

ارزیابی وضعیت سیل‌خیزی و سیل‌گیری حوضه آبریز ليقوان‌چای با استفاده از مدل ترکیبی فرآیند تحلیل- شبکه و منطق‌فازی

موسی عابدینی* - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی
ابراهیم بهشتی جاوید - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۱۸ تأیید نهایی: ۱۳۹۷/۰۴/۱۲

چکیده

امروزه سیل به عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات محیطی شناخته شده در طبیعت است. کشور ایران به دلیل برخورداری از شرایط طبیعی مساعد برای سیل‌خیزی در زمره کشورهای حادثه‌خیز از نظر وقوع این مخاطره است. هدف اصلی این پژوهش تعیین پهنه‌های سیل‌خیز و سیل‌گیر حوضه ليقوان‌چای تبریز است. جهت انجام این کار از مدل ترکیبی فرآیند تحلیل شبکه و منطق‌فازی به همراه ۱۲ پارامتر طبیعی استفاده شده است. بر اساس مدل فرآیند تحلیل شبکه برای سیل‌خیزی، معیارهای شیب (۱۸۷/۰)، جنس سازند (۱۲۵/۰) و برای سیل‌گیری نیز پارامترهای شیب (۲۲۹/۰)، انحنای پلان (۲/۰) بیشترین ضریب تأثیر را داشته‌اند. بر اساس نتایج، بخش‌های جنوبی حوضه با قرارگیری در پهنه‌هایی با پتانسیل خیلی زیاد و زیاد، به عنوان سیل‌خیزترین بخش‌های حوضه معرفی شده‌اند. این مناطق به خاطر سنگ بستر آتشفشانی، نفوذپذیری پایین، شیب زیاد، دریافت بارش بیشتر و تراکم شبکه آبراهه بالا قابلیت تولید رواناب بالایی را دارا هستند و از این نظر در کلاس طبقات با پتانسیل خیلی زیاد و زیاد قرار گرفته‌اند. از نظر سیل‌گیری نیمه‌شمالی حوضه بیشترین پتانسیل سیل‌گیری را دارد. این مناطق عمدتاً زمین‌های اطراف رودخانه‌های اصلی، زمین‌های پست و هموار بخش خروجی حوضه را در بر می‌گیرند. از نظر تقسیمات واحدهای اراضی این مناطق عمدتاً به عنوان زمین‌هایی با پستی و بلندی کم و شیب نسبی کمتر از ۱۰ درصد می‌باشند که اغلب نواحی حاشیه‌ای رودخانه‌ها، تراس‌های قدیمی و جدید را در بر می‌گیرند. این مناطق با ویژگی‌هایی همچون شیب کم، ارتفاع نسبی پایین، فاصله کم از رودخانه و انحنای پلان و پروفیل مقعر مشخص شده‌اند.

واژگان کلیدی: پتانسیل سیل‌خیزی، پهنه‌بندی، ANP، منطق‌فازی، ليقوان‌چای.

مقدمه

سیل بزرگ‌ترین و مهم‌ترین بحران اقلیمی است که همه ساله جان هزاران نفر را می‌گیرد و خسارات فراوانی به جامعه انسانی و محیط زیست وارد می‌کند. این پدیده از گذشته‌های بسیار دور همواره موجب ترس و وحشت در جوامع انسانی بوده است (نسرین‌نژاد و همکاران ۱۳۹۳: ۱۶). رخداد سیل یکی از سه مخاطره طبیعی و اصلی ایران است و به جرأت می‌توان گفت که حداقل در سال در یک نقطه از این سرزمین سیلاب قابل توجهی رخ می‌دهد. بر اساس مطالعات انجام گرفته، سالانه ۴۰ رخداد کوچک و بزرگ سیل در اقصی نقاط کشور رخ می‌دهد (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، ۱۳۸۸). وقوع سیل یک واکنش طبیعی در برابر وقوع بارش‌های سنگین، رگباری و ذوب ناگهانی برف ارتفاعات است. با این همه انسان با دست‌اندازی‌های خود در بستر رودخانه و تخریب حوضه‌های آبریز شرایط وقوع این پدیده طبیعی را تسهیل کرده و بر شدت وقوع و خطر آن می‌افزاید. امروزه مبارزه با سیل از طریق مدیریت غیرسازهای حوضه‌های آبریز مورد توجه است، بر همین اساس اولین اقدامی که برای کاهش خطر سیل مطرح می‌شود مهار سیل در سر منشاء آن، یعنی زیر حوضه‌های آبریز است (عبدی، ۱۳۸۵: ۲۰۰). شناخت حوضه از نظر پتانسیل سیل‌خیزی و سیل‌گیری یکی از روش‌های رایج در مبارزه با این مخاطره است. بخش‌های مختلف حوضه پتانسیل معینی را در تولید رواناب و سیل دارند. این نوع پهنه‌بندی امکان شناخت حوضه را از نظر وقوع سیل مشخص می‌کند. شناخت یک حوضه از نظر سیل‌گیری از دیگر موارد مهم در مبارزه با خطرات وقوع سیل است. در واقع در یک حوضه بر اساس ویژگی‌های فیزیکی آن و شدت وقوع سیل، همواره بخش‌هایی از حریم و بستر رودخانه به زیر آب می‌رود. شناخت این مناطق به عنوان مناطق سیل‌گیر از راهکارهای مهم در مقابله با سیل و پیشگیری از افزایش خسارات مالی و جانی آن است. حوضه رودخانه ليقوان چای به عنوان منطقه مورد پژوهش در بخش جنوب‌شرق شهر تبریز و جنوب شهر باسمنج قرار دارد. این حوضه با توجه به اطلاعات ثبت شده (سیلاب ۱۳۷۵) یکی از حوضه‌های سیل‌خیز منطقه می‌باشد. از اینرو لازم است تا حوضه مورد نظر از نظر سیل‌خیزی و سیل‌گیری مورد مطالعه قرار گرفته و نقشه پهنه‌بندی آن تهیه شود.

کارهای متعددی در زمینه سیل در داخل و خارج کشور انجام شده است که به برخی از آنها اشاره می‌شود:

مایر^۱ و همکاران (2009) در پژوهشی با استفاده از رویکرد چند معیاره به تهیه نقشه ریسک سیل‌خیزی برای رودخانه مولد آلمان اقدام کردند. آنها در این مطالعه از دو قانون تصمیم‌گیری چندمعیاره مختلف و یک رویکرد اضافه وزن‌دار برای ارزیابی خطر سیل استفاده کرده‌اند. کین^۲ و همکاران (2011) در بزرگراه‌های منطقه فیولینگ چین با توجه به معیارهای زمین-شناسی، شدت بارش، فراوانی سیلاب، ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی به پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) پرداختند.

تیلا گاتاوانی و همکاران (۲۰۱۱)^۳، همچنین به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مناطق در معرض خطر سیل استان پاپاناسام^۴ (شمال هند) را نقشه‌برداری و پهنه‌بندی کردند. به نظر آنها بخش‌های پرخطر و سیل‌گیر مناطق شهری به دلیل توپوگرافی خاص آنها و مناطق سیل‌گیر ساحلی به دلیل فرسایش ساحلی آنها است. اوزتورک و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی تأثیر تغییرات کاربری اراضی را در هیدرولوژی حوضه‌های آبریز روستایی مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد که حجم رواناب تولیدی به شدت با تغییرات زمین از نوع جنگل به کشاورزی در ارتباط است و واکنش کمتری را در زمین‌های با کاربری جنگلی دارد.

^۱. Meyer

^۲. Qin

^۳ - Thilagavathi

^۴ - Papanasam

هاگ و همکاران^۱ (۲۰۱۲) قابلیت‌های بالای سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور را در ارزیابی و پهنه بندی سیلاب مورد بررسی قرار دادند. آجین و همکاران (۲۰۱۳) به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی، خطر ریسک سیلاب را در رودخانه واما نا پورام^۲ ایالت کرالا^۳ بررسی کردند. به کمک نقشه خطر بدست آمده از پژوهش، پنج منطقه با میزان خطرپذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد نسبت به سیلاب شناسایی و طبقه بندی شدند.

وانگ^۴ و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از روش راندوم فارست مدل‌های خطر سیلاب را در حوضه رودخانه دانجیانگ^۵ مورد ارزیابی قرار دادند. آنها از ۵ هزار نمونه برای ارزیابی مدل‌ها استفاده کردند. نتایج نشان داد نرخ خطای ارزیابی هم در یافته های مدل و هم نقاط کنترلی با افزایش نقاط نمونه کاهش می‌یابد. یافته‌های پژوهش به عنوان عاملی در کاهش آسیب‌های ناشی از مخاطره سیلاب در حوضه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفت.

کرم و درخشان (۱۳۹۱) در پژوهشی حوضه آبریز آبشوران کرمانشاه را از نظر پهنه‌بندی سیل‌خیزی، برآورد سیلاب و ارزیابی کارایی کانال‌های دفع آبهای سطحی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج پژوهش نشان داد که حدود ۳۰ درصد مساحت حوضه دارای پتانسیل سیل‌خیزی بالا است. همچنین با توجه به برآورد دبی حداکثر سیلابی و تجربه سال‌های گذشته، کانال‌های دفع آب سطحی ناشی از سیلاب در این بخش از شهر کرمانشاه توانایی لازم برای عبور و دفع سیلاب را ندارد.

عابدینی و شاه‌محمدی (۱۳۹۳) در پژوهشی مدلسازی حداکثر دبی سیلاب شهری را برای مشکین شهر انجام دادند. آنها در این پژوهش از نرم‌افزار WMS و GIS استفاده کردند. نتایج پژوهش نشان داد دخالت غیر اصولی در بالادست حوضه شهری، عدم طراحی متناسب کانال‌های تخلیه آب و بارش‌های شدید جزو عوامل مهم در شکل‌گیری سیلاب‌های شدید شهری است.

اسکندری‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از مدل منطق فازی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی و سیل‌گیری حوضه نمرود را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج کارشان نشان داد که 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 دارند. جباری و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی رابطه بین شاخص LFH و پهنه‌های سیل در دوره بازگشت‌های مختلف را در رودخانه قره‌سو مورد مطالعه قرار دادند. نتایج کار نشان داده که بیشترین همبستگی با LFH محاسباتی ۲ ساله وجود دارد و می‌توان پهنه سیل ۲ ساله را به طور غیرمستقیم با مدل رگرسیون چند جمله‌ای درجه دوم پیش‌بینی کرد. از دیگر کارهای مرتبط با موضوع می‌توان به پژوهش صورت گرفته توسط ژئی‌هوآشی و همکاران (۲۰۰۹)، کوتگودا و همکاران (۲۰۰۰)، کو^۶ و جی‌سکارا و همکاران (۲۰۱۲)، یانگ و همکاران (۲۰۱۵)^۷، پریرو همکاران^۸ (۲۰۱۵) خسروی (۲۰۱۶) ملکیان و همکاران (۱۳۹۱)، مددی و بهشتی‌جاوید (۱۳۹۱)، موسوی و همکاران (۱۳۹۵)، عامری عرب و همکاران (۱۳۹۵) اشاره کرد.

1 - Haq

2 - Vamanapuram

3 - Kerala

۴ - wang

۵ - Dongjiang

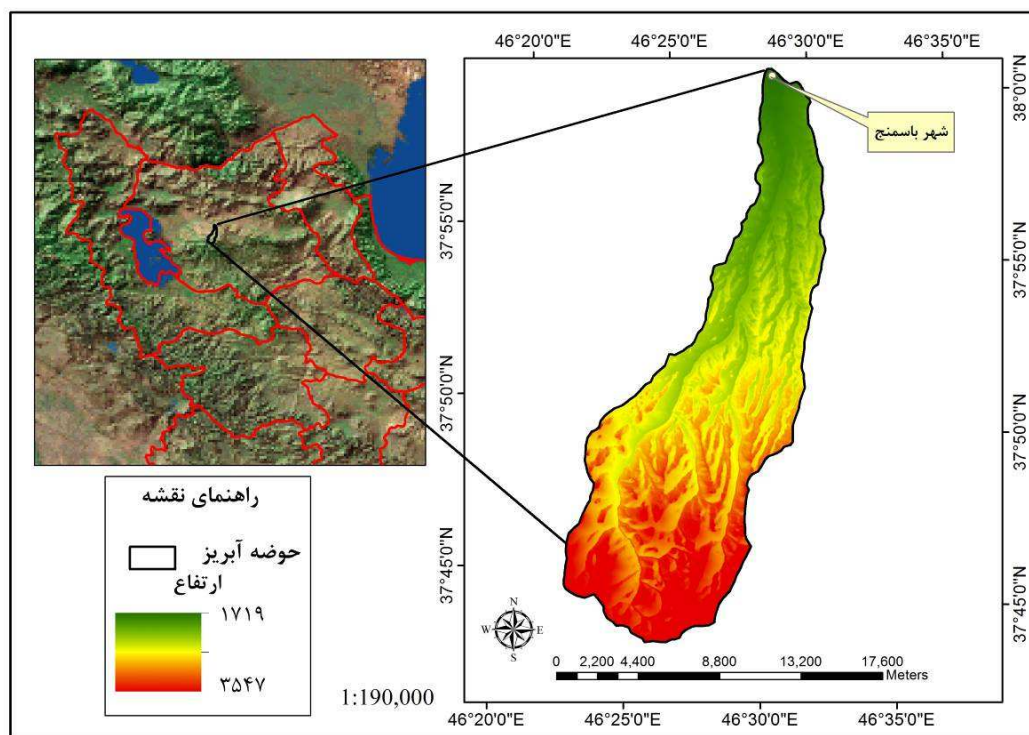
66 - Khosravi et al

7 - Yang et al

8 - Perera et al

منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی و سیل‌گیری حوضه آبریز لیقوان در استان آذربایجان شرقی مورد بررسی قرار گرفته است (شکل شماره ۱). این رودخانه از دامنه‌های شمالی سهند سرچشمه گرفته و بعد از عبور از شهرهای باسمنج و تبریز در نهایت به دریاچه ارومیه می‌ریزد. ارتفاع حوضه در نظر گرفته شده بین ۱۷۱۹ تا ۳۵۴۷ متر در نوسان است. رژیم بارندگی در منطقه اساساً از نوع مدیترانه‌ای است که از طریق یک فصل پر باران و برفی منطبق بر ایام سرد سال، تحت تاثیر بادهای غربی و فرود مدیترانه‌ای و فصل خشک منطبق بر شرایط پایداری و استقرار پرفشار جنب مداری مشخص می‌شود. در طول دهه‌های گذشته و به ویژه در سال‌های اخیر، وقوع سیلاب‌های مخاطره‌آمیز در حوضه آبریز لیقوان چای منطقه سهند شهر تبریز (نظیر سیلاب ۱۳۷۵) خسارت‌های مالی و جانی زیادی را در منطقه به بار آورده است. در همین راستا و در جهت شناخت حوضه لیقوان چای، این منطقه از نظر پتانسیل سیل‌خیزی و سیل‌گیری مورد مطالعه قرار گرفته است. جهت انجام این کار از مجموعه‌ای از داده‌های اقلیمی، ژئومورفولوژیکی، زمین‌شناسی و ترکیب مدل‌های فرایند تحلیل شبکه ۱ و منطق‌فازی استفاده شده است.



شکل ۱: نقشه موقعیت حوضه آبریز لیقوان در استان آذربایجان شرقی

داده‌ها و روش‌ها

با توجه به هدف پژوهش یعنی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی و سیل‌گیری حوضه، مجموعه‌ای از پارامترهای طبیعی مورد استفاده قرار گرفته است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش با توجه به هدف کار شامل لایه‌های اطلاعاتی شیب، کاربری اراضی، شاخص تراکم پوشش گیاهی^۲، انحناء پروفیل و انحنای پلان، بارش، تراکم شبکه زهکشی، جنس‌سازند، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از آبراهه و جنس خاک می‌شود. برای استخراج این لایه‌ها از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس

^۱ - Network processing Modeling

^۲ - NDVI

۱:۲۵۰۰۰ منطقه، نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، مدل رقومی ارتفاعی زمین با قدرت تفکیک زمینی ۱۰ متر، تصاویر ماهواره لندست و داده‌های بارش منطقه استفاده شده است.

برای بدست آوردن لایه‌های شیب زمین، جهت شیب، انحنای پروفایل، انحنای پلان و لایه ارتفاع از مدل رقومی ارتفاعی منطقه استفاده شده است. همچنین با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی منطقه لایه شبکه زهکشی منطقه استخراج شده و در محیط نرم‌افزار Arcmap لایه‌های فاصله از رودخانه و تراکم شبکه زهکشی تهیه شد. برای تهیه لایه جنس سازند از نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه کمک گرفته شده است. همچنین لایه‌های اطلاعاتی جنس خاک و کاربری زمین از سازمان منابع طبیعی استان تبریز تهیه و آماده سازی شد. در نهایت از تصاویر ماهواره لندست برای تهیه شاخص تراکم پوشش گیاهی منطقه استفاده شد.

هر کدام از لایه‌های اشاره شده در بالا با توجه به مورفومتری و همچنین توانایی که در نگهداشت و ایجاد رواناب دارند عملکرد متفاوتی را در ایجاد سیل‌خیزی و سیل‌گیری ایفا می‌کنند. بر همین اساس نحوه استفاده و کاربرد آنها در پهنه‌بندی تهیه شده برای سیل‌خیزی و سیل‌گیری حوضه به یک صورت نیست. مدلی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته مدل فرآیند تحلیل شبکه می‌باشد همچنین برای استانداردسازی لایه‌ها در کنار این مدل از مدل منطق فازی استفاده شده و لایه‌های مورد استفاده از طریق توابع موجود در آن فازی‌سازی شدند.

روش‌شناسی

فرآیند تحلیل شبکه

مدل فرآیند تحلیل شبکه شکل گسترده‌ای از مدل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی است، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی توسط ساعتی در سال ۱۹۸۰ معرفی شد (ساعتی^۱، ۱۹۸۰). فرض اصلی این روش وجود استقلال زیر معیارها با هم است (ساعتی، ۲۰۰۶). ساعتی در مواردی که این اصل نقض می‌شود و ساختار مسئله به شکل شبکه‌ای می‌شود، روش فرآیند تحلیل شبکه را معرفی می‌کند (عمل‌نیک و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۰۲). فرآیند تحلیل شبکه هر موضوع را به شکل شبکه‌ای از معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها که با یکدیگر در خوشه‌هایی جمع شده‌اند در نظر می‌گیرد. تمامی عناصر در یک شبکه می‌توانند به هر شکل دارای ارتباط با یکدیگر باشند. به عبارت دیگر در یک شبکه بازخورد و ارتباط متقابل بین و میان خوشه‌ها امکان‌پذیر است (گارسیا ملون^۲، ۲۰۰۸: ۱۴۵). بنابراین مدل فرآیند تحلیل شبکه را می‌توان متشکل از دو قسمت دانست: سلسله‌مراتب کنترلی^۳ و ارتباط شبکه‌ای^۴. سلسله‌مراتب کنترلی ارتباط بین هدف، معیارها و زیر معیارها را در بر می‌گیرد و بر ارتباط درونی سیستم تأثیرگذار است و ارتباط شبکه‌ای وابستگی بین عناصر و خوشه‌ها را شامل می‌شود (ساعتی، ۱۹۹۹: ۱).

فرآیند تحلیل شبکه شامل ۴ مرحله اساسی است که به ترتیب عبارتند از: ۱- ساخت مدل و ایجاد یک ساختار شبکه‌ای ۲- مقایسه دودویی و تعیین بردارهای اولویت مشابه آنچه در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی در مقایسه معیارها صورت می‌گیرد، در فرآیند تحلیل شبکه نیز تکرار می‌شود. ۳- تشکیل سوپر ماتریس اولیه و ناموزون^۵. ۴- تشکیل سوپر ماتریس موزون^۶ ۵- در نهایت تشکیل سوپر ماتریس حدی^۷، در این مرحله از مدل تمامی عناصر سوپر ماتریس موزون به حدی به

1 - Saaty

2 - Garcia-Melon

3 - Control Hierarchical

4 - Network Relationship

5 - Unweighted super matrix

6 - weighted super matrix

7 - Limit super matrix

توان می‌رسند تا همگرا شده و مقادیر آن با هم برابر شوند. با تشکیل سوپر ماتریس حد بردار وزن عمومی به دست می‌آید (لی^۱ و همکاران: ۲۰۰۸: ۲-۱). شکل شماره ۲ قالب عمومی یک سوپر ماتریس را نشان می‌دهد. در این سوپر ماتریس، ماتریس W_{21} نتیجه مقایسات دودویی معیارهای اصلی و بردار موزون حاصل از آن است، ماتریس W_{22} نتیجه مقایسه دودویی وابستگی درونی معیارهای اصلی، ماتریس W_{32} مقایسه دودویی زیرمعیارهای هر یک از معیارهای اصلی و ماتریس W_{33} مقایسه دودویی وابستگی درونی زیرمعیارها را نشان می‌دهد.

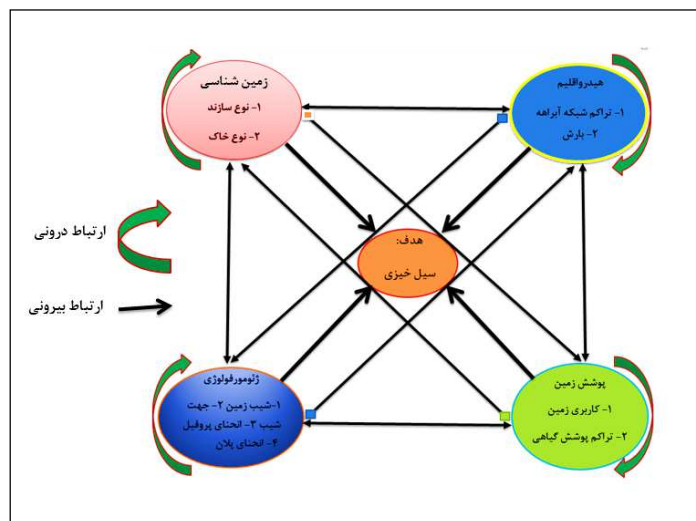
| | | خوشه‌ها | | |
|-------------------|----------|----------|---------------|------------|
| | | هدف | معیارهای اصلی | زیرمعیارها |
| هدف | 0 | 0 | 0 | |
| معیارهای اصلی W | W_{21} | W_{22} | 0 | |
| زیرمعیارها | 0 | W_{32} | W_{33} | |

شکل ۲: قالب عمومی یک سوپر ماتریس اولیه (مأخذ: زبردست ۱۳۸۹: ۸۹)

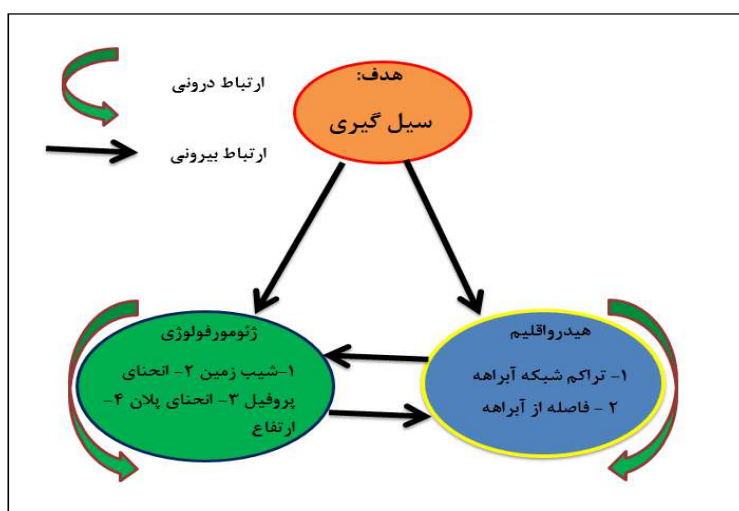
فازی‌سازی معیارها

معیارهای به کار رفته در مدل با توجه به ماهیتشان هر کدام مقیاس‌های اندازه‌گیری بخصوصی دارند (متر، درجه، درصد و گاهاً به صورت کیفی می‌باشند) و عملکرد متفاوتی را در سیل‌خیزی و سیل‌گیری ایفا می‌کنند. علاوه بر این هر کدام از این معیارها خود دارای طبقه‌بندی‌های منحصر به فردی هستند که این طبقات با توجه به دسته‌بندی صورت گرفته از شرایط متفاوتی نسبت به سایر طبقات برخوردار هستند. از این رو لازم است برای رفع این موانع و یکسان‌سازی مقیاس‌های اندازه‌گیری و تعیین سطح تأثیر طبقات در پهنه‌بندی از روشی مناسب استفاده شود. از مدل‌های مناسب در این زمینه می‌توان به مدل منطق فازی و توابع فازی اشاره کرد. در این پژوهش برای یکسان‌سازی مقیاس‌ها از روش منطق فازی استفاده شده است.

در اولین مرحله از اجرای مدل پارامترهای مورد استفاده در مدل‌سازی با توجه به ماهیتی که دارند در چهار خوشه اصلی هیدرواقلیم، ژئومورفولوژی، جنس زمین و پوشش‌زمین برای پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی و دو خوشه ژئومورفولوژی (پارامترهای شیب زمین، ارتفاع، انحنای پلن و پروفیل) و هیدرواقلیم (پارامترهای فاصله از آبراهه و تراکم شبکه آبراهه) برای پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری دسته‌بندی شدند. در ادامه با در نظر گرفتن ارتباط شبکه‌ای موجود بین خوشه‌ها و پارامترها، ساختار شبکه‌ای بین پارامترها ایجاد شد. در شکل شماره ۳ و ۴ به ترتیب ساختار شبکه‌ای در نظر گرفته شده برای پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی و سیل‌گیری نشان داده شده است.



شکل ۳: ساختار شبکه‌ای در نظر گرفته شده برای پهنه بندی سیل خیزی



شکل ۴: ساختار شبکه‌ای در نظر گرفته شده برای پهنه بندی سیل گیری

بحث و یافته‌های پژوهش

با تشکیل ساختار شبکه‌ای بین خوشه‌ها و پارامترها نوبت به اجرای مدل فرآیند تحلیل شبکه، تشکیل سوپرماتریس‌ها و مقایسات زوجی می‌رسد. با توجه به وجود دو هدف: پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی و پتانسیل سیل گیری در پژوهش و تأثیر متفاوت پارامترها در آنها، برای هر کدام از اهداف به صورت جداگانه و از دیدگاه تأثیر پارامترها در سیل خیزی و سیل گیری مدل فرآیند تحلیل شبکه اجرا شده و وزن نسبی آنها نسبت به هم به دست آمد. برای انجام این کار و مقایسه زوجی معیارها از نظر متخصصان و افراد مجرب در رابطه با موضوع پژوهش و پرسشنامه استفاده شده است. در نهایت با میانگین گیری از مقایسات زوجی انجام شده توسط این افراد، امتیازات بدست آمده برای استفاده در نرم‌افزار در ماتریس نهایی قرار گرفت. تمامی مراحل مربوط به ایجاد خوشه‌ها، مقایسات زوجی، تشکیل سوپرماتریس‌ها و در نهایت به دست آوردن وزن نسبی پارامترها در محیط نرم‌افزار Super Decision صورت گرفته است. جداول شماره ۱ و ۲ به ترتیب سوپرماتریس موزون و سوپرماتریس حد برای پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی و جداول شماره ۳ و ۴ سوپرماتریس موزون و سوپرماتریس حد به همراه وزن نهایی پارامترها برای پهنه‌بندی پتانسیل سیل گیری را نشان می‌دهد.

جدول ۱: سوپرماتریس موزون برای هدف سیل خیزی (با استفاده از نرم‌افزار Super decision)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| انحنای پروفیل | ۰/۰۳۴ | ۰/۰۳۴ | ۰/۰۳۴ | ۰/۰۳۴ | ۰/۰۳۴ | ۰/۰۳۴ | ۰/۰۳۴ | ۰/۰۳۴ | ۰/۰۳۴ | ۰/۰۳۴ | ۰/۰۳۴ | ۰/۰۳۴ | ۰/۰۳۴ | ۰/۰۳۴ | ۰/۰۳۴ |
| بارش | ۰/۱۰۶ | ۰/۱۰۶ | ۰/۱۰۶ | ۰/۱۰۶ | ۰/۱۰۶ | ۰/۱۰۶ | ۰/۱۰۶ | ۰/۱۰۶ | ۰/۱۰۶ | ۰/۱۰۶ | ۰/۱۰۶ | ۰/۱۰۶ | ۰/۱۰۶ | ۰/۱۰۶ | ۰/۱۰۶ |
| شیب | ۰/۱۸ | ۰/۱۸ | ۰/۱۸ | ۰/۱۸ | ۰/۱۸ | ۰/۱۸ | ۰/۱۸ | ۰/۱۸ | ۰/۱۸ | ۰/۱۸ | ۰/۱۸ | ۰/۱۸ | ۰/۱۸ | ۰/۱۸ | ۰/۱۸ |
| خاک | ۰/۰۷۵ | ۰/۰۷۵ | ۰/۰۷۵ | ۰/۰۷۵ | ۰/۰۷۵ | ۰/۰۷۵ | ۰/۰۷۵ | ۰/۰۷۵ | ۰/۰۷۵ | ۰/۰۷۵ | ۰/۰۷۵ | ۰/۰۷۵ | ۰/۰۷۵ | ۰/۰۷۵ | ۰/۰۷۵ |

با به دست آوردن سوپرماتریس‌های موزون و حد، وزن هر یک از پارامترها به دست آمد که در واقع ضریب تأثیر هر یک از معیارها در سیل‌خیزی و سیل‌گیری یک منطقه را نشان می‌دهد. بر اساس مقایسات انجام شده معیارهای شیب (۰/۱۸)، سنگ‌شناسی (۰/۱۲۵)، جهت شیب (۰/۱۱۸) بیشترین ضریب تأثیر را در سیل‌خیزی و پارامترهای شیب (۰/۲۲۹)، انحنای پلان (۰/۲) و انحنای پروفیل (۰/۱۳۴) بیشترین ضریب تأثیر را در سیل‌گیری حوضه دارند.

جدول ۳: سوپر ماتریس موزون برای هدف سیل‌گیری (با استفاده از نرم‌افزار Super decision)

| هدف | معیارها | زیرمعیارها | | | | | | | | |
|------------|-----------------|------------|---------------|-------------|--------|-----------------|-------------------|--------------|-----------|----------|
| | | شیب | انحنای پروفیل | انحنای پلان | ارتفاع | فاصله از آبراهه | تراکم شبکه آبراهه | ژئومورفولوژی | هیدرواقلم | سیل خیزی |
| هدف | سیل خیزی | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| معیارها | هیدرواقلم | ۰/۳۳ | ۰ | ۰/۶۶ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| | ژئومورفولوژی | ۰/۶۶ | ۰/۶۶ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| زیرمعیارها | شبکه آبراهه | ۰ | ۰/۰۸۳ | ۰ | ۰ | ۰/۴۱۸ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| | فاصله از آبراهه | ۰ | ۰/۲۵ | ۰ | ۰/۲۸ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۳۹ |
| | ارتفاع | ۰ | ۰ | ۰/۱۴۹ | ۰/۳۸ | ۰/۲۷ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۲۱ |
| | انحنای پلان | ۰ | ۰ | ۰/۰۹۴ | ۰ | ۰/۱۲ | ۰/۶۶ | ۰ | ۰/۳۳ | ۰/۱۸ |
| | انحنای پروفیل | ۰ | ۰ | ۰/۰۵۴ | ۰ | ۰ | ۰/۳۳ | ۰/۱۹ | ۰ | ۰/۲ |
| | شیب | ۰ | ۰ | ۰/۰۳۵ | ۰/۳۳ | ۰/۱۹ | ۰ | ۰/۳۱ | ۰/۶۶ | ۰ |

جدول ۴: سوپر ماتریس حد برای هدف سیل‌خیزی (با استفاده از نرم‌افزار Super decision)

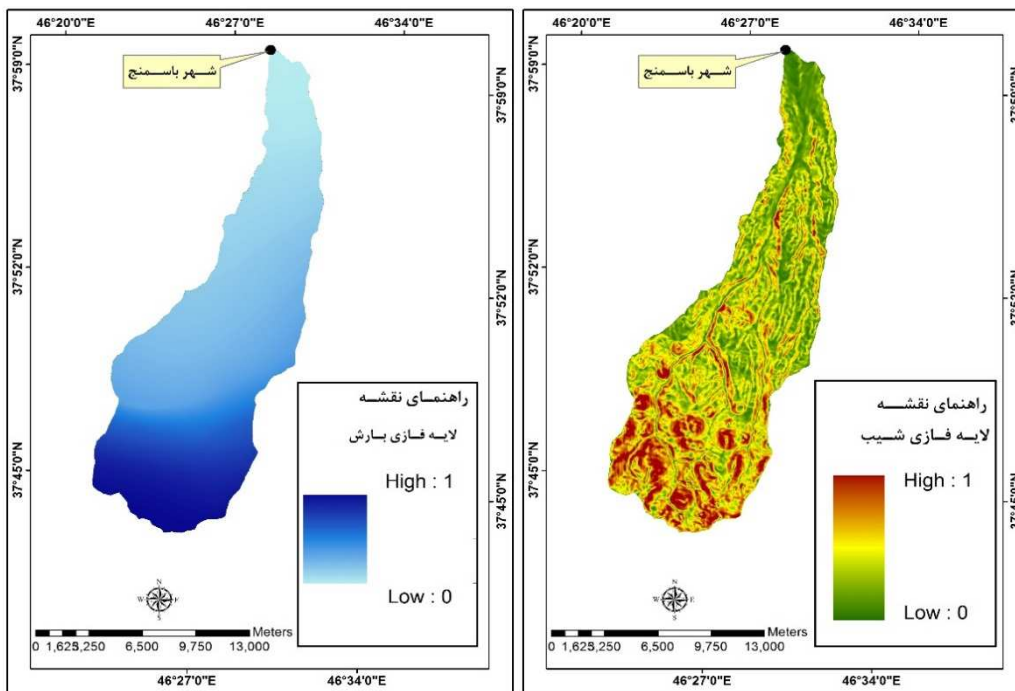
| هدف | معیارها | زیرمعیارها | | | | | | | | |
|------------|-----------------|------------|---------------|-------------|--------|-----------------|-------------------|--------------|-----------|----------|
| | | شیب | انحنای پروفیل | انحنای پلان | ارتفاع | فاصله از آبراهه | تراکم شبکه آبراهه | ژئومورفولوژی | هیدرواقلم | سیل خیزی |
| هدف | سیل خیزی | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| معیارها | هیدرواقلم | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| | ژئومورفولوژی | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| زیرمعیارها | شبکه آبراهه | ۰/۱۵۵ | ۰/۱۵۵ | ۰/۱۵۵ | ۰/۱۵۵ | ۰/۱۵۵ | ۰/۱۵۵ | ۰/۱۵۵ | ۰/۱۵۵ | ۰/۱۵۵ |
| | فاصله از آبراهه | ۰/۱۳۵ | ۰/۱۳۵ | ۰/۱۳۵ | ۰/۱۳۵ | ۰/۱۳۵ | ۰/۱۳۵ | ۰/۱۳۵ | ۰/۱۳۵ | ۰/۱۳۵ |
| | ارتفاع | ۰/۱۴۵ | ۰/۱۴۵ | ۰/۱۴۵ | ۰/۱۴۵ | ۰/۱۴۵ | ۰/۱۴۵ | ۰/۱۴۵ | ۰/۱۴۵ | ۰/۱۴۵ |
| | انحنای پلان | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ |
| | انحنای پروفیل | ۰/۱۳۴ | ۰/۱۳۴ | ۰/۱۳۴ | ۰/۱۳۴ | ۰/۱۳۴ | ۰/۱۳۴ | ۰/۱۳۴ | ۰/۱۳۴ | ۰/۱۳۴ |
| | شیب | ۰/۲۲۹ | ۰/۲۲۹ | ۰/۲۲۹ | ۰/۲۲۹ | ۰/۲۲۹ | ۰/۲۲۹ | ۰/۲۲۹ | ۰/۲۲۹ | ۰/۲۲۹ |

برای تعیین سطح تأثیرگذاری طبقات مختلف پارامترها در سیل‌خیزی و سیل‌گیری همچنین برای استانداردسازی مقیاس‌ها لازم است تا از یک روش مناسب برای این کار استفاده شود. لذا در این مرحله هر یک از معیارها بر اساس عملکردشان در تولید رواناب و سیل‌خیزی و سیل‌گیری با استفاده از توابع عضویت، فازی سازی شدند. در جدول شماره ۵ توابع مربوط به معیارهای رستری آورده شده است. برای فازی‌سازی داده‌های برداری (لایه کاربری زمین، جنس سازند و

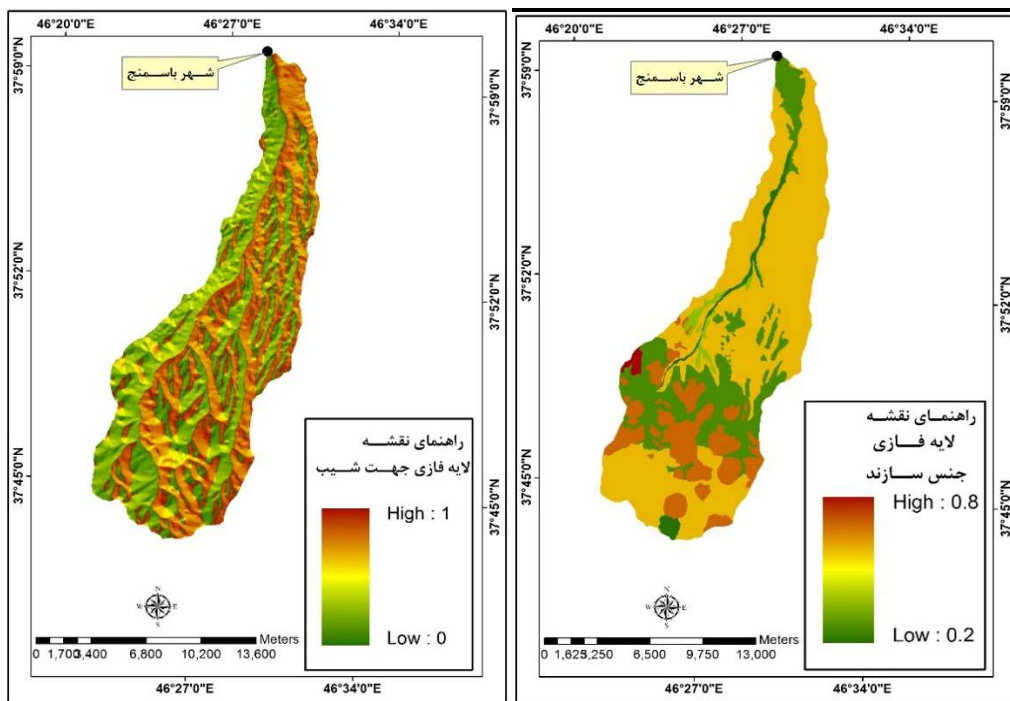
جنس خاک) نیز به این صورت عمل شد، ابتدا کلاس‌های هر یک از لایه‌ها با توجه به عملکردشان در سیل‌خیزی بین ۰ تا ۱ وزن‌دهی شدند و در نهایت با تبدیل به لایه رستری فازی‌سازی شدند. پس از تعیین تابع عضویت فازی پارامترها، این توابع در محیط نرم‌افزار Arc map بر روی پارامترها اجرا شده و نقشه فازی آنها به دست آمد. در شکل‌های شماره ۵، ۶ و ۷ لایه‌های فازی پارامترهای مورد استفاده در پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی آورده شده است.

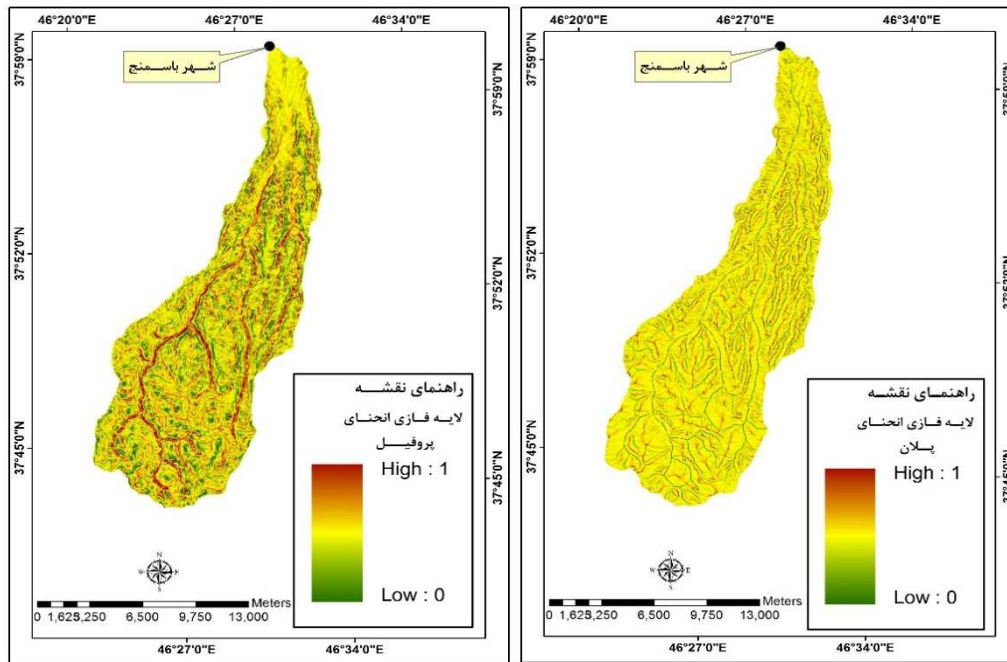
جدول ۵: توابع عضویت لایه‌ها

| پارامتر | توابع عضویت سیل‌خیزی | توابع عضویت سیل‌گیری |
|------------------|---|---|
| شاخص NDVI | $f(x) = \begin{cases} \frac{225 - X}{225} & , \text{If } x \leq 225 \end{cases}$ | - |
| طول شیب | $f(x) = \frac{x - 0}{5832} & , \text{If } x \leq 5832$ | - |
| جهت شیب | $f(x) = \frac{x - 0}{360} & , \text{If } x \leq 360$ | - |
| بارش | $f(x) = \frac{x - 0}{622} & , \text{If } x \leq 622$ | - |
| شیب | $f(x) = \begin{cases} \frac{x - 0}{44} & , \text{If } x \leq 44 \\ 1 & , \text{If } x > 44 \end{cases}$ | $f(x) = \begin{cases} 1 & , \text{If } x \leq 5 \\ \frac{44 - x}{44 - 5} & , \text{If } 5 < x \leq 44 \end{cases}$ |
| انحنای پروفیل | $f(x) = \frac{0.009 - x}{0.009} & , \text{If } x \leq 0.009$ | $f(x) = \frac{x - 0}{0.009} & , \text{If } x \leq 0.009$ |
| انحنای پلانیمتری | $f(x) = \frac{x - 0}{2.76} & , \text{If } x \leq 2.76$ | $f(x) = \frac{2.27 - x}{2.27} & , \text{If } x \leq 2.76$ |
| تراکم زهکشی | $f(x) = \frac{2.8 - x}{2.8} & , \text{If } x \leq 2.8$ | $f(x) = \frac{x - 0}{2.8} & , \text{If } x \leq 2.8$ |
| ارتفاع | - | $f(x) = \begin{cases} 1 & , \text{If } x \leq 1719 \\ \frac{3547 - x}{3547 - 1719} & , \text{If } 2100 < x \leq 3547 \end{cases}$ |
| فاصله از آبراهه | - | $f(x) = \frac{2394 - x}{2394} & , \text{If } x \leq 2394$ |

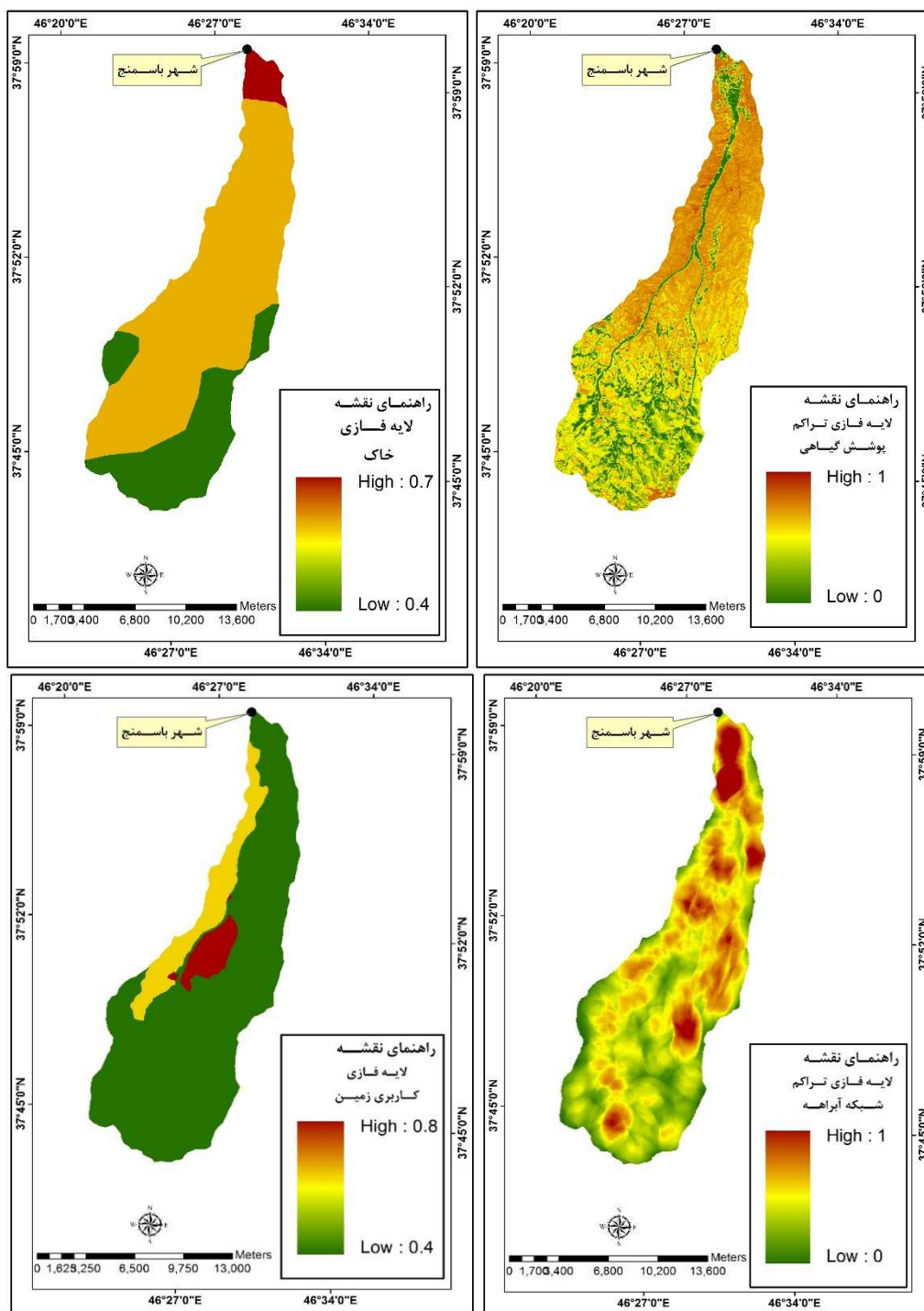


شکل ۵: لایه‌های فازی شده پارامتر شیب زمین، بارش



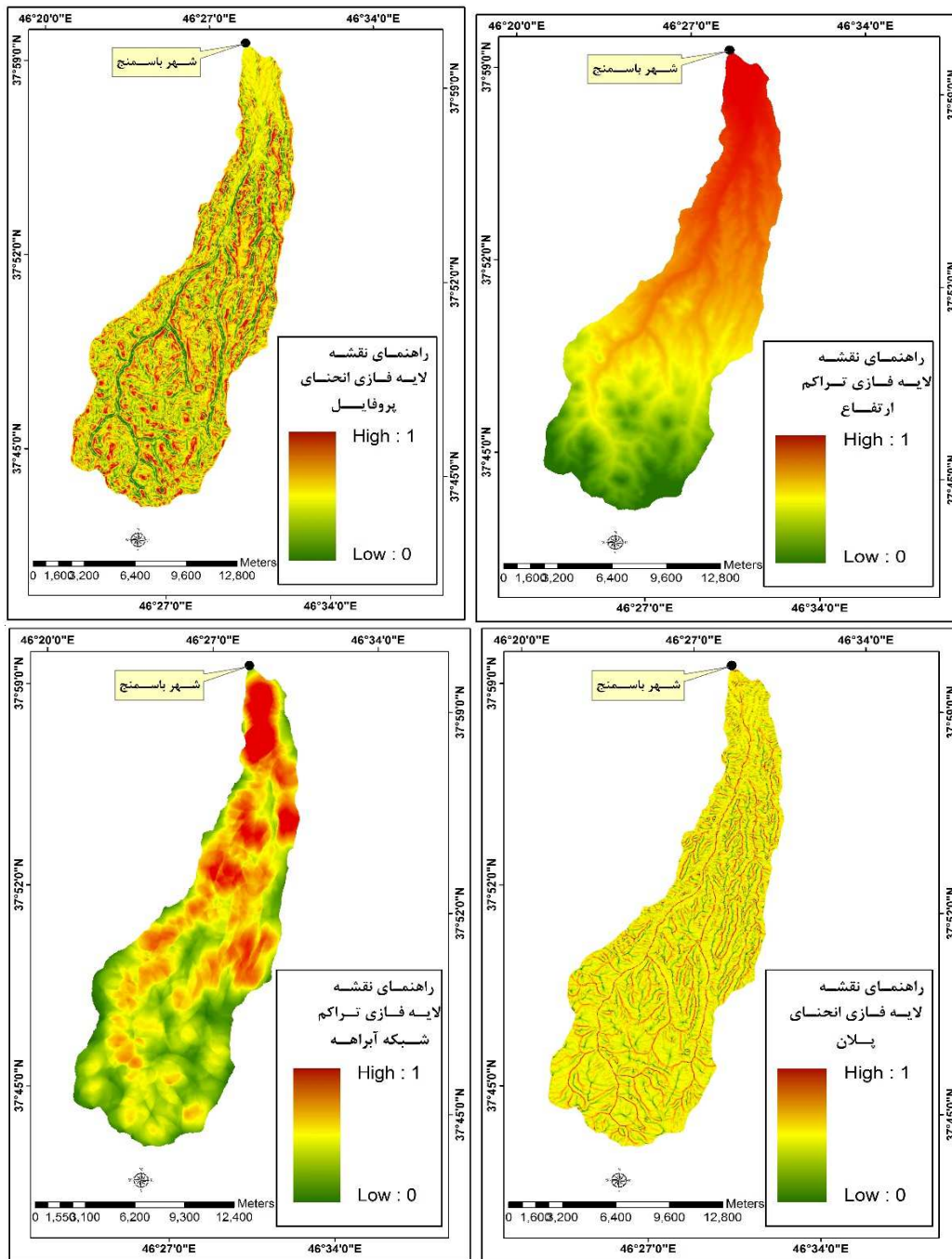


شکل ۶: لایه‌های فازی شده پارامتر جنس سازند، جهت شیب، انحنای پلان، انحنای پروفیل (پهنه بندی پتانسیل سیل‌خیزی)

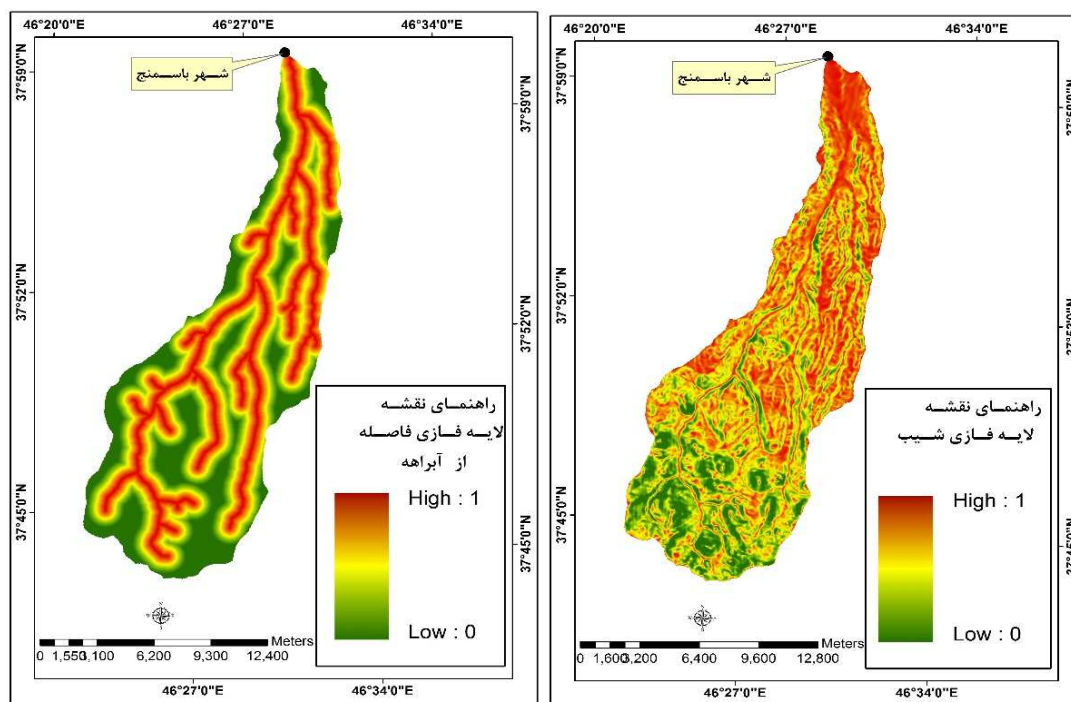


شکل ۷: نقشه فازی تراکم پوشش گیاهی، خاک تراکم شبکه آبراهه و کاربری زمین (پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی)

از بین پارامترهای مورد استفاده در تحقیق شش پارامتر به عنوان پارامترهای تأثیرگذار در سیل‌گیری حوضه در نظر گرفته شده‌اند. این پارامترها با استفاده از توابع عضویت جدول شماره ۵ فازی‌سازی شدند. اشکال شماره ۸ و ۹ لایه‌های فازی‌سازی شده برای پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری را نشان می‌دهند.



شکل ۸: نقشه فازی ارتفاع، انحنای پروفیل، انحنای پلان، تراکم شبکه آبراهه (پهنه بندی پتانسیل سیل گیری)



شکل ۹: نقشه فازی شیب زمین و فاصله از آبراهه (پهنه بندی پتانسیل سیل گیری)

یافته‌های پژوهش

بعد از مرحله فازی سازی، لایه‌ها آماده استفاده در مدل شدند. در این مرحله پارامترهای مورد استفاده در پژوهش با استفاده از وزن‌های بدست آمده از مدل فرآیند تحلیل شبکه (شکل شماره ۳ و ۴) به صورت رابطه شماره ۱ و ۲ از طریق تحلیلگر Raster Calculator روی هم گذاری شدند و در نهایت نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی و سیل گیری برای حوضه بدست آمد.

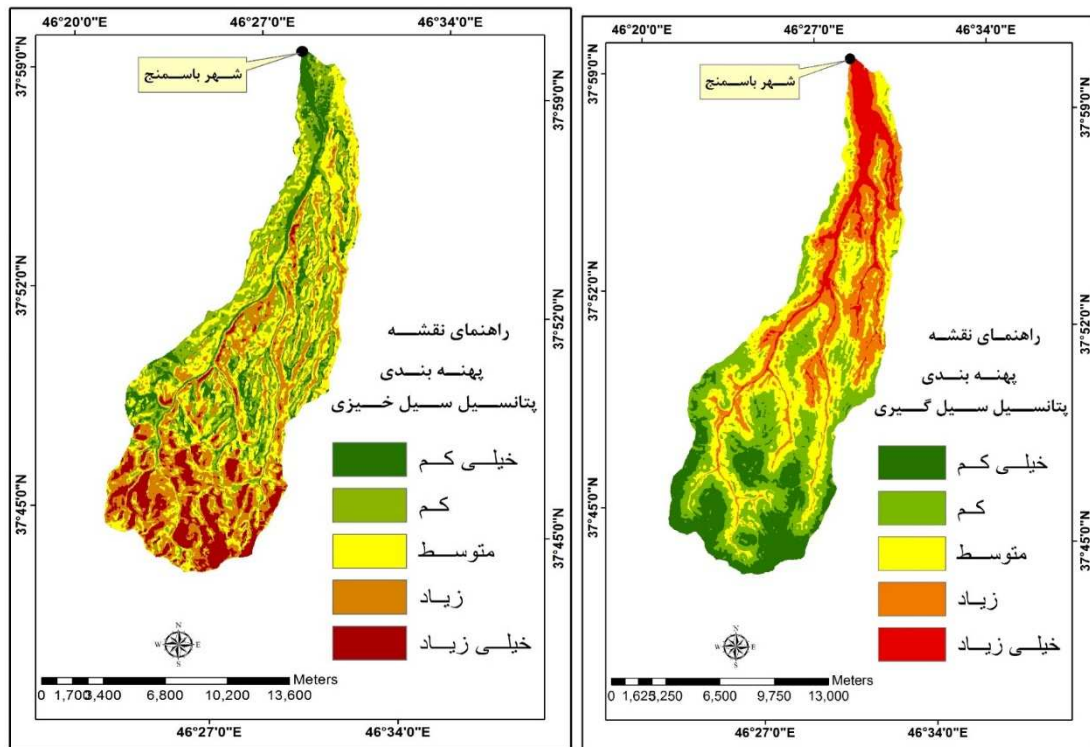
رابطه (۱)

$$\text{نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی} = (\text{کاربری زمین} * 0/084) + (\text{جهت دامنه} * 0/118) + (\text{انحنای پلن} * 0/107) + (\text{تراکم پوشش گیاهی} * 0/083) + (\text{بارندگی} * 0/106) + (\text{انحنای پروفیل} * 0/034) + (\text{شیب} * 0/18) + (\text{خاکشناسی} * 0/075) + (\text{سنگ شناسی} * 0/126) + (\text{تراکم شبکه آبراهه} * 0/019)$$

رابطه (۲)

$$\text{نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل گیری} = (\text{انحنای پلان} * 0/2) + (\text{انحنای پروفیل} * 0/134) + (\text{شیب} * 0/229) + (\text{ارتفاع} * 0/145) + (\text{فاصله از آبراهه} * 0/135) + (\text{تراکم شبکه آبراهه} * 0/155)$$

نقشه‌های به دست آمده از مدل با استفاده از روش شکستگی‌های طبیعی پتانسیل سیل خیزی و سیل گیری در پنج کلاس (پتانسیل خیلی کم، پتانسیل کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) طبقه‌بندی شد. شکل شماره ۱۰ نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی و شکل شماره ۱۱ نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل گیری حوضه رودخانه ليقوان را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰: نقشه پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی حوضه ليقوان شکل ۱۱: نقشه پهنه بندی پتانسیل سیل گیری حوضه ليقوان

نتایج طبقه بندی نقشه های نهایی (شکل ۱۱ و ۱۲) و وسعت هر یک از طبقات آنها به صورت جدول (۶) ارائه شده است. در این نقشه پتانسیل سیل خیزی کلاس پتانسیل کم و خیلی کم مناطقی هستند که اغلب با کاربری کشاورزی و باغات، سازندهای با نفوذپذیری بالا، شیب کم و ارتفاع پایین مشخصه سازی شده اند. طبق جدول (۶) این مناطق به ترتیب حدود ۲۲/۷ و ۱۲/۳ درصد از مساحت حوضه را در بر گرفته اند. از نظر توزیع فضایی بیشترین تمرکز این طبقات در بخش های پایینی حوضه و در زمین های پست و کم شیب حوضه است، جایی که به دلیل شیب کم و عمق زیاد رسوبات و وجود مواد نفوذپذیر مقدار زیادی از بارش نفوذ می کند. با توجه به این امر قدرت تولید رواناب این مناطق در مقایسه با سایر بخش ها بسیار کم است. عمده ترین مناطق سیل گیر نیز در نیمه شمالی و بخش های خروجی حوضه قرار دارند.

جدول شماره ۶: درصد طبقات مختلف سیل خیز و سیل گیر

| درصد طبقات سیل گیر | درصد طبقات سیل خیز | طبقات پتانسیل سیل خیزی و سیل گیری |
|--------------------|--------------------|-----------------------------------|
| ۸/۸ | ۱۱٪ | خیلی زیاد |
| ۲۱/۵ | ۲۳/۶٪ | زیاد |
| ۲۹/۲ | ۳۰/۴٪ | متوسط |
| ۲۵/۱ | ۲۲/۷٪ | کم |
| ۱۵/۴ | ۱۲/۳٪ | خیلی کم |

نتیجه گیری

در این پژوهش پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی و سیل گیری حوضه رودخانه ليقوان مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. در همین راستا ۱۲ پارامتر طبیعی تهیه شده و پس از آماده سازی های اولیه با استفاده از مدل ترکیبی فرآیند تحلیل شبکه-منطق فازی در پهنه بندی مورد استفاده قرار گرفتند.

بر اساس مدل فرآیند تحلیل شبکه و مقایسات زوجی صورت گرفته برای سیل‌خیزی، معیارهای شیب (۰/۱۸۷)، جنس-سازند (۰/۱۲۵)، جهت‌شیب (۰/۱۱۸)، بیشترین ضریب تاثیر را داشته‌اند. برای سیل‌گیری نیز پارامترهای شیب (۰/۲۲۹)، انحنای پلان (۰/۲) و انحنای پروفیل (۰/۱۳۴) بیشترین ضریب تأثیر را داشته‌اند.

طبق نتایج بدست آمده از پژوهش حوضه رودخانه ليقوان چای از نظر سیل‌خیزی دارای پتانسیل بالایی است و حدود ۳۵ درصد از مساحت منطقه را زمین‌های با پتانسیل سیل‌خیزی زیاد و خیلی زیاد تشکیل می‌دهند. بر اساس نقشه پهنه‌بندی سیل‌خیزی، این مناطق عمدتاً در بخش‌های جنوبی حوضه قرار دارند. این مناطق به دلیل ویژگی‌های زمین‌شناسی (سنگ بستر آتشفشانی با نفوذپذیری پایین)، شیب زیاد، دریافت بارش بیشتر و تراکم شبکه آبراهه بالا قابلیت تولید روان‌آب بالایی را دارا هستند و از این نظر در کلاس طبقات با پتانسیل خیلی زیاد و زیاد قرار گرفته‌اند. از نظر سیل‌گیری مناطق نیمه شمالی حوضه و زمین‌های اطراف آن بیشترین پتانسیل سیل‌گیری را دارا هستند. این مناطق عمدتاً زمین‌های اطراف رودخانه‌های اصلی و زمین‌های پست و هموار بخش خروجی حوضه را در بر می‌گیرند. از نظر تقسیمات واحدهای اراضی این مناطق عمدتاً زمین‌هایی با پستی و بلندی کم و شیب نسبی کمتر از ۱۰ درصد را در بر می‌گیرند که اغلب نواحی حاشیه‌ای رودخانه‌ها و تراس‌های قدیمی و جدید را در بر می‌گیرد. این مناطق عمدتاً دارای ارتفاع پایینی هستند. زمین‌های این مناطق از نظر انحنای پلان به صورت مقعر هستند که همین امر عامل بسیار مهمی در سیل‌گیر بودن آنها است. نتایج طبقه‌بندی نقشه‌های نهایی و وسعت هر یک از طبقات آنها به صورت جدول شماره ۶ ارائه شده است. بر اساس جدول، در نقشه سیل‌خیزی ۱۱ درصد از مساحت حوضه مورد نظر در کلاس خطر با پتانسیل خیلی زیاد و ۲۳/۶ درصد نیز در طبقه با پتانسیل زیاد قرار گرفته‌است که از این نظر در رتبه دوم قرار می‌گیرد. کلاس بعدی طبقات سیل‌خیزی طبقه با پتانسیل سیل‌خیزی متوسط است. این طبقه با در بر گرفتن حدود ۳۰/۴ درصد (جدول ۶) از مساحت حوضه بیشترین وسعت را دارا است. مناطق با پتانسیل متوسط به طور پراکنده در اغلب بخش‌های حوضه قابل مشاهده هستند. در نقشه پتانسیل سیل-گیری، مناطق با پتانسیل زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۸/۸ و ۲۱/۵ درصد از مساحت حوضه را شامل می‌شوند. این مناطق عمدتاً زمین‌های هموار با شیب کمتر از ۱۰ درصد، زمین‌های با ارتفاع کم و پستی و بلندی پایین و تراس‌ها و نواحی حاشیه‌ای رودخانه‌ها را در بر می‌گیرند. بخش اعظم مناطق سیل‌گیر حوضه مورد تحقیق در نیمه‌شمالی و در بخش‌های خروجی آن هستند. در نهایت با توجه به نتایج بدست آمده از پژوهش می‌توان گفت حوضه مورد مطالعه از نظر سیل‌خیزی و سیل‌گیری از توان بالایی برخوردار است. در رابطه با مدل‌های استفاده شده در پژوهش باید اشاره کرد هرچند مدل ترکیبی فوق نتایج مناسب و قابل قبولی را از نظر نحوه مقایسه معیارها و پهنه‌بندی ارائه داده است اما در جهت مقایسه نتایج و دقت‌سنجی نقشه‌های نهایی لازم است تا در کنار آن، از مدل‌های دیگری نیز برای پهنه‌بندی استفاده شود.

منابع

- اسکندری نژاد، فاطمه، مرتضی اف اکتم، موسی اف آرتوبلسکی (۱۳۹۴)، بررسی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه نمرود و تأثیر آن بر ویژگی‌های اقتصادی-اجتماعی منطقه و ارائه راهکارهایی جهت مدیریت آن، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۴، شماره ۱، صص ۷۵-۸۹
- جباری ایرج، قبادیان رسول، احمدی ملاوردی مجید (۱۳۹۶) رابطه بین شاخص *LFH* و پهنه‌های سیل در دوره بازگشت‌های مختلف (مطالعه موردی: رودخانه قره سو)، فضای جغرافیایی: تابستان ۱۳۹۶، دوره ۱۷، شماره ۵۸، صص ۱۹۱-۲۰۷
- زبردست، اسفندیار (۱۳۸۹)، کاربرد فرآیند تحلیل شبکه‌ای (*ANP*) در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، نشریه هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی، شماره ۴۱، بهار ۱۳۸۹.

- عابدینی، موسی، اسمعیلی عوری، اباذر، موسوی، معصومه و سوسن طولابی (۱۳۹۱)، برآورد دبی سیلابی با استفاده از مدل‌های تجربی فولر جاستین، در محیط *Arc GIS* (مطالعه موردی: حوضه شهری ایذه-خوزستان، همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، ۹ اسفند، تهران-خانه اندیشمندان علوم انسانی).
- عابدینی، موسی و نسرین شاه‌محمدی (۱۳۹۳) پهنه‌بندی خطر سیلاب وقوع سیلاب شهری با استفاده مدل‌های *WMS* و *Hegras* مطالعه موردی حوضه آبریز مشکین شهر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی.
- عامری عرب، علیرضا، پورقاسمی، حمید رضا و کورش کیانی (۱۳۹۶)، پهنه‌بندی حساسیت سیل‌گیری با استفاده از روش ترکیبی نوین تئوری بیزین-فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (مطالعه موردی: حوضه آبریز نکا-استان مازندران)، شماره ۲، تابستان، صص ۴۴۷-۴۶۲
- عبدی، پرویز، (۱۳۸۵)، بررسی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه زنجان رود با روش *SCS* و سیستم اطلاعات جغرافیایی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی، کارگاه فنی همزیستی با سیلاب.
- عمل‌نیک، محسن. انصاری‌نژاد، ایوب. انصاری‌نژاد، صمد. میری نرگسی، سینا (۱۳۸۹)، یافتن رابطه علی معلولی و رتبه‌بندی عوامل بحرانی موفقیت و شکست پروژه‌های پیاده‌سازی سیستم‌های اطلاعاتی به کمک ترکیب روش‌های *ANP* و *DEMATEL* فازی گروهی. نشریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره ۴۴، شماره ۲، مهر ماه، صص ۲۱۲-۱۹۵.
- کرم، امیر و فرزانه درخشان (۱۳۹۱) پهنه‌بندی سیل‌خیزی، برآورد سیلاب و ارزیابی کارایی کانال‌های دفع آب‌های سطحی در حوضه‌های شهری (مطالعه موردی: حوضه آبشوران در کرمانشاه)، جغرافیای طبیعی: تابستان ۱۳۹۱، دوره ۵، شماره ۱۶؛ از صفحه ۳۷ تا صفحه ۵۴.
- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور (دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا وزارت نیرو و دفتر نظام فنی اجرایی، راهنمای برآورد رواناب در طراحی شبکه‌های آبیاری و زهکشی، نشریه شماره ۹۱۵؛ ۱۳۸۸).
- موسوی، سیده معصومه، نگهبان سعید، رخشانی مقدم، حیدر و سید محمد حسین زاده (۱۳۹۵) ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی با استفاده از منطق فازی *TOPSIS* در محیط *GIS* (مطالعه موردی: حوضه آبریز شهر باغملک)، شماره ۱۰، صص ۷۹-۹۸
- نسرین‌نژاد، نعمت‌اله، رنگزن، کاظم، کلانتری، نصراله و عظیم صابری (۱۳۹۳) پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز باغان با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (*FAHP*)، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش از دور و *GIS* در علوم منابع طبیعی): زمستان ۱۳۹۳، دوره ۵، شماره ۴؛ از صفحه ۱۵ تا صفحه ۳۴.
- مددی، عقیل، بهشتی‌جاوید، ابراهیم، تغییرات کاربری زمین و اثرات آن در سیل‌خیزی (مطالعه موردی حوضه رودخانه بالخلو). تهران، همایش محیط زیست و انسان، بهمن ۱۳۹۱.
- ملکیان، آرش، افتادگان خوزانی، صغر و غدیر عشورنژاد (۱۳۹۱)، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز اخترباد با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی «زمستان ۱۳۹۱ - شماره ۸۲) (۲۲ صفحه - از ۱۳۱ تا ۱۵۲).
- *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, Istanbul, Turkey, Environmental Geology, 51: 241-256.*
- *Fiorentino M. A, Salvatore Manfreda a, Vito Iacobellis (2007), Peak runoff contributing area as hydrological signature of the probability distribution of floods, Advances in Water Resources 30, p2123-2134.*
- *Garcia-Melon, Monica, Javier Ferris-Onate, Jeronimo Aznar-Bellver, Pablo Aragonés-Beltran, and Rocio Poveda, Farmland appraisal based on the analytic network process, Journal of Global Optimization, 2008, Volume 42, Issue 2, pp 143-155.*

- Haq, M., Akhtar, M., Muhammad, S., Paras, S., Rahmatullah, J., 2012. *Techniques of remote sensing and GIS for flood monitoring and damage assessment: a case study of Sindh province, Pakistan*. *Egypt. J. Rem. Sens. Space Sci.* 15, 135–141.
- Kottegod, N.T., Natale, L. and Raiteri, E. (2000). *Statistical modelling of daily streamflows using rainfall input and curve number technique*. *Journal of Hydrology* 234:170-186.
- Lee, H. et al. (2009). *Selection of technology acquisition mode using the analytic network process*, *Mathematical and Computer Modeling*, Vol. 49, pp. 1274-1282.
- Meyer V, Scheuer S, Haase D. 2009. *A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany*. *Natural Hazards*, 48(1): 17-39.
- Oztürk , Melih, Nadim K. Copty, Ali Kerem Saysel, *Modeling the impact of land use change on the hydrology of a rural watershed*, *Journal of Hydrology*, Volume 497, 8 August 2013, Pages 97–109.20013.
- Saaty, T. L. (1999). *Fundamentals of the Analytic Network Process*, *Proceedings of ISAHP 1999, Kobe, Japan*.
- Saaty, T. (1980). *the analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. New York; London: McGraw-Hill International Book Co.
- Saaty, T. (2006). *Decision making with the analytic network process: economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks*. New York: Springer.
- Stephan, R(2002), *Hydrologic investigation by the U.S Geological survey following the 1996 and 1997 floods in the Upper Yellowstone River, Montana American Recourses Association. Annual Montana Section Meeting. Section one p1-18*.
- Qin Q-m, Tang H-m, Chen Hk. 2011. *Zoning of highway flood-triggering environment for highway in Fuling District, Chongqing*. In: *2011 International Conference on Photonics, 3D imaging, and Visualization*. *International Society for Optics and Photonics*, pp 820530-820530-820538.
- Thilagavathi, G. Tamilenth. S. Ramu C. Baskaran R. (2011), *Application of Gis in Flood Hazard Zonation Studies in Papanasam, Taluk, Thanjavur District, Tamilnadu*, *Advances in Applied Science Research*, 2011, 2 (3):574-585.
- Zhi-HuaShia, Li-DingChen, Nu-FangFang, De-FuQin, Chong-FaCa. *Research of the SCS-CN initial abstraction ratio using rainfall-runoff event analysis in the Three Gorges Area, China*. *Catena*77 (2009)1–7. 2008.
- Wang ,Z., Lai, C., Chen, X., Bai, X., 2015, *Flood hazard risk assessment model based on random forest*, *Journal of Hydrology* 542 , September 2016, pp 1130-1141.
- Wije sekara, G.N. A. Gupta, C. Valeo, J.-G. Hasbani, Y. Qiao, P. Delaney, D.J. Marceau , *assessing the impact of future land-use changes on hydrological processes in the Elbow River watershed in southern Alberta, Canada*, *Journal of Hydrology*, Volumes 412–413, 4 January 2012, Pages 220–232.2012.