناب اوج (مترمکعب)

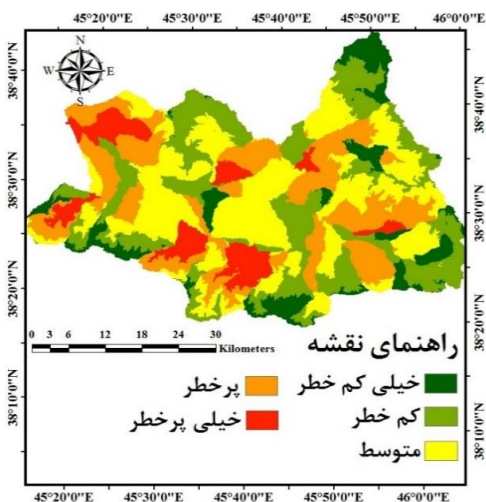
زیر حوضه	حجم	زیر حوضه	حجم رواناب	زیر حوضه	حجم رواناب
۱	۶۷/۰۱	۲۱	۵۵/۵۵	۴۱	۷۶/۲۶
۲	۸۹/۱	۲۲	۵۸/۸۲	۴۲	۳۵/۶۱
۳	۵۳/۶۱	۲۳	۴۹/۵۹	۴۳	۳۷/۴۸
۴	۹۱/۱	۲۴	۲۳/۹۵	۴۴	۲۷/۸۲
۵	۶۸/۹۵	۲۵	۳۵/۱۸	۴۵	۷۱/۱۹
۶	۴۱/۲۱	۲۶	۵۳/۳۰	۴۶	۸۵/۱۲
۷	۵۶/۶۴	۲۷	۴۷/۶۰	۴۷	۶۸/۳
۸	۴۷/۹۶	۲۸	۱۲/۴۵	۴۸	۹۸/۳۶
۹	۵۱/۳۵	۲۹	۱۰۵/۱۵	۴۹	۱۸/۴۳
۱۰	۱۰۰/۰۳	۳۰	۶۲/۱۶	۵۰	۲۶/۳۸
۱۱	۸۹/۳۶	۳۱	۴۲/۷۱	۵۱	۶۲/۹۷
۱۲	۲۱/۷۷	۳۲	۸۲/۸۹	۵۲	۳۱/۹۳
۱۳	۱۸/۵۶	۳۳	۴۲/۲۷	۵۳	۶۹/۱۸
۱۴	۶۸/۷۸	۳۴	۵۳/۴۹	۵۴	۲۷/۸۹
۱۵	۴۳/۳۹	۳۵	۴۲/۹۳	۵۵	۴۳/۷۸
۱۶	۸۰/۲۰	۳۶	۱۲۱/۰۷	۵۶	۶۶/۶
۱۷	۳۶/۹۷	۳۷	۵۶/۸۶	۵۷	۶۹/۹۲
۱۸	۷۶/۳۱	۳۸	۴۵/۲۳	۵۸	۷۱/۴۷
۱۹	۱۸/۸۶	۳۹	۱۰۲/۴۴		
۲۰	۱۷/۴۲	۴۰	۱۰۱/۵۲		



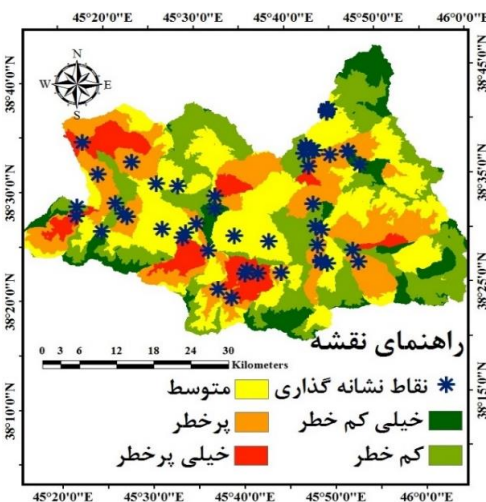
شکل ۱۰. نقشه رواناب اوج



شکل ۹. نقشه فازی شده لایه ارتفاع



شکل ۱۲. نقشه نقاط نشانه گذاری شده



شکل ۱۱. نقشه توزیعی مخاطره سیل حوضه مرند

درباره رواناب اوج این قضیه عکس است، یعنی هرچه رواناب اوج بیشتر باشد، سیل گیری بیشتر است و هرچه رواناب اوج کمتر باشد، این میزان نیز کمتر است. در نتیجه، در تابع عضویت فازی رواناب اوج بیشتر، به سمت عدد یک و رواناب کمتر به سمت عدد صفر میل می کند. شکل ۱۰ نقشه فازی شده رواناب اوج را بین صفر تا یک نشان می دهد.

تهیه نقشه توزیعی مخاطره سیل

برای تولید نقشه شدت خطر سیل در ارتفاعات مختلف، لایه های استاندارد شده ارتفاع و رواناب اوج با استفاده از روش ترکیب وزن خطی تلفیق شدند و این کار با استفاده از

با توجه به اینکه میزان رواناب و ارتفاع در سیل گیری مناطق مختلف با یکدیگر ارتباط دارند، با استفاده از تابع عضویت خطی^۱ مدل منطق فازی این یکپارچه سازی انجام شده است و مقادیر رواناب اوج به دست آمده و نیز ارتفاع با فازی سازی بین صفر تا یک توزیع شدند. درباره لایه ارتفاع باید گفت که هرچه ارتفاع کمتر باشد، سیل گیری بیشتر است و مناطق مرتفع سیل گیری ندارند، بنابراین در تابع عضویت فازی، مناطق با ارتفاع کم به عدد یک و مناطق مرتفع به سمت عدد صفر میل می کنند. شکل ۹ نقشه فازی شده لایه ارتفاع را بین صفر تا یک نشان می دهد.

1. Linear Membership Function

و مسئولان محلی با استفاده از علم، تجربه و حافظه تاریخی از سیل‌های اتفاق افتاده در مناطق مختلف و نیز ویژگی‌های طبیعی هر زیرحوضه کلاس خطرپذیری هر منطقه را تعیین می‌کنند. در پژوهش حاضر با همکاری کارشناسان با سابقه کاری بسیار خوب اداره آب شهرستان مرند و بومیان منطقه، به منظور تعیین میزان صحت نقشه‌های تولیدشده بازدید میدانی شد. در این بازدید، حدود ۵۹ نقطه با استفاده از دستگاه GPS به همراه مشخصات آن یعنی موقعیت و کلاسه خطرپذیری مطابق شکل ۱۲ نشانه‌گذاری شد.

مقایسه نقاط ثبت شده با استفاده از PGIS و نقشه خطرپذیری به دست آمده در محیط با استفاده از ماتریس درهم‌ریختگی^۲ صورت گرفته است و این ماتریس به صورت جدول ۴ آورده شده است. در این ماتریس تعداد مقادیر مشاهده شده کلاسه خطر در هر ستون با مقادیر محاسبه شده در مدل با یکدیگر مقایسه شدند و میزان دقت هر یک از سطرها در ستون صحت، به صورت درصدی آورده شد.

معادله شاخص مخاطره سیل یا FHI در محیط نرم افزار Arc/GIS و با مشخص کردن وزن هر یک از لایه‌ها صورت گرفت. از آنجا که مجموع وزن همه لایه‌ها باید برابر یک شود و رابطه مستقیمی بین میزان رواناب و ارتفاع وجود دارد، در پژوهش حاضر به هر یک از لایه‌های ارتفاع و رواناب اوج در بیشترین شدت بارندگی، وزن ۰/۵ داده شد. در نهایت، لایه‌های رواناب اوج و ارتفاع فازی شده منطقه در ضریب تعیین شده ضرب شده و با یکدیگر جمع شدند. پس از کلاس بندی نقشه تهیه شده در پنج رده، منطقه در سطح زیرحوضه به کلاس‌های بسیار پرخطر، پرخطر، متوسط، کم خطر و بسیار کم خطر تقسیم شد. شکل ۱۱ نقشه مخاطره سیل را نشان می‌دهد.

صحت‌سنجی نقشه مخاطره سیل تهیه شده

با هدف تعیین دقت مدل سازی انجام شده در پژوهش حاضر، سیستم اطلاعات جغرافیایی مشارکتی^۱ یا PGIS برای صحت‌سنجی نقشه‌های نهایی شدت مخاطره سیل حوضه مرند استفاده شده است. در این نوع صحت‌سنجی کارشناسان

جدول ۴. ماتریس درهم‌ریختگی برآورد صحت نقشه کلاسه خطر

صحت (%)	مجموع	بسیار کم خطر	کم خطر	متوسط	پرخطر	بسیار پرخطر	کلاس‌های خطرپذیری
۱۰۰	۱۰	۰	۰	۰	۰	۱۰	بسیار پرخطر
۷۹/۱۶	۲۴	۰	۰	۵	۱۹	۰	پرخطر
۸۰	۱۵	۰	۳	۱۲	۰	۰	متوسط
۸۰	۵	۱	۴	۰	۰	۰	کم خطر
۱۰۰	۵	۵	۰	۰	۰	۰	بسیار کم خطر
۸۷/۸۳	۵۹	۵	۵	۱۷	۱۹	۱۰	مجموع

هرچه دقت تصویر و همچنین نقشه تهیه شده گروه‌های هیدرولوژیک خاک و نقشه شیب استفاده شده بیشتر باشد، نتایج به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود. با مجزا کردن هر یک از کلاسه‌های نقشه‌های یادشده با استفاده از منطق بولین، همه لایه‌ها وارد مدل ساز GIS شدند و با استفاده از ضریب رواناب تعریف شده آورده شده در جدول، ضریب رواناب هر زیرحوضه مشخص شد و در نهایت رواناب اوج برای هر زیرحوضه با شدت بارندگی در سطح زیرحوضه‌ها محاسبه شد. سپس، با استفاده از تابع عضویت خطی در مدل منطق فازی، مقادیر ارتفاعی و اوج رواناب به دست آمده فازی سازی شدند و با اعمال ضرب وزن‌های تعیین شده برای هر یک از لایه‌های یادشده

با توجه به نتایج صحت‌سنجی هر یک از کلاسه‌ها، میانگین کل همه کلاس‌ها تعیین و مشخص شد که دقت نقشه‌های خطرپذیری تهیه شده ۸۷/۸۳ درصد است.

بحث

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی منطقه‌ای مخاطره سیل حوضه آبخیز مرند در مقیاس زیرحوضه صورت گرفته است. در پژوهش حاضر با استفاده از تصاویر ماهواره Sentinel 2A با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر انواع پوشش/کاربری اراضی منطقه مطالعه شده با دقت زیادی تهیه شد. چرا که بدیهی است که برای به دست آوردن ضریب رواناب حوضه با دقت زیاد

2. Confusion Matrix

1. Participatory Geographical Information System

- [5].Nyarko BK. Application of a rational model in GIS for flood risk assessment in Accra, Ghana. *Journal of Spatial Hydrology*. 2002 Jun 7;2(1).
- [6].Moel HD, Alphen JV, Aerts JC. Flood maps in Europe-methods, availability and use.
- [7].Ghanavati, E, Flood risk zoning in Karaj using fuzzy logic. *Geography and environmental hazards*. 2013; 8; 113-131(Persian).
- [8].Nazmfar, H, Beheshti Javid, A, Fathi, M H, Potential flooding and flood risk zonation using fuzzy logic model (Case study: ghuri chay river catchment). *Second International Conference on Environmental Hazards, 7th and 8th of November, Kharazmi Faculty of Tehran, 2013: pp 9*(Persian).
- [9].Dastourani, M, Hayatzadeh, M, Fathzadeh, A, Hakimzadeh, M A. Investigating the Efficiency of Empirical Relationships in Estimating Flood peak in desert areas of Central Iran. *Geography and Development Magazine*. 2014; 36; 145-160
- [10]. Ghanavati, A, Babaei Aghdam, F, Hemmati, T, Rahimi, M. Flood Potential Zoning Using Fuzzy Logic Model in GIS Environment (Case Study of Khayavchi Meshkinshshahr River Basin), *Hydrogeomorphology Journal*. 2015; 3; 121-135(Persian).
- [11]. Beheshti Javid, A, Amani, S, Shahi Boyaghchi, M. Assessing the flood potential of the Karnawah River using the fuzzy logic model, the first international congress on land, space and clean energy. 2015: pp7 (Persian).
- [12]. Sadeghi Goghari, M, Eskandari Damaneh, H, AZareh, A, Flood risk zoning using fuzzy logic. Case study, Isfahan, 7th International Conference on Integrated Management of Crisis, Tehran, Permanent Secretariat of the International Conference on Integrated Management of the Crisis. 2015: pp 10(Persian).
- [13]. Bhatt GD, Sinha K, Deka PK, Kumar A. Flood hazard and risk assessment in Chamoli District, Uttarakhand using satellite remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2014 Aug;3(8):9.
- [14]. Asumadu-Sarkodie S, Owusu PA, Jayaweera MP. Flood risk management in Ghana: A case study in Accra. *Advances in Applied Science Research*. 2015 May 4;6(4):196-201.
- [15]. Asare-Kyei D, Forkuor G, Venus V. Modeling flood hazard zones at the sub-district level with the rational model integrated with GIS and remote sensing approaches. *Water*. 2015 Jul 6;7(7):3531-64.

مطابق شاخص مخاطره سیل (FHI)، نقشه نهایی مخاطره سیل منطقه مطالعه شده در پنج کلاس خطرپذیری شامل بسیار کم خطر، کم خطر، متوسط، پرخطر و بسیار پرخطر تعیین شد. با مقایسه نتایج کلاس‌های تعیین شده و مقادیر ثبت شده در بازدید میدانی با استفاده از دستگاه GPS و روش GIS، ماتریس درهم‌ریختگی تهیه شد و دقت نقشه‌های تهیه شده را ۸۷/۸۳ درصد نشان داد. مدل سازی آماری سیل در زیرحوضه‌های بدون آمار حوضه مرند با کمک مدل منطق فازی و شاخص مخاطره سیل، دقت قابل قبولی از وضعیت خطرپذیری و سیل‌گیری زیرحوضه‌های مختلف به نمایش گذاشت و با عنایت به اینکه از یک طرف حوضه یادشده از جمله مناطق در خطر سیل در استان آذربایجان شرقی است و از طرف دیگر، وسعت نسبتاً زیادی دارد و همه‌ساله متحمل خسارت‌های فراوان در بخش‌های مختلف مسکونی، اراضی باغی، اراضی زراعی و غیره می‌شود. نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر می‌تواند به منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با هدف اعمال مدیریت صحیح حوضه‌های آبخیز و نیز شناخت درست مناطق دارای خطر بیشتر و مناطق امن‌تر و بالابردن سطح بهره‌وری ناشی از هزینه‌کردهای مدیریتی، بیولوژیک و سازه‌ای بسیار حائز اهمیت باشد و این مهم می‌تواند در کاهش آثار تخریبی سیل و آسیب‌پذیری مناطق در معرض خطر سیل کمک شایانی بکند.

منابع

- [1].Chang LF, Lin CH, Su MD. Application of geographic weighted regression to establish flood-damage functions reflecting spatial variation. *Water Sa*. 2008 Feb;34(2):209-16.
- [2].Ahmadi Iekhchi, A, Haj Abasi, M, Jalalian, A. The Effect of Rural Areas and Land Use Change on Runoff Production, *Journal of Agricultural Science and Natural Resource*. 2002; 6; 25-36(Persian).
- [3].Malekian, A, Oftadegan khozani, A, Ashourzad, Gh. Flood Hazard Zoning in Watershed Scale using Fuzzy Logic (Case study: Akhtar Abad Watershed). *Journal of Natural Geography Research*. 2012; 4:44; 131-152 (Persian).
- [4].Beroshke, A, Sokouti, R, Montaseri, M, Ghahremani, A, Investigating the phenomenon of flood and its zoning using satellite imagery. *Seventh International River Engineering Workshop*. University of Shahid Chamran. 2006, pp 8(Persian).

- [16]. Franci F, Bitelli G, Mandanici E, Hadjimitsis D, Agapiou A. Satellite remote sensing and GIS-based multi-criteria analysis for flood hazard mapping. *Natural Hazards*. 2016 Oct 1;83(1):31-51.
- [17]. El Morjani ZE. Methodology document for the WHO e-atlas of disaster risk. Exposure to natural hazards Version. 2011;2.
- [18]. Bibak, Gh H, Investigating the characteristics of rainfall in Marand city, *Geographic Space Magazine*. 2008; 8:21; 67-839(Persian).
- [19]. Almaspour, F, Hafezi Zadeh, S, GIS zoning vulnerability zoning using GIS, remote sensing and multi-criteria evaluation method, a case study of Marand city, the 2nd National Conference on Crisis Management, the role of new technologies in reducing the vulnerability of accidental accidents. 2012: pp 8 (Persian).
- [20]. Chen M, Su W, Li L, Zhang C, Yue A, Li H. Comparison of pixel-based and object-oriented knowledge-based classification methods using SPOT5 imagery. *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*. 2009 Mar 1;3(6):477-89.
- [21]. Feizizadeh, B, Jafari, F, Nazmfar, H. Application of Remote Sensing Data in Detection of Land Use Change, *Fine Arts Magazine*. 2008; 34; pp 20 (Persian).
- [22]. Mahdavi, M, *Applied Hydrology*, Vol. 2, Tehran University Press. 2013 (Persian).
- [23]. Modeling the spatial distribution of lightning and thunder storms using satellite images in the northwest of the country. Master thesis, Department of Natural Geography, Tabriz University. 2007(Persian).
- [24]. Valizadeh Kamran, Kh, Nasiri Ghaleh Bin, S, Investigation of Thunderstorm Rainfall in the Highlands of the Northwest of Iran, First National Conference on Geography, Urban Development and Sustainable Development, Tehran, Koomesh Environmental Society, Aviation University. 2013 (Persian).
- [25]. Alizadeh, A, Principle of Applied Hydrology. Ferdowsi University of Mashhad Press, Iran, 2015, 650 (Persian).
- [26]. Investigating the effect of topographic factor on the spatial distribution of precipitation using interpolation methods in Tehran, 1st International Congress of Land, Clean Space and Energy, Ardebil, Mohaghegh Ardebil University. 2015(Persian).
- [27]. Viessman, W.J., Lewis, G.L. Introduction to Hydrology. New York: Harper Collins College Publishers; 1996.
- [28]. County K. Knox County Tennessee Stormwater Management Manual. Knox County, Knoxville, TN. 2008. Available online: <http://www.knoxcounty.org/stormwater/pdfs/vol2/3-1-3%20Rational%20Method.pdf> (accessed on 15 July 2014)
- [29]. Momeni M. *New Operational Research Topics*. 2nd ed. Tehran: University of Tehran Faculty of Management; 2008(Persian)
- [30]. Malczewski J. GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons; 1999 Apr 5.
- [31]. Malczewski J. On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches. *Transactions in GIS*. 2000 Jan 1;4(1):5-22.