

بررسی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه نمرود و تأثیر آن بر ویژگی‌های اقتصادی - اجتماعی منطقه و

ارائه راهکارهایی جهت مدیریت آن

فاطمه اسکندری نژاد* - دکترای جغرافیا، دانشگاه دولتی صدرالعینی، تاجیکستان

اکتم مرتضی اف - استاد گروه جغرافیا، دانشگاه دولتی صدرالعینی، تاجیکستان

آرتوبلسکی موسی اف - استاد گروه جغرافیا، دانشگاه دولتی صدرالعینی، تاجیکستان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۷/۲۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۰۴/۰۵

چکیده

امروزه سیل یکی از رایج‌ترین و پرهزینه‌ترین بلایای طبیعی جهان است. برای پیشگیری و کاهش اثرات سیل اجتناب از قرار گرفتن در معرض این مخاطرات و توانایی کنترل و مهار سطح آب و عملیات مربوط به آن از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشند. منطقه مورد مطالعه در این پژوهش حوضه آبخیز نمرود به وسعت ۸۱۲/۷ کیلومتر مربع می‌باشد. هدف اصلی این پژوهش تعیین پهنه‌های سیل-خیز و سیل‌گیر، حوضه رودخانه با استفاده از منطق فازی است. جهت اجرای مدل در منطقه از داده‌های مختلفی همچون بارش، کاربری زمین، خصوصیات مورفولوژیک دامنه‌ها مثل تحدب و تعقر (profile curvature) همگرایی و واگرایی دامنه‌ها (plan curvature)، شیب دامنه‌ها، شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، فاصله از رودخانه‌های اصلی و تراکم شبکه زهکشی استفاده شده است. از بین پارامترها ۹ پارامتر در پهنه‌بندی سیل‌خیزی و ۵ پارامتر در پهنه‌بندی سیل‌گیری حوضه بکار رفته‌اند. با آماده‌سازی لایه‌ها و اجرای توابع عضویت هر یک از آن‌ها، با استفاده از عملگر گاما عمل روی هم‌گذاری لایه‌ها صورت گرفت و نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی و سیل‌گیری در ۵ کلاس پتانسیل بدست آمد. با توجه به نقشه پهنه‌بندی سیل‌خیزی، پهنه‌های با خطر بسیار زیاد در نیمه شمالی و غربی حوضه واقع گردیده‌اند، اغلب این مناطق از لحاظ تراکم پوشش گیاهی در سطح پایینی قرار داشته و از لحاظ کاربری زمین از نوع مرتع متوسط و فقیر و نیز زمین‌های با کاربری کشاورزی، تراکم شبکه زهکشی بالا به‌ویژه در بخش‌های غربی، دامنه‌های واگرا با پروفیل محدب و مناطقی با بارش زیاد را تشکیل می‌دهند. در نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری، بیشتر مناطق شرقی و جنوب‌شرقی حوضه را مناطقی با پتانسیل سیل‌گیری زیاد و خیلی زیاد در بر گرفته‌اند که در مجموع ۴۴/۴ درصد از حوضه را شامل می‌شود. بررسی الگوی کلی مناطق سیل‌گیر نشان می‌دهد که لایه فاصله از رودخانه و ارتفاع بیشترین تأثیر را برای سیل‌گیری دارند. این مناطق اغلب نواحی کم‌شیب، سطوح همگرا با پروفیل مقعر، نواحی پست و حاشیه رودخانه‌ها را تشکیل می‌دهند.

واژگان کلیدی: سیل‌گیری، سیل‌خیزی، عملگر گاما، منطق فازی، آبخیز نمرود

مقدمه

پهنه‌بندی سیل از جمله روش‌های کاهش خطرات سیل است که اطلاعات ارزشمندی را در رابطه با طبیعت، سیلاب‌ها و اثرات آن بر اراضی دشت سیلابی و تعیین حریم رودخانه‌ها ارائه می‌دهد. در نتیجه امکان ارسال هشدارهای مناسب در مواقع خطر سیل و تسهیل عملیات امداد و نجات را فراهم می‌سازد. (نیک‌نژاد و عزیزاده، ۱۳۸۵: ۷). هر قسمتی از حوضه پتانسیل معینی را در تولید رواناب و سیل‌خیزی دارد، همچنین بخش‌های مختلف حوضه با توجه به ویژگی‌های توپوگرافیکی لندفرم‌ها پتانسیل متفاوتی را از خود در سیل‌گیری نشان می‌دهند. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی و سیل‌گیری روشی است که با در نظر گرفتن این ویژگی‌ها و همچنین میزان تولید رواناب در هر بخش، حوضه را بر اساس توان سیل‌خیزی و سیل‌گیری پهنه‌بندی می‌کند.

امروزه اعمال روش‌های مدیریتی برای کاهش بلای سیل، شناسایی تحقیقات مرتبط با کاهش بلای سیل را ضرورت می‌بخشد. روند تحقیقات مرتبط با بلای سیل از دهه ۱۹۳۰ تا ۲۰۰۰ بین روش‌های ساختاری کنترل سیل تا تحولات کاهش غیر ساختاری و در نهایت تلفیق آن در جریان بوده است. کارهای مختلفی در زمینه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری و سیل‌خیزی صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

نصرتی (۱۳۷۹)، با تهیه نقشه‌های رقومی برای محاسبه رواناب و تعیین عوامل مؤثر رواناب با روش SCS، به تهیه نقشه پهنه‌بندی قابلیت سیل‌خیزی حوضه آبخیز کاوه رود پرداخت. در این تحقیق با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS نقشه خاک و پوشش گیاهی، لایه CN و بارندگی ۲۴ ساعته حوضه تهیه و با استفاده از روش SCS نقشه ارتفاع رواناب برای هر پیکسل در سطح حوضه تهیه شد. خسروشاهی (۱۳۸۰)، برای اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی و به عبارتی تعیین میزان تأثیر هر یک از زیر حوضه‌ها در دبی سیل خروجی کل حوضه از روش ابداعی "تکرار حذف انفرادی زیر حوضه" "Single Successive Subwatershed Elimination (SSSE)" استفاده کرده است. در این روش ابتدا هیدروگراف سیل خروجی با مشارکت کلیه زیر حوضه‌ها با کاربرد مدل مربوطه محاسبه می‌شود. سپس با حذف متوالی و یک‌به‌یک زیر حوضه‌ها از فرایند روندیابی داخل حوضه، میزان مشارکت هر یک از آن‌ها در دبی اوج خروجی حوضه به دست می‌آید. آقاعلی‌خانی (۱۳۸۸)، با استفاده از مدل منطق‌فازی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی و سیل‌گیری را برای حوضه فرحزاد تهران انجام داد و نتیجه گرفت که پهنه‌های با خطر بسیار زیاد در بالادست حوضه واقع گردیده‌اند، این سطوح اغلب ستیخ‌ها و خط‌الراس‌ها با دامنه‌های محدب و شیب بالای ۴۰ درصد را تشکیل می‌دهند. در نقشه پهنه‌بندی خطر سیل‌گیری، پهنه‌های با خطر بسیار زیاد در پایین‌دست حوضه و منطبق بر دره‌ها و خط‌القدرها می‌باشند. امیدوار و کیان‌فر (۱۳۸۹)، با استفاده از ۲۸ پارامتر فیزیوگرافی، هیدرومتری، نفوذپذیری و اقلیم پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی را برای حوضه کنجانچم انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که در بین این پارامترها عامل شکل با ضریب ویژه ۹/۷۵ بیشترین تأثیر را در بین سایر عوامل، در سیل‌خیزی حوضه دارد. بهشتی جاوید (۱۳۹۰)، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی را با استفاده از تلفیق مدل‌های CN و AHP برای حوضه بالخلو انجام داد و به این نتیجه رسید که مدل با توجه به برآورد میزان رواناب تولیدی قابلیت مناسبی را در ارزیابی پتانسیل سیل‌خیزی در منطقه دارد. قنواتی و همکاران (۱۳۹۱)، در پژوهش به پهنه‌بندی سیلاب در حوزه فرحزاد با استفاده از مدل فازی پرداخته است. نتایج نشان داد که نواحی با خطر بالا در پایین‌دست حوزه و منطبق بر دره هستند. اغلب این مناطق در شیب ۰-۲۰ درصد و ارتفاع ۲۳۰۰-۲۶۵۰ متر هستند.

از نمونه تحقیقات خارجی می‌توان به کار کوتگودا^۱ و همکاران در سال (۲۰۰۰) اشاره کرد. آن‌ها با استفاده از تکنیک شماره منحنی و آمار بارش، جریان‌های ورودی سیلابی روزمره را برای سه حوضه در کشور ایتالیا مدل‌سازی آماری

^۱-Kottegoda

کردند. نتیجه تحقیق نشان داد که استفاده از داده‌های بارش و تکنیک شماره منحنی می‌تواند یک روش پیشنهادی معنی‌دار، کاربردی و امکان‌پذیر برای مدل‌سازی آماری جریان‌های روزانه باشد. ساهو^۱ و همکاران (۲۰۱۰)، تحقیقی را در ۷۶ حوضه کشاورزی کوچک در کشور امریکا انجام دادند. در این تحقیق مدل اولیه SCS-CN با سایر متغیرهای موجود مورد مقایسه قرار گرفت و در نهایت یک مدل بهبود یافته شده توسط آن‌ها ارائه شد. تأثیر داده‌های توپوگرافیکی، پیکربندی ژئومتریک و انواع روش‌های مدل‌سازی بر روی نقشه‌کشی طغیان سیلاب به‌وسیله کوک^۲ و همکاران (۲۰۰۹)، مورد بررسی قرار گرفته است. هاگن و همکاران (۲۰۱۰)، برای پهنه‌بندی سیلاب، مدلی به نام مهندسی معکوس سیلاب طراحی کردند که در کشورهای در حال توسعه که اطلاعات کافی جهت مطالعه سیلاب در دسترس ندارند؛ نظیر حوضه هلمند در افغانستان بکار رفته است. علاوه بر موارد فوق مطالعات دیگری در زمینه سیلاب به‌وسیله سیناکودن^۳ و همکاران (۲۰۰۳)، وندرسن^۴ و همکاران (۲۰۰۳)، هودسن^۵ و همکاران (۲۰۰۳)، والسکی^۶ و همکاران (۲۰۰۶)، مارتینز^۷ و همکاران (۲۰۰۷)، مروید و همکاران (۲۰۰۸)، بالدزار و همکاران (۲۰۰۹)، نصرتی (۱۳۸۳)، کرمی (۱۳۸۷)، قهرودی (۱۳۸۵) انجام گردیده است.

از آنجایی که سیل خیزی حاصل شده نسبت به زمان و منطقه مورد مطالعه متفاوت است، لذا باید چگونگی این تغییرات در مناطق مختلف به‌طور جداگانه بررسی شود. بررسی سیل خیزی مناطق مختلف کشورمان باهدف مطالعه رفتارهای منطقه‌ای، ارتقای پیش‌بینی فصلی و ارزیابی خطرات سیل برای استفاده از نتایج آن‌ها در برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و ارائه راهکار به مسئولان و برنامه‌ریزان کشور در اتخاذ روش‌های جلوگیری و کاهش آثار مخرب پدیده سیل امری ضروری است. از این‌رو در این پژوهش سعی شده است با استفاده از روش منطق فازی، که یک منطق نامعین و روشی برای مدل‌سازی عدم قطعیت حوضه رودخانه نمروود از نظر سیل‌گیر و سیل‌خیز بودن مورد ارزیابی و پهنه‌بندی قرار گیرد و پارامترهای مؤثر در آن شناسایی شوند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز نمروود یکی از زیر حوضه‌های حبله رود بوده و در شمال شرق تهران در دامنه جنوبی رشته‌کوه‌های البرز مرکزی بین طول‌های جغرافیایی "۱۰' ۱۶' ۵۲" تا "۲۴' ۴۴' ۵۲" شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۰۶' ۳۹' ۳۵" تا "۱۱' ۵۷' ۳۵" شمالی واقع گردیده است. مساحت این محدوده ۸۱۲/۷ کیلومتر مربع و یکی از زیر حوضه‌های حبله رود می‌باشد. از نظر موقعیت نسبی مرتفع‌ترین نقطه ارتفاعی نمروود به ارتفاع ۴۰۵۷ متر از سطح دریا در بخش جنوب غربی در محل کوه سفیدآب، و پست‌ترین نقطه آن به ارتفاع ۱۷۲۰ متر از سطح دریا در بخش جنوب شرقی واقع گردیده است. حوضه نمروود از بخش غربی سرچشمه گرفته و در جهت عمومی غربی به طرف جنوب شرقی جریان می‌یابد این رودخانه در نهایت پس از طی مسافت ۵۳ کیلومتر و پس از الحاق شاخه‌های فرعی متعدد همچون زیر حوضه‌های قزقنچای، شهرآباد، عمرک، فرح رود، سله بن در نقطه ارتفاعی ۱۷۲۰ متر از سطح دریا به رودخانه حبله رود می‌پیوندند (مهندسین مشاور تنپا ۱۳۸۳). شکل (۱) موقعیت حوضه مورد مطالعه را در استان تهران نشان می‌دهد.

1-Sahu

3-Cook

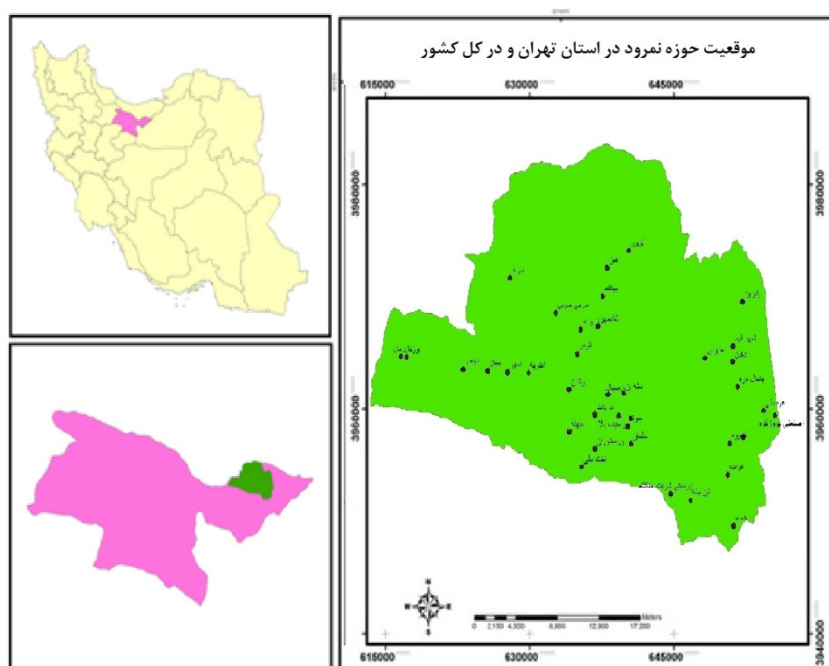
4-Sinnakaudan

4-Vander Sand

6-Hudson

7-Wolski

7_Martinez



شکل ۱ - موقعیت حوزه مورد مطالعه (منبع: نگارنده)

داده‌ها

با توجه به هدف تحقیق و نمونه کارهای قبلی صورت گرفته از ۱۰ پارامتر طبیعی و انسانی برای اجرای مدل استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق: بارش، کاربری زمین، خصوصیات مورفولوژیک دامنه‌ها مثل تحدب و تعقر (profile curvature)، همگرایی و واگرایی دامنه‌ها (plan curvature)، شیب دامنه‌ها، ارتفاع، شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، فاصله از رودخانه‌های اصلی، تراکم شبکه زهکشی و سنگ‌شناسی می‌باشند. تهیه این لایه‌ها از داده‌های هواشناسی، لایه DEM موجود منطقه با توان تفکیک ۳۰ متر، نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی سازمان جغرافیایی ارتش و سازمان زمین‌شناسی و باندهای ۳ و ۴ تصاویر ماهواره لندست استفاده شده است.

برای بررسی میزان بارش حوزه و تهیه لایه مربوط به آن از ۸ ایستگاه باران‌سنجی متعلق به وزارت نیرو و یک ایستگاه سینوپتیک متعلق به سازمان هواشناسی استفاده شده است. لایه آبراهه‌های اصلی منطقه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی سازمان جغرافیایی ارتش با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شده و پس از رقومی سازی در محیط GIS لایه فاصله از آبراهه و تراکم شبکه زهکشی از آن استخراج شد. برای به دست آوردن لایه شاخص پوشش گیاهی (NDVI) از باندهای ۳ و ۴ تصاویر ماهواره لندست استفاده شد و لایه مذکور به دست آمد. با استفاده از لایه DEM منطقه با توان تفکیک ۳۰ متر لایه‌های مربوط به شیب، ارتفاع، انحنا، پروفیل و انحنا پلانیمتریک به دست آمد. برای تهیه نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه از محیط نرم‌افزار پردازش تصویر ENVI و روش طبقه‌بندی نظارت شده (الگوریتم حداکثر مشابهت (MLC)) و نیز تصویر رنگی ماهواره لندست استفاده شده است. لایه سنگ‌شناسی نیز با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه تهیه شد.

روش شناسی

منطق فازی

در فرهنگ لغت آکسفورد واژه فازی به صورت "مبهم، گنگ، نادقیق، مغشوش، درهم و نامشخص" تعریف شده است (وانگ لی ۱۹۶۲). مدل فازی بر منطق فازی استوار بوده که اساساً به منظور اقدام در شرایط ابهام ارائه گردیده است. هر فرد هم‌زمان در مجموعه‌های مختلف ولی به درجات متفاوت عضویت دارد. درجات عضویت مقادیر بین صفر و یک و نیز

خود این دو حد را می‌پذیرد (ون آلفن، ۲۰۰۰: ۴). منطق فازی تکنولوژی جدیدی است که شیوه‌های مرسوم برای طراحی و مدل‌سازی یک سیستم را که نیازمند ریاضیات پیشرفته و نسبتاً پیچیده است را با استفاده از مقادیر و شرایط زبانی و یا به عبارتی دانش فرد خبره، و باهدف ساده‌سازی و کارآمدتر شدن طراحی سیستم، جایگزین و یا تا حد زیادی تکمیل می‌نماید (سلامی، ۱۳۸۹: ۱۰). نظریه فازی از زمان ابداع تا به امروز به‌طور روزافزونی در حال گسترش بوده و کاربردهای گوناگونی پیدا کرده است. این تئوری در الگو کردن پدیده‌های فیزیکی، نقشه‌برداری و طبقه‌بندی به‌طور گسترده استفاده شده است (رستمی، ۱۳۸۷: ۱۲، خسروی ۱۳۸۲: ۵، و اشغلی فراهانی، ۱۳۸۰: ۲).

در تئوری مجموعه‌های دقیق اگر یک مجموعه را در نظر بگیریم، هر عضو مجموعه مرجع یا در مجموعه هست و یا نیست و می‌توان برای هر مجموعه A تابع زیر را تعریف کرد (مومنی، ۱۳۸۷: ۵۰).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & , If \quad x \in A \\ 0 & , If \quad x \notin A \end{cases} \quad \text{رابطه (۱)}$$

این تابع به هر عضو مجموعه A عدد (۱) و به هر عضو خارج از مجموعه A عدد (۰) نسبت می‌دهد. یک مجموعه فازی توسط تابع عضویتی بیان می‌شود که این تابع عضویت درجه تعلق اعضای مجموعه را با یک عدد حقیقی بین $[0, 1]$ نشان می‌دهد. به عبارت دیگر اگر عضویت عنصری در مجموعه A را در بازه‌ای از $[0, 1]$ قرار دهیم، به هر x از عددی در بازه $[0, 1]$ نسبت داده می‌شود و به این تابع، تابع عضویت گفته می‌شود و آن را به صورت $\mu_{A(x)}$ نشان می‌دهند که درجه عضویت بین (۰) و (۱) خواهد داشت. تابع عضویت برابر (۱) نشان‌دهنده عضویت کامل در مجموعه و مقدار (۰) نشان‌دهنده عدم عضویت کامل عنصر در مجموعه است.

برای اجرای تکنیک فازی به عملگرهایی نظیر OR (اجتماع)، AND (اشتراک) Product (ضرب جبری)، Sum (جمع جبری) و Gamma نیاز است. در عملگر OR پیکسلی که فقط از نظر یک نقشه مناسب بوده و ارزش یک داشته باشد و از لحاظ سایر لایه‌های اطلاعاتی دارای ارزش صفر باشد در نقشه خروجی تلفیق یافته، ارزش یک را دارا می‌گردد و مناسب تشخیص داده می‌شود. عملگر AND فقط پیکسلی که در تمامی نقشه‌های پایه ارزش یک دارد در نقشه نهایی ارزش یک خواهد داشت و جزء مناطق مناسب قرار می‌گیرد. عملگر Product موجب می‌شود تا اعداد مجموعه‌ها کوچک‌تر شده و به سمت صفر میل می‌کنند. اما عملگر Sum برخلاف عملگر Product موجب می‌گردد تا اعداد به سمت یک میل نمایند. جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر Product و دقت خیلی کم عملگر Sum، عملگر دیگری به نام Gamma شکل گرفته است. مقدار گامای تعدیل‌کننده بین صفر و یک است که مقدار آن از طریق قضاوت کارشناسانه تعیین می‌شود. گامای صفر معادل ضرب فازی و گامای یک معادل جمع فازی است (دادرسی سبزواری، ۱۳۸۷).

در این مطالعه برای تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر ضرب فازی و حساسیت خیلی کم عملگر جمع فازی از عملگر Gamma استفاده شده که حدفاصل ضرب و جمع جبری فازی می‌باشد.

هرکدام از پارامترهای در نظر گرفته شده بنا به ماهیت و عملکردشان در مدل پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری و سیل‌خیزی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، به گونه‌ای که برخی از آن‌ها در هر دو مدل و برخی دیگر تنها در یک مدل مورد استفاده قرار گرفتند. با توجه به مرور منابع مختلف و بررسی شاخص‌های سیل‌خیزی و سیل‌گیری ۹ پارامتر در زمینه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی و ۵ پارامتر در زمینه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری استفاده شده است. با توجه به این امر توابع عضویت مورد استفاده در دو مدل فوق متفاوت خواهد بود.

نتایج و بحث

برای اینکه لایه‌ها در مدل فازی مورد استفاده قرار گیرد لازم است ابتدا تک‌تک لایه‌ها با توجه به هدف مورد نظر بر اساس توابع عضویت، فازی‌سازی شوند. این عمل با استفاده از توابع موجود در نسخه ۱۰ نرم‌افزار ARC GIS و نیز در مواردی به صورت فرمول نویسی در تحلیل‌گر Raster Calculator انجام شده است.

تعیین توابع عضویت در مدل پهنه‌بندی سیل‌خیزی

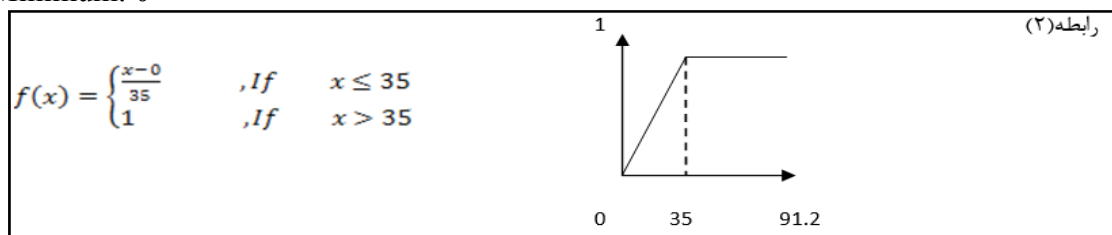
از بین ۱۰ پارامتر در نظر گرفته شده برای اجرای مدل، ۹ پارامتر در پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی استفاده شده‌اند. تابع عضویت هر یک از لایه‌ها در مدل بر اساس نوع رابطه‌ای که هر پارامتر با پدیده سیل‌خیزی در حوضه نم‌رود دارد، تعیین گردیده است. توابع عضویت مزبور به شرح زیر است:

شیب: با توجه به رابطه مستقیم این پارامتر با سیل‌خیزی از یک رابطه خطی افزایشی جهت تعیین عضویت این لایه استفاده شده است (رابطه ۲).

Membership Function: Linear

Maximum: 35%

Minimum: 0



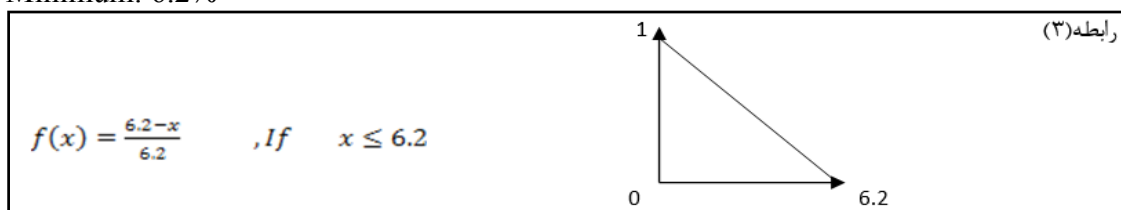
منبع: نگارنده

انحنای پروفیل: رابطه انحنای پروفیل با سیل‌خیزی به صورت معکوس است و از رابطه خطی کاهنده جهت تعیین عضویت این لایه استفاده شده است (رابطه ۳).

Membership Function: Small

Maximum: 0

Minimum: 6.2%



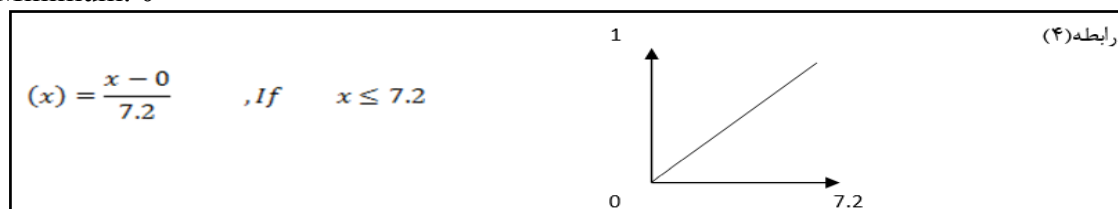
منبع: نگارنده

انحنای پلانیمتری: لایه انحنای پلانیمتری به دلیل رابطه مستقیم با سیل‌خیزی با استفاده از رابطه خطی افزایشی و کامل فازی‌سازی شده است (رابطه ۴).

Membership Function: Large

Maximum: 7.2%

Minimum: 0



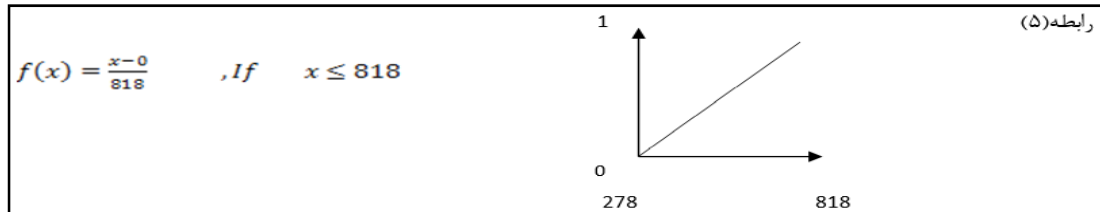
منبع: نگارنده

بارش: برای نشان دادن رابطه بارش با سیل خیزی از رابطه خطی و افزایشی استفاده شده است. معیار بارش ثبت شده می باشد (رابطه ۵).

Membership Function: Large

Maximum: 818 mm

Minimum: 278



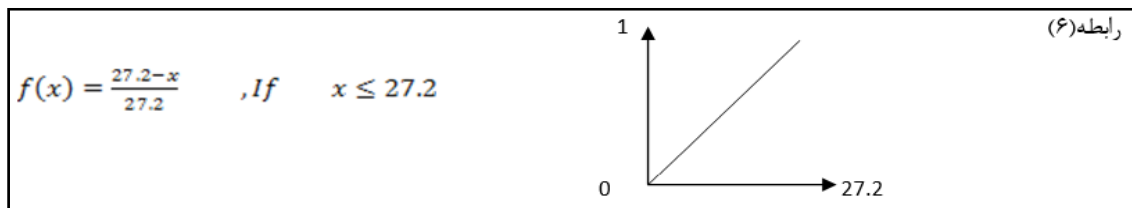
منبع: نگارنده

تراکم زهکشی: این پارامتر با سیل خیزی رابطه مستقیم دارد. بنابراین از رابطه خطی افزایشی در تعیین عضویت این لایه استفاده شده است (رابطه ۶).

Membership Function: Linear

Maximum: 27.2 km/km²

Minimum: 0



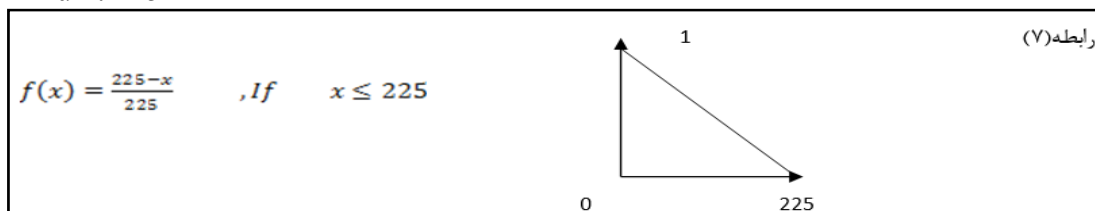
منبع: نگارنده

شاخص NDVI: تراکم پوشش گیاهی موجب کاهش خطر سیل خیزی می گردد، بنابراین شاخص NDVI با پدیده سیل خیزی رابطه معکوس و کاهنده دارد. جهت تعیین عضویت این لایه از رابطه (۷) استفاده شده است.

Membership Function: Linear

Maximum: 0

Minimum: 225



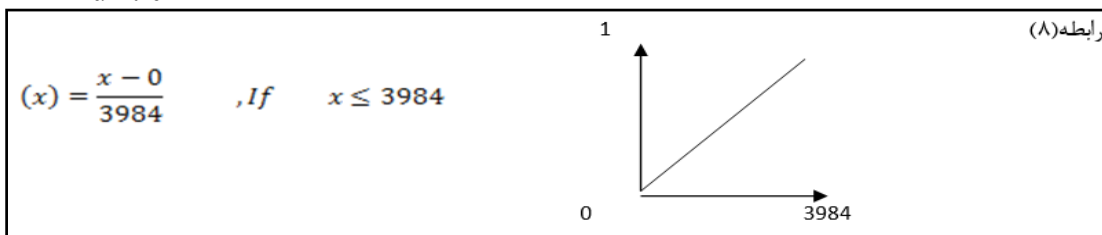
منبع: نگارنده

ارتفاع: لایه ارتفاع با سیل خیزی رابطه مستقیم دارد و با استفاده از رابطه خطی افزایشی سازی شده است (رابطه ۸).

Membership Function: Linear

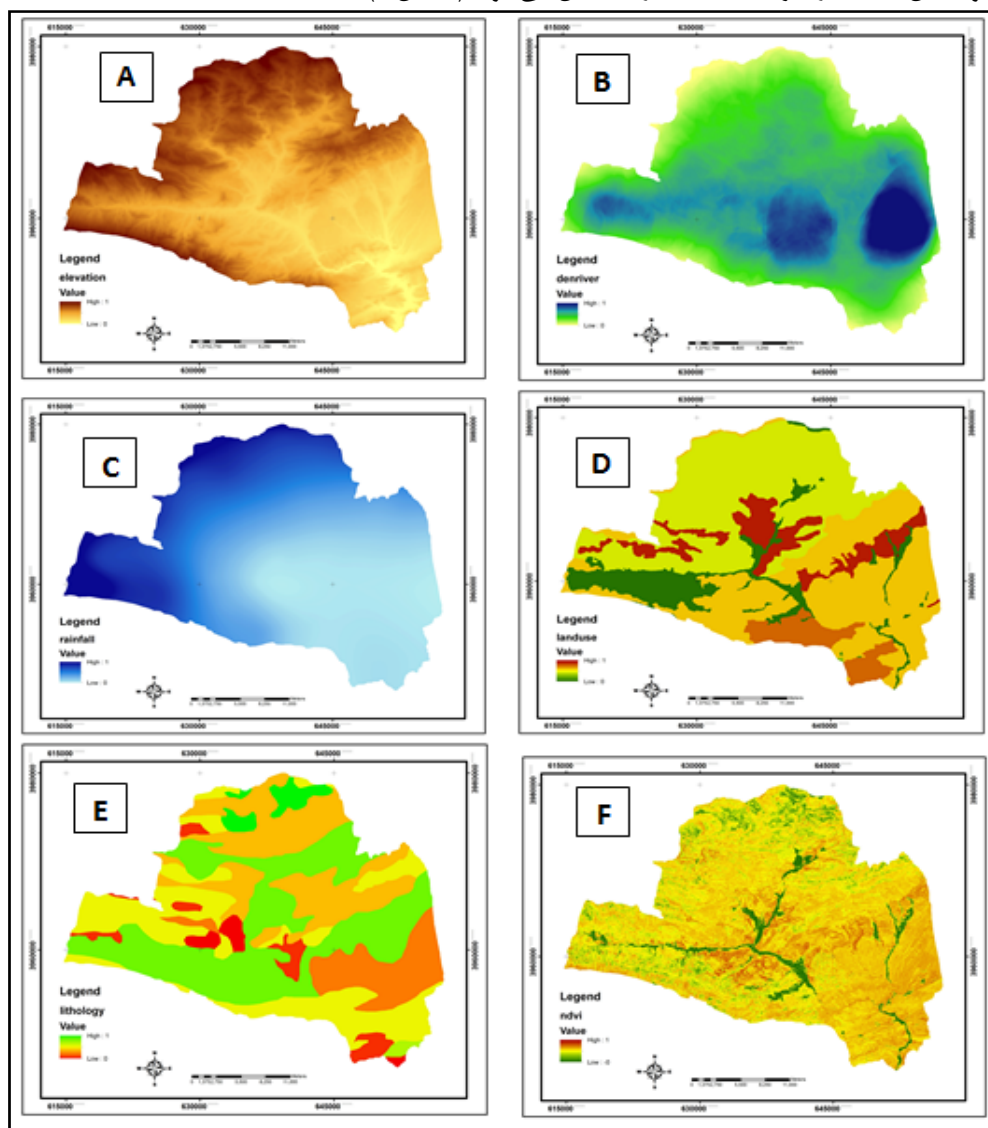
Maximum: 3984 m

Minimum: 0 m

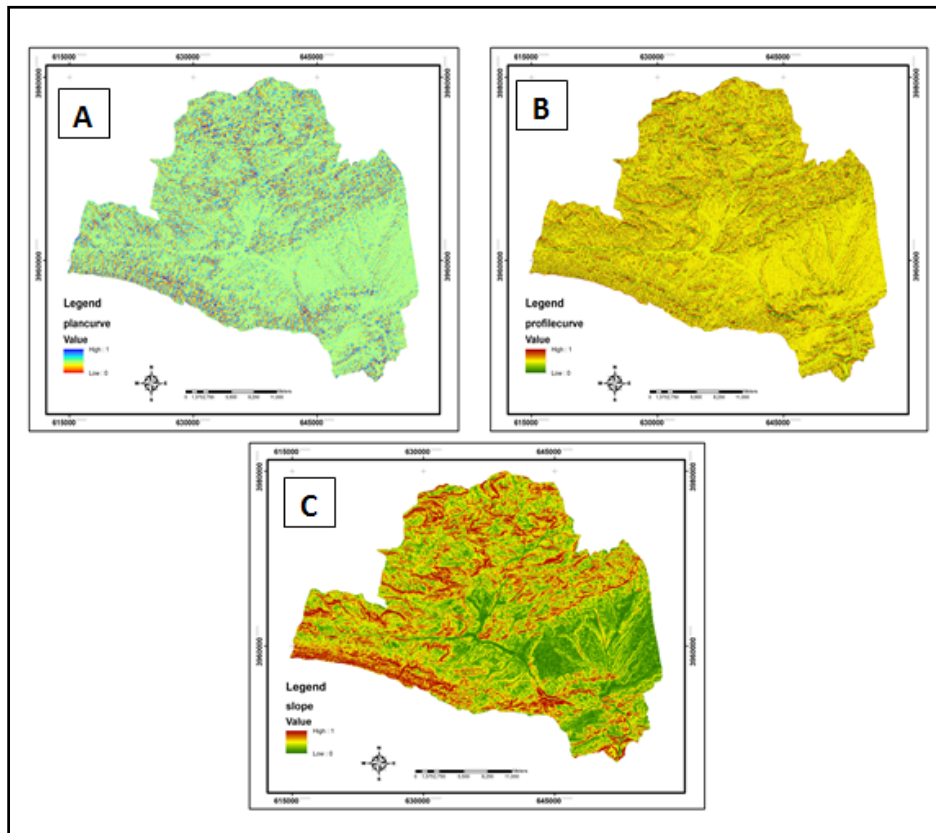


منبع: نگارنده

لایه سنگ‌شناسی و کاربری اراضی: با توجه به ماهیت این دولایه که به صورت برداری هستند نحوه فازی سازی آن‌ها به گونه دیگر است. برای این کار با توجه به طبقات مختلف آن‌ها و عملکردشان در سیل‌خیزی با دادن کدهای بین ۰ تا ۱ و تبدیل به لایه رستری به حالت فازی تبدیل می‌شوند (اشکال ۲).



شکل ۲- A لایه فازی ارتفاع، B لایه فازی تراکم شبکه زهکشی، C لایه فازی بارش، D لایه فازی کاربری زمین، E لایه فازی سنگ‌شناسی و F لایه فازی شاخص پوشش گیاهی. (منبع: نگارنده)



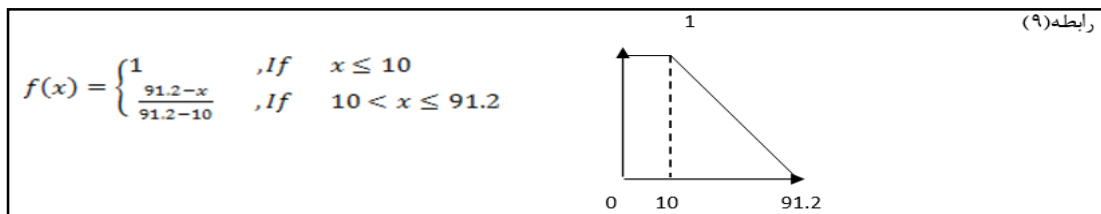
شکل ۳- A لایه فازی انحنای پلانیمتریکی، B لایه فازی انحنای پروفیل، C لایه فازی شیب (منبع: نگارنده)

تعیین توابع عضویت در مدل پهنه‌بندی سیل گیری در پهنه‌بندی پتانسیل سیل گیری، ۵ پارامتر از بین ۱۰ پارامتر در نظر گرفته شده، مورد استفاده قرار گرفتند و توابع عضویت آن‌ها به شرح زیر تعیین گردید.
 شیب زمین: بین شیب زمین با سیل گیری رابطه معکوس برقرار است و یک رابطه خطی کاهنده و شکسته برای آن در نظر گرفته شده است (رابطه ۹).

Membership Function: Linear

Maximum: 10%

Minimum: 91.2%



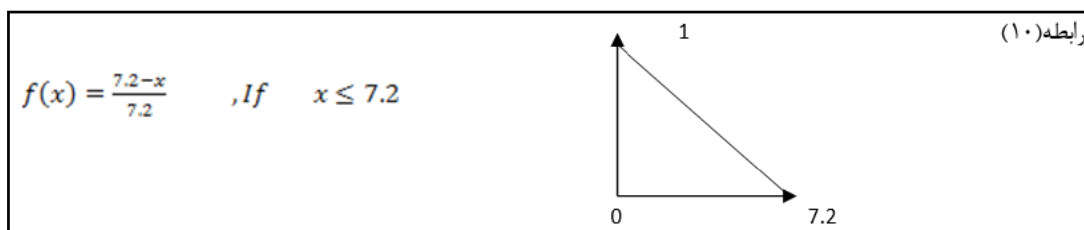
منبع: نگارنده

انحنا پلانیمتریکی: بین انحنا پلانیمتریکی با سیل گیری رابطه خطی کاهنده به وجود دارد و تابع آن به صورت رابطه ۱۰ تعریف شده است.

Membership Function: Small

Maximum: 0

Minimum: 7.2%



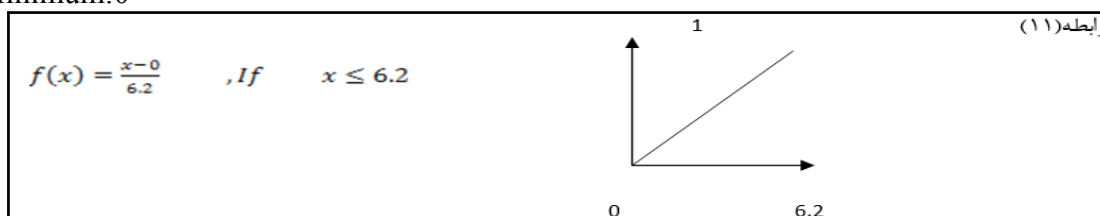
منبع: نگارنده

انحنا پروفیل: رابطه این پارامتر با سیل گیری مستقیم است. بنابراین از رابطه خطی مستقیم افزایشی در تعیین عضویت آن استفاده شده است (رابطه ۱۱).

Membership Function: Larg

Maximum: 6.2%

Minimum: 0



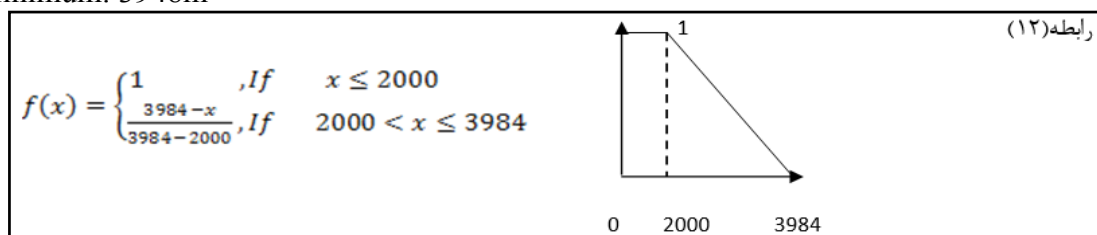
منبع: نگارنده

ارتفاع: در یک حوضه با کاهش ارتفاع احتمال خطر سیل گیری افزایش می‌یابد. بنابراین ارتفاع با سیل گیری رابطه معکوس دارد و تابع عضویت این لایه به صورت رابطه خطی کاهنده و شکسته است (رابطه ۱۲).

Membership Function: Linear

Maximum: 2000m

Minimum: 3948m



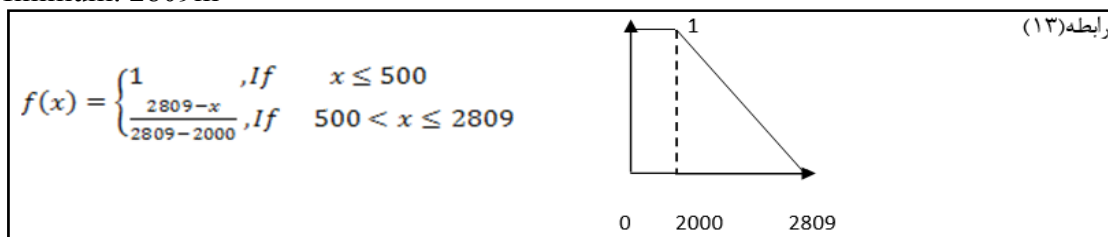
منبع: نگارنده

فاصله از رود: کاهش فاصله از رود خطر سیل گیری را افزایش می‌دهد. بنابراین از رابطه (۱۳) در تعیین عضویت استفاده شده و تابع عضویت این لایه به صورت رابطه خطی کاهنده و شکسته است.

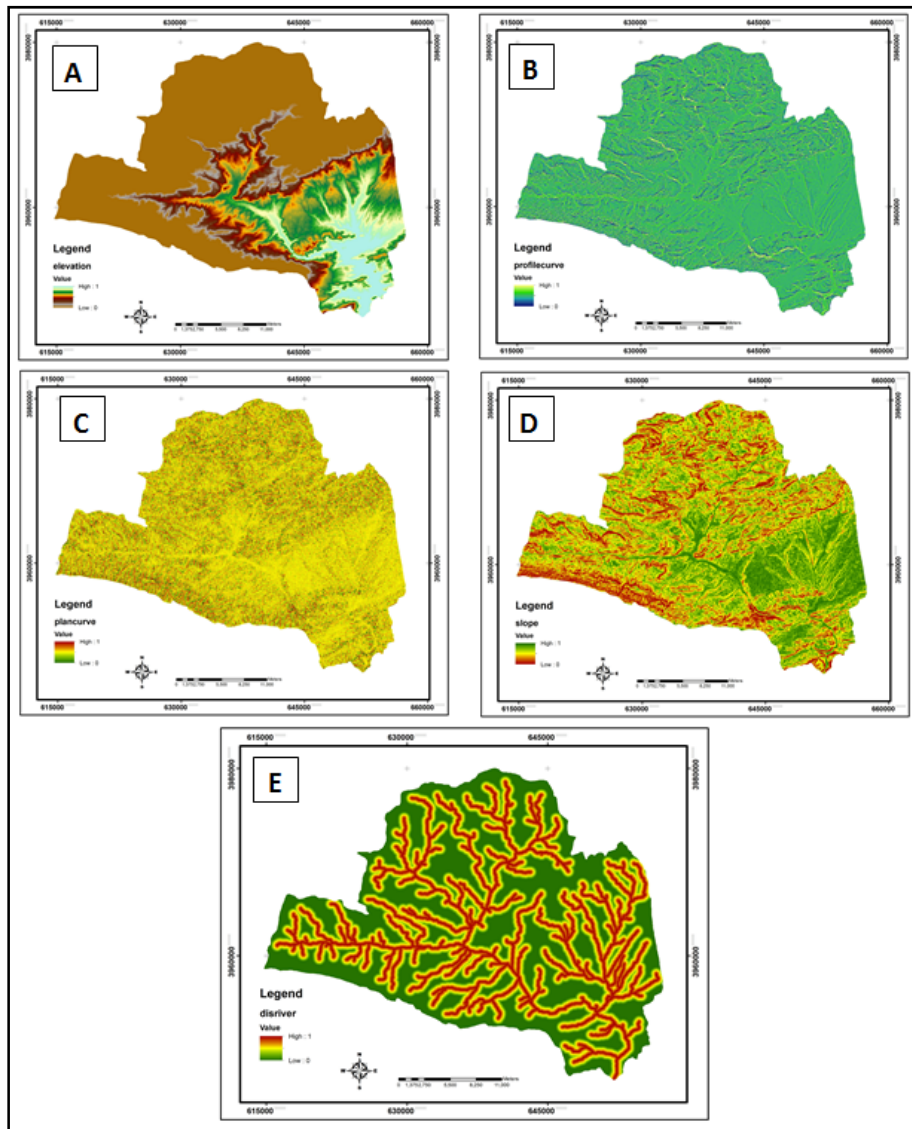
Membership Function: Linear

Maximum: 2000m

Minimum: 2809m



منبع: نگارنده



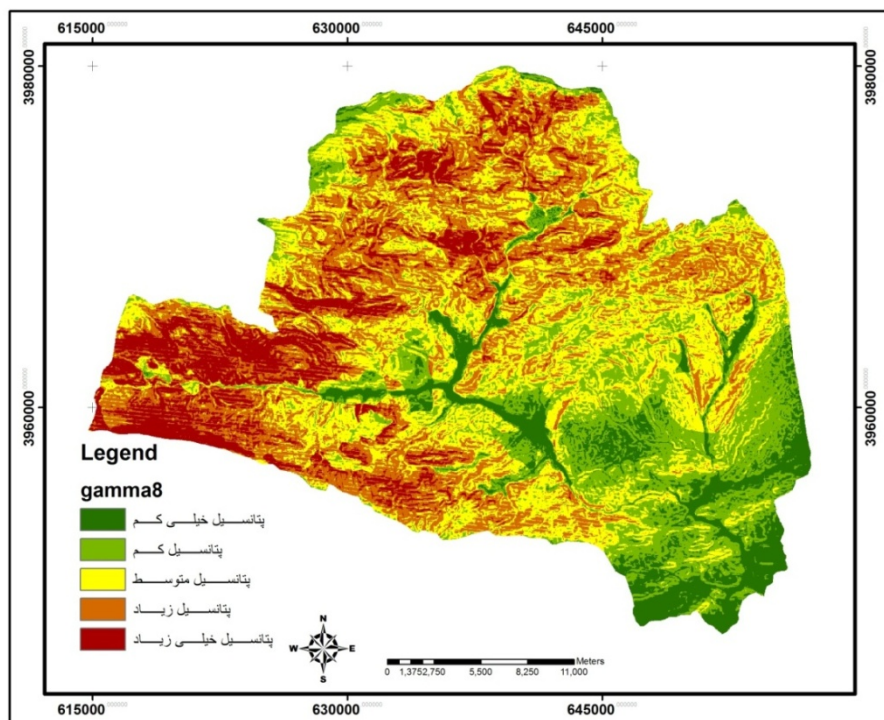
شکل ۴- A لایه فازی ارتفاع، B لایه فازی انحنای پروفیل، C لایه فازی انحنای پلانیمتریک، D لایه فازی شیب، E لایه فازی فاصله از آبراهه. (منبع: نگارنده)

پس از آماده‌سازی لایه‌های فازی لازم است تا با استفاده از عملگر مناسب لایه‌ها روی هم گذاری شوند. در این پژوهش از عملگر گامای فازی استفاده شده است، این عملگر برحسب حاصل ضرب جبری فازی و حاصل جمع جبری فازی بر اساس رابطه (۱۴) تعریف می‌شود.

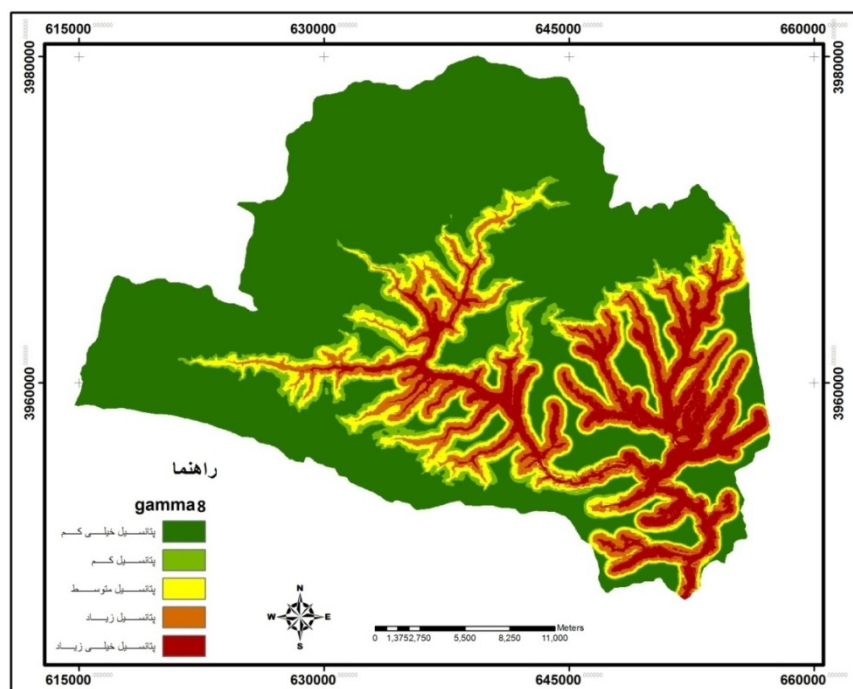
$$H_{\text{combination}} = ((\text{Fuzzy Algebraic Sum})(\text{Fuzzy Algebraic Product}))^{1-\gamma} \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

که در آن $(H_{\text{combination}})$ لایه حاصل از گامای فازی و γ پارامتر تعیین شده 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 گرفته شده برای γ مقادیری در خروجی ایجاد می‌کند که با اثر افزایشی جمع جبری و اثر کاهش ضرب جبری فازی سازگاری دارد. با توجه به عدم ریسک ضرب فازی و ریسک‌پذیری جمع فازی در تلفیق نهایی لایه‌های از گاما و پارامتر γ (بین ۰ و ۱) در جهت جبران‌پذیری ترکیب لایه استفاده شد است.

جهت به دست آوردن نقشه نهایی پهنه‌بندی سیلاب و تعدیل نقشه‌های به دست آمده بر اساس عملگرهای جمع جبری و ضریب جبری، از عملگرهای گامای ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ استفاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که گامای ۰/۸ بالاترین مقدار همبستگی را با لایه‌های اطلاعاتی اولیه داشته، بنابراین گامای ۰/۸ به عنوان نقشه نهایی در پهنه‌بندی خطر سیل گیری انتخاب گردید. شکل ۵ و ۶ به ترتیب نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی و سیل گیری منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی حوضه رودخانه نمروود (منبع: نگارنده)



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل گیری حوضه رودخانه نمروود (منبع: نگارنده)

پارامترهای در نظر گرفته شده در مدل با استفاده از عملگر گاما روی هم گذاری شدند و نقشه پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی و سیل گیری به دست آمد. نقشه های فوق با استفاده از روش شکستگی های طبیعی در پنج کلاس حساسیت طبقه بندی شدند که در جدول ۱ درصد هر یک از پهنه ها در آن نشان داده شده است. همان طور که جدول نشان می دهد، حدود ۱۲/۱ درصد منطقه را مناطقی با پتانسیل خیلی زیاد و ۲۷/۵ درصد را مناطقی با پتانسیل زیاد برای سیل خیزی تشکیل می دهند. این مناطق بیشتر بخش های غربی و نیمه شمالی حوضه را در بر می گیرند. بررسی پارامترهای به کار رفته در مدل و مقایسه آن با نقشه نهایی نشان می دهد که اغلب این مناطق از لحاظ تراکم پوشش گیاهی در سطح پایینی قرار داشته و از لحاظ کاربری زمین از نوع مرتع متوسط و فقیر و نیز زمین های کشاورزی می باشند. تراکم شبکه زهکشی به ویژه در بخش های غربی نسبت به مناطق دیگر بالا می باشد که این امر با توجه تأثیر تراکم شبکه زهکشی در تمرکز روانابها قابل توجه است. همانطور که نقشه بارش حوضه نشان می دهد بیشترین بارش منطقه را نیمه شمالی و غربی حوضه که به ارتفاعات البرز نزدیک هستند، دریافت می کنند و نقش بسزایی در بالا بردن پتانسیل سیل خیزی این بخش از حوضه را دارند. در مقابل بخش های شرقی و جنوب غربی حوضه با دریافت بارش کمتر و شیب کمتر و نیز ارتفاع پست تر کمترین پتانسیل را برای سیل خیزی داشته و به صورت کلاس هایی با پتانسیل کم و خیلی کم معرفی شده اند.

جدول شماره ۱- مساحت کلاس های نقشه های نهایی به درصد

کلاس	پهنه های سیل خیز %	پهنه های سیل گیر %
پتانسیل خیلی کم	۹/۶	۶۲
پتانسیل کم	۲۰	۶/۴
پتانسیل متوسط	۳۰/۸	۱۰/۲
پتانسیل زیاد	۲۷/۵	۱۱/۵
پتانسیل خیلی زیاد	۱۲/۱	۹/۹

در نقشه پهنه بندی مناطق سیل گیر، شرایط به گونه دیگر است و بیشتر مناطق شرقی و جنوب شرقی حوضه را مناطقی با پتانسیل سیل گیری زیاد و خیلی زیاد در بر گرفته اند که در مجموع ۲۴/۴ درصد از حوضه را شامل می شود. بررسی الگوی کلی مناطق سیل گیر با لایه های مورداستفاده در مدل نشان می دهد که لایه فاصله از رودخانه و ارتفاع بیشترین تأثیر را داشته اند و مناطق پیرامونی رودخانه های اصلی و پادگانه های کناری آن بیشترین پتانسیل را برای سیل گیری دارند. این مناطق در واقع بخش هایی از حوضه هستند که توسط آب های ناشی از بارش در بخش بالایی حوضه تحت تأثیر قرار می گیرند.

نتایج حاصل از تحقیقات مختلف نشان می دهد که مدل فازی با وجود پیچیدگی هایی که دارد، دارای مزایای بسیاری در مطالعه پدیده های مختلف مرتبط با سطح زمین است. از جمله می توان به صحت و دقت بالای نتایج حاصل از استفاده از این مدل اشاره کرد (اشقلی فرهانی ۱۳۸۵، سمعی ۱۳۸۵ و رستمی ۱۳۸۷). تاکنون از روش های بسیاری از جمله روش SCS، منطق بولین، روش همپوشانی و ... برای پهنه بندی سیلاب استفاده شده است، اما نتایج حاصل، نشان دهنده قابلیت و کارایی بیشتر مدل فازی در پهنه بندی سیلاب است، زیرا مدل فازی منطق انتقال داده ها از فضای معین به نامعین می باشد، از دیگر ویژگی های این مدل قابلیت اجرای آن در محیط Arc GIS است. به عنوان مثال می توان به نتایج کار پژوهشگرانی همچون آقاعلی خانی و قنواتی (۱۳۸۸) اشاره کرد که با استفاده از منطق فازی پهنه بندی سیل خیزی و سیل گیری را برای رودخانه فرحزاد انجام دادند. طبق نتایج به دست آمده توسط آن ها مدل منطق فازی با قابلیت انعطاف بالا در ترکیب لایه ها، قادر است با دقت بالایی پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی و سیل گیری را برای یک حوضه انجام دهد. از

دیگر ویژگی‌های این مدل قابلیت آن در تبدیل عبارت‌های زبانی برگرفته از تجربه و دانش بشری در قالب ریاضی می‌باشد و از این مدل می‌توان برای مدل‌سازی در زمان نبود قطعیت و صراحت در مسائل دنیای واقعی نظیر در دسترس نبودن داده‌ها و اطلاعات دقیق موردنیاز استفاده کرد. در برخی مدل‌های بکار رفته در زمینه پهنه‌بندی نظیر AHP نظرات کارشناس در نتیجه و نقشه نهایی بسیار مؤثر می‌باشد در حالیکه در مدل فازی تأثیر نظرات کارشناس به حداقل می‌رسد و در واقع نتیجه نهایی حاصل برآوردهای پیچیده ریاضی و آماری می‌باشد (آقاعلی‌خانی، ۱۳۸۸: ۱۴۹).

با توجه به سابقه تاریخی رخداد سیل در منطقه مورد مطالعه، لزوم داشتن یک نقشه جامع و دقیق که بتواند مناطق مستعد سیل خیز و سیل‌گیر را نشان دهد، بیش‌ازپیش مشهود و ضروری است، لذا در این پژوهش با توجه به قابلیت‌های ارائه شده برای منطق فازی در پهنه‌بندی سیلاب، سعی شد با استفاده از این مدل پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی و سیل‌گیری برای حوضه رودخانه نمروود صورت گیرد. در نهایت نتایج کار به صورت دو نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی و سیل‌گیری ارائه شد و هر یک از نقشه‌ها در پنج کلاس حساسیت طبقه‌بندی شدند. وضعیت منطقه در بخش‌های مختلف از نظر حساسیت سیل‌خیزی و سیل‌گیری تشریح و فاکتورهای تأثیرگذار در هریک توضیح داده شد.

منابع

- امیدوار، ک.، الف، کیانفر، ۱۳۸۹. پهنه‌بندی خطر سیل در حوزه کنجانچم، مجله پژوهش در جغرافیای فیزیکی. ۷۲:۷۳-۹۰.
- آقاعلی‌خانی، م، ۱۳۸۸. پهنه‌بندی سیل‌گیری و سیل‌خیزی در حوزه فرحزاد تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۳۵ ص.
- بهشتی، ج، ۱۳۹۰. پهنه‌بندی خطر سیل در حوزه بالخ لو، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی تهران، ۱۳۵ ص.
- بهشتی، م.، س، فیض‌نیا، الف، سلاجقه، الف، احمدی، ۱۳۸۸. ارزیابی عملکرد قابلیت اطمینان عامل پهنه‌بندی لغزش: مطالعه موردی حوضه معلم کلایه. فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۵: ۲۰-۳۲.
- خسروانی، ش.، ۱۳۸۲. تشخیص تغییرات ژئومورفولوژی، مناطق ساحلی شمال غرب خلیج فارس (هندیجان) با استفاده از منطق فازی و تکنیک‌های RS و GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت‌معلم تهران، ۱۵۴ ص.
- خسروشاهی، م، ۱۳۸۰. تعیین شدت سیل در حوضه آبریز، رساله دکترا، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- رستمی، ف، ۱۳۸۷. اصلاح مدل رسوب MPSIAC با استفاده از تکنیک فازی در سد حوضه زاگرس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۲۱۰ ص.
- سامیا، ج، ۱۳۸۶. پهنه‌بندی خطر با استفاده از RS و GIS برای حوضه تجن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید بهشتی.
- سلامی، م، ۱۳۸۹. آنالیز پارامترهای کیفیت آب تالاب انزلی با استفاده از روش فازی ریاضی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت‌معلم تهران.
- عشقعلی، الف، ۱۳۸۰. ارزیابی احتمال خطر بی‌ثباتی شیب طبیعی در منطقه رودبار با استفاده از تئوری فازی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت‌معلم تهران، ۱۸۵ ص.
- قنوتی، الف، الف، کرم، م، آقاعلی‌خانی، ۱۳۹۰. پهنه‌بندی خطر سیل در حوضه فرحزاد (تهران) با استفاده از مدل فازی.

- کرمی، ه.، اردشیر، الف.، حسینی، چ.، میکاییلی، م.الف، ۱۳۸۷. پهنه دشت سیلابی با ترکیب مدل‌های هیدرولیک و GIS، چهاردهم کنفرانس - دانشجویان مهندسی Civil در سراسر کشور، ایران
- مومنی، م، ۱۳۷۸. موضوعات تحقیقات جدید در عملیات. دانشگاه تهران. ۳۰۰ ص.
- مهندسین مشاور تتیا، شرکت نواندیشان توسعه، پایدار آسیا، مطالعات پایه، حوضه آبخیز سله بن، ۱۳۸۳.
- نصرتی، ۱۳۸۹. پهنه‌بندی سیل‌خیزی در حوزه کاورود با کاربرد GIS و RS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد.
- نصرتی، الف.، م، فرج زاده، ۱۳۸۳. پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی در حوزه کاورود با کاربرد GIS. مجله علوم جغرافیایی، ۳: ۴۹-۵۸.
- نیک نژاد، د.، الف، علیزاده، ۱۳۸۵. مطالعه سیل و کنترل آن در دو زیر حوضه در دریاچه ارومیه. مجله کارگاه فنی برای همزیستی با سیلاب.
- Baldassarre G., Di., Guy S., Paul D.B., 2009, A technique for the calibration of hydraulic models using uncertain satellite observation of flood extent, *Journal of Hydrology*, 367: 276-282.
- Cook A., Merwade, V., 2009, Effect of topographic data, Geometric Configuration and modeling approach on flood inundation mapping, *Journal of Hydrology*, 337: 131-142.
- Dadresie Sabzwari, A., 2008, A comparison fuzzy logic model with the other conceptual models consistent with the GIS in location satellite data sensor ETM, *Tehran Geomatics Conference*.
- Duman, T.Y., Can, T., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H.A. and Sonmez, H. (2006) Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area. *Journal of Environmental Geology*, 51: 241-256.
- Ghohroodi tali, m., 2006. Evaluation SCS-CN, Model in estimating runoff Case Study: Dam catchment Amirkabir (Karaj). *Journal of Geography and Development*, 3: 185-198.
- Hudson P.F., Rene R. Colditz, 2003, Flood delineation in a larg and complex alluvial valley, lower Panuco basin, Mexico, *Journal of Hydrology*, Volume 280: 222-245.
- Kottegoda, N.T., Natale. L., Raiteri, E. (2000) Statistical modeling of daily stream flows using rainfall input and curve number technique. *Journal of Hydrology*. 234: 170-186.
- Martinez J.M., Thuy Le Toan, 2007, Mapping of flood dynamics and spatial distribution of vegetation in the Amazon floodplain using multitemporal SAR data, *Journal of Remote Sensing of Environment*, 108: 209-223.
- Merwade V. Cook, A., and Coonrod, J., 2008, GIS techniques for creating river terrain models for hydrodynamic modeling and flood inundation mapping, *Journal of Environment Modelling & Software*, 23: 1300-1311.
- Sahu, R.K., Mishra, S.K., Eldho, T.I. (2010) Comparative evaluation of SCS-CN-inspired models in applications to classified datasets. *Journal of Agricultural Water Management* 97: 749-756.
- Sinnakaudan F.K, Aminuddin Ab G., Mohd, S.s, Ahmad, N. A., 2003, Flood risk mapping for Pari River incorporating sediment transport, *Journal of Environment Modelling & Software*. 18, 119-130
- Li, W., 1962. *Fuzzy Systems and Fuzzy Control*. Translated by Teshnelab, m., Saffarpor, n., Afyouni D, 1999. University of khajeh Nasiraldin Tusi, Tehran. 544 pages (in Persian).
- Van Alphen B.J., Stoorvogel, J. J., 2000, a functional approach to soil characterization in support of precision agriculture, *Journal of Science Society of America*. 64: 1706-1713.
- Vander Sande C.J., De Jong, S.M., De-Roo, A.P.J., 2003, A segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for Landover mapping to assist flood risk and flood damages assessment, *International journal of applied Earth observation and Geolandformation*, 4: 217-229.
- Wolski P., Savenije, H.H.G., Murray-Hudson, M., Gumbrich, T., 2006, Modeling of the flooding in the Dkavango Delta, Botswana, using a hybrid reservoir GIS model, *Journal of Hydrology*, 331: 58-72 .