

## پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در شهرستان سبزوار با استفاده از منطق فازی

ساناز سعیدی مفرد\*، مهدی آسیایی\*\*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۱۲

### چکیده

یکی از مهم‌ترین راه‌های جهت مقابله با مخاطره سیل پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی می‌باشد. پژوهش حاضر باهدف پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در شهرستان سبزوار با تأکید بر نقاط شهری و روستایی در سال ۱۳۹۹ انجام پذیرفته؛ این پژوهش از نوع کاربردی و در آن از منطق فازی، تحلیل سلسله‌مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است. در این پژوهش هشت معیار شیب، فاصله از رودخانه، ارتفاع، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بارش، تراکم زهکشی و پوشش موردبررسی قرار گرفته‌اند. جهت پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در شهرستان سبزوار بر اساس معیارهای فوق ابتدا فرآیند رسترسازی لایه‌ها انجام و سپس با استفاده از توابع عضویت فازی، فازی و در نهایت نقشه‌های فازی شده لایه‌ها به‌دست‌آمده است. در ادامه نیز با کمک نرم‌افزار اکسل فرآیند مقایسه زوجی معیارها نسبت به یکدیگر انجام و سپس وزن نهایی معیارها با لایه‌های فازی شده ترکیب و در نهایت نقشه‌های به‌دست‌آمده با عملگرهای فازی منطبق و نقشه پهنه‌بندی استخراج گردیده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد متغیرهای مؤثر در ایجاد سیل در منطقه شامل شیب با ضریب وزنی ۰/۳۴۰ و بارش با ضریب ۰/۱۸۴ می‌باشد. البته متغیر پوشش گیاهی با ضریب ۰/۰۲۰ از کمترین تأثیر در منطقه برخوردار می‌باشد. با توجه به نقشه کلاسه‌بندی خطر سیل‌خیزی شهر سبزوار به‌عنوان مهم‌ترین کانون جمعیتی شهرستان در محدوده خطر کم قرار دارد به لحاظ سکونتگاه‌های روستایی نیز اکثر آبادی‌های این شهرستان در پهنه با خطر خیلی کم، کم و متوسط قرار دارند.

**واژه‌های کلیدی:** مخاطرات طبیعی، پهنه‌بندی، سیل، آسیب‌پذیری، منطق فازی، تحلیل سلسله‌مراتبی

\* استادیار شهرسازی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، مشهد، ایران. (نویسنده مسئول).

saeedi.s@mshdiau.ac.ir

\*\* دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه تهران، تهران، ایران. asiaei.mehdi@ut.ac.ir

## مقدمه

بر اساس گزارش‌های مرکز مطالعات آتون در شش ماه اول سال ۲۰۲۰ حداقل ۲۰۷ فاجعه طبیعی در سطح جهان ثبت شده است. این آمار بالاتر از میانگین قرن ۲۱ می‌باشد. با توجه به آمارهای بین‌المللی در سال ۲۰۱۹ حداقل ۲۷ درصد از مخاطرات جهانی در حوزه بلایای طبیعی اتفاق افتاده به طوری که بین ژانویه و ژوئن سال ۲۰۱۹ حداقل ۱۶۳ مخاطره طبیعی ثبت شده است. در نیمه اول سال ۲۰۲۰ خسارات ناشی از مخاطرات طبیعی در سطح جهان ۷۵ میلیارد دلار برآورد می‌شود که نزدیک به خسارات وارده در طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۹ است (Podlaha, 2020: 110). یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی سیل می‌باشد که در صورت وقوع منجر به خسارت‌های فراوانی می‌شود. بر اساس آمار سازمان ملل در حدود ۲/۳ میلیارد نفر در جهان تحت تأثیر آثار ناشی از آن می‌باشند (UNISDR, 2015: 115) به طوری که خسارات وارده از آن به انسان از سایر بلایا نظیر خشک‌سالی بیشتر است (Green, 2014: 250). در یک تعریف سیل رویدادی ناگهانی است که در آن جریان رودخانه و سطح آب به صورت غیرمنتظره افزایش پیدا کرده و باعث خسارات جانی و مالی می‌شود (علیزاده، ۱۳۹۰). عوامل متعددی در بروز سیل دخالت دارند، این عوامل در سه گروه اصلی اقلیمی، خصوصیات منطقه‌ای و فعالیت‌های انسانی خلاصه می‌شود (لطفی، ۱۳۹۰). مطالعات مختلف دلالت بر این موضوع دارد که عدم توجه به حریم رودخانه‌ها باعث ایجاد یک رشد نمایی در فراوانی وقوع سیل و میزان خسارات گردیده است. تشدید سیر صعودی خسارات سیل در دو دهه گذشته سبب شده که آرزوی دیرینه درباره حل قطعی مسئله سیل جای خود را به واقع‌گرایی و درک این واقعیت دهد که همیشه نمی‌توان در مهار سیل‌ها موفق بود بلکه باید کوشید تا پیامدهای زیان‌بار آن را کاهش داد (نصری، ۱۳۸۸). در این میان زیستن در کنار سیل و اعمال سیاست‌های جدید در خصوص مدیریت کاربری اراضی و توسعه مناطق مسکونی حریم رودخانه به منظور کاهش اثرات تخریب آن امری ضروری است (صفاری، ۱۳۹۰). از گام‌های مهم در جهت کاهش آثار زیان‌بار ناشی از سیلاب، شناخت مناطق سیلگیر و درجه‌بندی این مناطق از لحاظ میزان خطر سیل است تا بر اساس نتایج آن بتوان در رابطه با نحوی استفاده از اراضی و کاربری‌های مختلف از جمله توسعه بهینه آتی شهرها و روستاها، کشاورزی خدماتی و تولیدی، تصمیم‌گیری نمود و زیان‌های ناشی از وقوع سیل را کاهش داد. لذا با رشد و توسعه فناوری‌های جدید، روش‌های تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل و محیط ارائه نمایش این نقشه‌ها نیازمند

استفاده از ابزارهای کارآمدتر است از یک‌سو مدل‌های ریاضی جدید و پیشرفته امکانات زیادی جهت تحلیل دقیق‌تر جریان سیلاب در اختیار کاربران می‌گذارد و از سوی دیگر سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی توانایی زیادی جهت تولید نقشه‌های پهنه‌بندی سیل در اختیار کاربران قرار می‌دهد. بنابراین در صورت برقراری ارتباط مناسب میان مدل‌های ریاضی و سیستم اطلاعات جغرافیایی امکان اعمال تغییرات جدید و به‌روزرسانی نقشه‌ها به‌راحتی فراهم‌شده و می‌تواند اطلاعات را بروز در دسترس مدیران و کارشناسان در حوزه‌ای مختلف قرار دهد.

با عنایت به توضیحات فوق و با توجه به رشد شهرسازی در سه دهه گذشته که منجر به گسترش شهرها و تخریب محیط طبیعی گردیده است و همچنین تأثیر فعالیت‌های انسانی و عدم توجه به برنامه‌ریزی‌های شهری و ایجاد شهرها و شهرک‌های جدید در مناطق مستعد، زمینه‌ساز افزایش سطوح نفوذناپذیر شده است که این امر منجر به افزایش دبی آب و وقوع سیل می‌گردد. لذا همان‌طور که اشاره شد یکی از راه‌های مدیریت مخاطرات طبیعی (سیل) پهنه‌بندی پتانسیل وقوع آن می‌باشد که در ادامه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. ایران به واسطه خصوصیات طبیعی از جمله کشورهای آسیب‌پذیر در برابر مخاطرات طبیعی است. لذا شناخت عوامل مؤثر در مخاطرات طبیعی و خسارات ناشی از آن امری مهم می‌باشد. استان خراسان رضوی نیز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین استان‌های کشور هر ساله تحت تأثیر این مخاطرات قرار دارد که متأسفانه منجر به خسارات زیادی می‌شود. از این‌رو توجه به آسیب‌پذیری شهرستان‌های این استان به‌ویژه شهرستان سبزوار امری مهم تلقی می‌گردد.

### پیشینه پژوهش

مطالعات بسیار خوبی در سطح بین‌المللی و ملی انجام‌شده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود. راشتنیا در سال ۲۰۲۱ در پژوهشی به بررسی ارزیابی آسیب‌پذیری سیل با استفاده از شاخص مبتنی بر قاعده فازی در ملبورن، استرالیا پرداخته است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد مهم‌ترین متغیر مؤثر سیل در این شهر مؤلفه فاصله از رودخانه و بارش می‌باشد همچنین بر اساس مطالعه انجام‌شده ۵۱/۶ درصد مساحت منطقه به لحاظ خطر آسیب‌پذیری در مقیاس بسیار کم و کم قرار دارد، در حالی که ۷/۶ درصد از کل منطقه با خطر بالا و بسیار زیاد طبقه‌بندی می‌شوند. ایان در سال ۲۰۲۱ در پژوهشی به مدل‌سازی سیل رودخانه‌ای با استفاده از سنجش‌ازدور در برزیل پرداخته است. نتایج مطالعات و

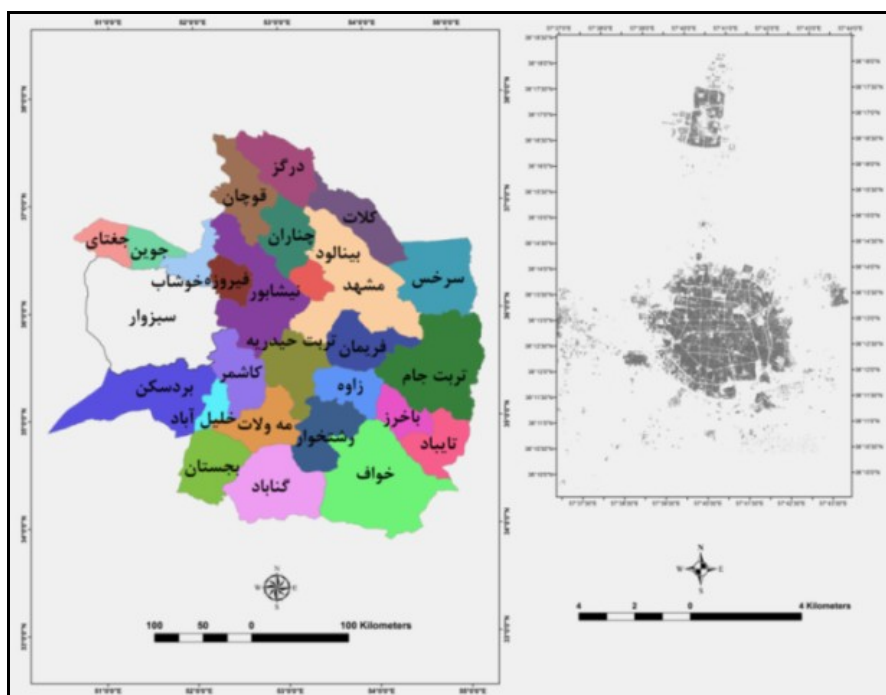
بررسی‌ها نشان می‌دهد متغیرهای فاصله از رودخانه، توپوگرافی و بارش بیشترین تأثیر را در وقوع سیل در برزیل دارند. والینتینا در سال ۲۰۲۱ در مقاله‌ای به ارزیابی میزان آسیب‌پذیری در برابر سیل با استفاده از منطق فازی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی پرداخته است. پژوهش حاضر، به بررسی و ارزیابی میزان آسیب‌پذیری در برابر سیل در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی با استفاده از منطق فازی در حوضه آبریز رودخانه لادا در بلغارستان است. معیارهای مورد مطالعه شامل بارش، فاصله از رودخانه، زمین‌شناسی، کاربری زمین، شیب و ارتفاع است. نتایج نشان می‌دهد که معیار ارتفاع و بارش بیشترین تأثیر را در شدت سیل‌خیزی منطقه مورد مطالعه دارد. ابیشک نیز در سال ۲۰۲۱ در پژوهشی به ارزیابی شدت سیل از مسیرهای ساحلی واقع بین خورهای مورینگانگا و ساپتاموخی دلتای سوندربان هند با استفاده از نسبت فرکانس و منطق فازی پرداخته است. شاخص‌های مورد مطالعه در این پژوهش شش متغیر ارتفاع، فاصله از رودخانه، ژئومورفولوژی، توپوگرافی، جمعیت، فاصله از جاده است. نتایج نشان می‌دهد منطق فازی و مدل تصادفی در پیش‌بینی شدت سیل در منطقه مورد مطالعه نسبت به دو مدل دیگر بهتر هستند. لارس تیرولفا در سال ۲۰۲۱ در پژوهشی به بررسی و مدل‌سازی توسعه شهری و قرار گرفتن در معرض خطر سیل رودخانه‌ای در جنوب شرقی آسیا پرداخته و اقدام به مدل‌سازی و ارزیابی خطر سیل در پنج کشور اصلی جنوب شرقی آسیا نموده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که خسارت پیش‌بینی‌شده سالانه سیل در همه کشورها افزایشی است و از ۸ درصد در تایلند تا ۲۱ درصد در لائوس می‌باشد در کامبوج و لائوس، افزایش خطر سیل بیشتر است در حالی‌که برای میانمار، تایلند و ویتنام، در صورت سناریوی گسترش فیزیکی شهر افزایش خطر سیل پیش‌بینی می‌شود. پراتیک داش در سال ۲۰۲۰ در پژوهشی به شناسایی احتمالی خطر سیل با استفاده از تجزیه و تحلیل چند معیاره مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی و شاخص آب مشتق شده از داده‌های ماهواره‌ای در منطقه الله‌آباد، هند پرداخته، در این پژوهش با تجزیه و تحلیل چند معیاره احتمال خطر سیل شناسایی شده است. این مطالعه شامل هشت معیار تجمع جریان، قابلیت تخلیه، ارتفاع، عمق آب زیرزمینی، کاربری زمین، رواناب، شیب و زمین‌شناسی می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد ۸۱ درصد زمین‌های کشاورزی در این منطقه مستعد سیل هستند. در داخل کشور تحقیقاتی در این خصوص انجام گرفته که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود. خلیلی در سال ۱۳۹۹ به تحلیل و ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب شهری با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات

جغرافیایی در شهر بهشهر پرداخته است. بر اساس نتایج این پژوهش نواحی جنوبی و مرکزی بیشترین آسیب‌پذیری را در برابر سیلاب دارند که ناشی از متغیرهای شیب، کاربری اراضی و بافت فرسوده است خلیلی در سال ۱۳۹۹ در پژوهشی به بررسی ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در منطقه مکران با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخته است. در این مطالعه پنج شاخص به روش تحلیل سلسله مراتبی مورد ارزیابی قرار گرفته و در انتها تحلیل‌های فضایی با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شده است. اسفندیاری در سال ۱۳۹۸ در پژوهشی با عنوان پهنه‌بندی سیلاب حوضه آبخیز آجرلوچای با استفاده از منطق فازی به بررسی سیل‌خیزی در منطقه مورد مطالعه پرداخته و از ۹ پارامتر ارتفاع، اقلیم، واحد اراضی، شیب، لیتولوژی، تراکم زهکشی، خاک، رواناب و کاربری زمین استفاده نموده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشتر مساحت منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل سیل‌خیزی کم، خیلی کم و متوسط است. محمود زاده در سال ۱۳۹۷ در پژوهشی به پهنه‌بندی سیلاب در شهر ساری با استفاده از تحلیل فازی پرداخته است. در این مطالعه ۹ معیار، فاصله از رودخانه، رواناب، ضریب منحنی رواناب، تراکم جمعیت، تراکم مسکونی، شیب، کاربری اراضی، قدمت ابنیه و فضای باز مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که ۲۴/۱۲ درصد در ساری در پهنه‌بندی خطر خیلی زیاد و ۳۷/۰۵ درصد در پهنه‌بندی خطر خیلی کم قرار گرفته است. لذا بر اساس پیشینه تحقیق مطالعه‌ای در سطح شهرستان سبزوار انجام پذیرفته است. لذا هدف اصلی از انجام این پژوهش معرفی متغیرهای تأثیرگذار بر سیل و پهنه‌بندی آن با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد.

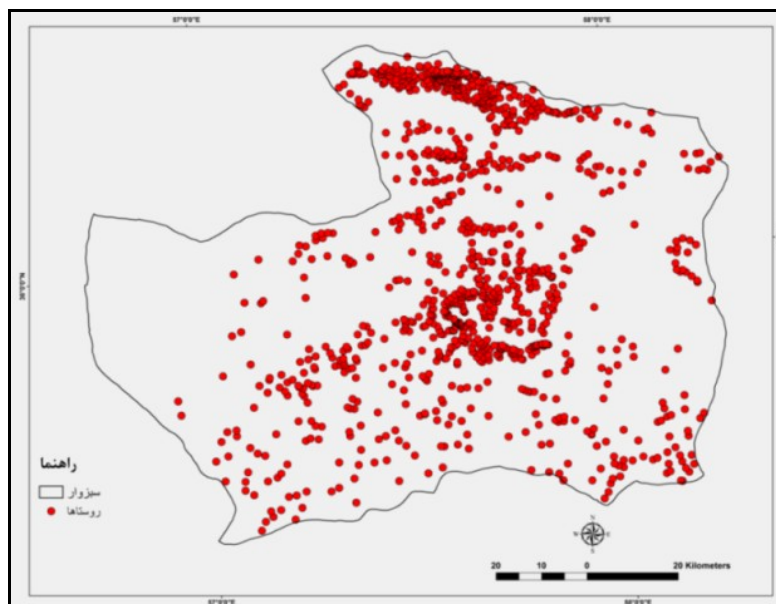
### منطقه مورد مطالعه

شهرستان سبزوار در غرب استان خراسان رضوی و از شمال با شهرستان‌های جوین و جغتایی از مشرق با نیشابور و فیروزه از جنوب با شهرستان‌های کاشمر و بردسکن و از مغرب به شهرستان داورزن و استان سمنان هم‌مرز است این شهرستان در طول جغرافیایی ۵۷ درجه ۳۷ دقیقه تا ۵۷ درجه ۴۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه ۹ دقیقه و ۳۶ درجه ۲۲ دقیقه شمالی واقع می‌باشد (نقشه ۱). متوسط بارش سالانه در این شهرستان

۱۸۷ میلی‌متر است. حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته در این شهرستان در ماه‌های فروردین، دی و بهمن اتفاق می‌افتد که به دلیل پایین بودن درجه حرارت هوا در ماه‌های دی و بهمن ریزش‌ها بیشتر به صورت برف و در فروردین‌ماه به دلیل افزایش درجه حرارت هوا اغلب بارندگی‌ها به شکل رگبار می‌باشد که عامل مهمی در ایجاد سیلاب‌های ناگهانی است. تعداد روزهای یخبندان نیز در طی سال ۶۲ روز می‌باشد که حدود ۵۰ روز آن در ماه‌های آذر، دی و بهمن اتفاق می‌افتد. بر اساس داده‌های هواشناسی متوسط سالانه نم نسبی ۴۱ درصد بوده و دو ماه دی و مرداد به ترتیب با دارا بودن ۶۵ و ۲۳ درصد نم نسبی مرطوب‌ترین و خشک‌ترین ماه‌های سال هستند.



نقشه ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان و شهر سبزوار (مآخذ: نویسنده، ۱۳۹۹)



نقشه ۲- پراکنش جغرافیایی روستاها در شهرستان سبزوار (مآخذ: نویسندگان، ۱۳۹۹)

## روش تحقیق

پژوهش حاضر از نوع کاربردی و با استفاده از منطق فازی، تحلیل سلسله مراتبی، سیستم اطلاعات جغرافیایی و نرم‌افزار اکسل انجام شده است. در ادامه ابتدا به توضیح داده‌های مورد استفاده و سپس روش کار اشاره می‌شود.

الف) داده‌ها: داده‌هایی که در این پژوهش از آنها استفاده شده عبارت است از: لایه ارتفاع که از نقشه رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک‌پذیری  $30 \times 30$  به دست می‌آید. لایه شیب این لایه نیز از نقشه رقومی ارتفاع حاصل می‌شود. لایه زمین‌شناسی این لایه از سازمان زمین‌شناسی اخذ شده است. لایه فاصله از آبراهه این لایه نیز از نقشه رقومی ارتفاع به دست آمده، لایه کاربری اراضی این لایه از اداره کل منابع طبیعی استان تهیه شده است. لایه بارش از سازمان هواشناسی استان تهیه شده است. لایه تراکم شبکه زهکشی این لایه از نقشه رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک‌پذیری  $30 \times 30$  به دست آمده است. لایه پوشش این لایه از اداره کل منابع طبیعی استان تهیه شده است.

ب) روش کار: روش کار در این پژوهش مشتمل بر تحلیل سلسله مراتبی، منطق فازی و استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد.

تحلیل سلسله مراتبی: روش تحلیل سلسله مراتبی یکی از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که توسط ساعتی در سال ۱۹۸۰ معرفی شد (ساعتی، ۱۹۹۴). با وجود مزایای بسیار زیاد تحلیل سلسله مراتبی، دارای کمبودهایی است تصمیم‌گیرندگان اغلب به علت طبیعت فازی مقایسه‌های زوجی قادر نیستند به‌صراحت نظرشان را در مورد اهمیت معیارها بیان کنند، به همین دلیل در قضاوت‌هایشان ارائه یک بازه را به‌جای یک عدد ثابت ترجیح می‌دهند. لذا جهت مدل‌سازی این نوع از عدم اطمینان‌ها از تئوری مجموعه‌های فازی استفاده می‌شود (قدسی‌پور، ۱۳۸۴ و عطائی، ۱۳۸۹).

منطق فازی: در دهه ۱۹۶۰ توسط لطفی زاده استاد دانشگاه برکلی کالیفرنیا، برای اولین بار ارائه شد. وی به‌جای این فرض که یک عنصر یا عضو یک دسته است و یا عضو یک دسته نیست، عضویت جزئی یک دسته را پیشنهاد کرد. لذا با توجه به اینکه پدیده‌هایی نظیر سیل تحت تأثیر عوامل بسیاری قرار دارند و این عوامل قطعی و صددرصدی نیستند، بنابراین بهتر است در مطالعه چنین پدیده‌هایی به‌جای استفاده از مدل بولین از مدل فازی بهره گرفت (مؤمنی، ۱۳۸۷). منطق فازی شیوه‌ای مرسوم برای طراحی و مدل‌سازی یک سیستم که نیازمند ریاضیات پیشرفته و به نسبت پیچیده است را با استفاده از مقادیر و شرایط زبانی و یا به عبارتی با دانش فرد خبره و باهدف ساده‌سازی و کارآمدتر شدن طراحی، جایگزین و یا تا حد زیادی تکمیل می‌نماید (سلامی، ۱۳۸۹). این نظریه در الگو کردن نظریه‌های فیزیکی، نقشه‌برداری و طبقه‌بندی به‌طور گسترده استفاده می‌شود (رستمی، ۱۳۷۸). 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 در حال تغییر است.

تابع عضویت (عدد فازی): عدد فازی عددی است که ارزش آن تا حدودی نامشخص است. آن‌ها نوع خاصی از مجموعه‌ای فازی هستند که اعضایشان اعداد حقیقی هستند از این‌رو گسترش نامحدود دارند. تابع مربوط به عدد عضویت و درجه عضویت تابع عضویت نامیده می‌شود. تابع عضویت باید در دامنه‌ای وسیع‌تر از مقادیر ممکن برای متغیرهایی که آن‌ها را تشریح می‌کنند، تعریف شوند و باید قادر به پذیرفتن شکل‌های مختلف بسته به مفهوم واژه‌های زبانی باشند. اعداد فازی ممکن است هر شکلی داشته باشند ولی تعدادی از



آنها که حالت استاندارد داشته و بیشتر در محاسبات مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارت‌اند از: مثلثی، دوزنقه‌ای، گوسین، زنگوله‌ای و فازی.

تابع مثلثی: عدد فازی مثلثی یکی از پرکاربردترین اعداد فازی می‌باشد. استفاده از این تابع در کاربردهای مهندسی معمول است.

تابع دوزنقه‌ای: مطابق رابطه زیر تعریف می‌شود رابطه (۱):

$$\text{trapezoidal}(x;a,b,c,d)=\max(\min(x-a/b-a,1,c-x/c-b),0) \quad (1)$$

تابع گوسین: این تابع مقادیر اولیه را به توزیع نرمال تبدیل می‌کند. نقطه مرکزی توزیع نرمال، تعریف ایده‌آل برای مجموعه را تعیین می‌کند که همان مقدار عضویت فازی بیشینه یا عدد یک است.

تابع زنگوله‌ای: تابع حالت کلی تابع گوسی است که در آن تنها یک نقطه درجه عضویت یک ندارد. بدیهی است که می‌توان بنا به کاربرد مسئله، تابع فازی را آن‌گونه که مدنظر است، تعریف کرد و از شکل‌های متفاوت تابع فازی استفاده نمود.

توابع عضویت فازی، اطلاعات ورودی را به مقیاس صفر تا یک تبدیل می‌کند.

تابع عضویت فازی بزرگ: هنگامی از این تابع استفاده می‌شود که مقادیر ورودی بزرگ‌تر و بیشتر احتمال عضویت در مجموعه را دارند. نقطه مرکزی تابع بزرگ یا نقطه متقاطع صفر را با مقادیری بیشتر از نقطه میانی تعیین می‌کند. اختصاص یک عضو به مقدار عضویت ۵ درصد و پارامتر گسترش شکل منطقه انتقال را تعریف می‌کند.

تابع عضویت فازی کوچک: هنگامی از این تابع استفاده می‌شود که مقادیر ورودی کوچک‌تر احتمال بیشتری دارد که عضویت حداکثری مجموعه باشند.

عملیات روی مجموعه‌های فازی: در اجرای تکنیک فازی به عملگرهایی نظیر اجتماع، اشتراک، ضریب جبری، جمع جبری و گاما نیاز می‌باشد. در عملگر اجتماع پیکسلی که فقط از نظر یک نقشه مناسب بوده و ارزش یک داشته و از لحاظ سایر لایه‌های اطلاعاتی دارای ارزش صفر باشد، در نقشه خروجی تلفیق یافته و ارزش یک می‌گیرد و مناسب تشخیص داده می‌شود. عملگر اشتراک فقط پیکسلی که در تمامی نقشه‌های پایه ارزش یک دارد، در نقشه نهایی ارزش یک خواهد داشت و جز مناطق مناسب قرار می‌گیرد. عملگر ضریب جبری موجب می‌شود تا اعداد مجموعه‌ها کوچک‌تر شده و به سمت صفر میل کنند. اما عملگر جمع جبری برخلاف عملگر ضریب جبری موجب می‌شود تا اعداد به سمت یک میل نمایند. جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر ضریب جبری و دقت خیلی کم

عملگر جمع جبری به نام عملگر گاما تعریف شده است. مقدار گامای تعدیل‌کننده بین صفر و یک است و از طریق قضاوت کارشناسانه تعیین می‌شود. گامای صفر معادل ضرب فازی و گامای یک معادل جمع فازی است.

عملگر اشتراک فازی: این عملگر به صورت این رابطه تعریف می‌گردد (رابطه ۲).

$$\text{(رابطه ۲)} \quad W_{\text{combination}} = \text{MIN}(W_A, W_B, W_C, \dots)$$

در این رابطه  $W_A$ ،  $W_B$  و  $W_C$  بیانگر مقادیر عضویت فازی فاکتورهای A و B و C در یک موقعیت خاص می‌باشد. تأثیر این عملگر در نقشه خروجی است که کوچک‌ترین مقدار عضویت فازی در هر موقعیت کنترل می‌شود.

عملگر اجتماع فازی: این عملگر به صورت رابطه زیر تعریف می‌گردد (رابطه ۳)

$$\text{(رابطه ۳)} \quad W_{\text{combination}} = \text{MAX}(W_A, W_B, W_C, \dots)$$

در این رابطه  $W_A$ ،  $W_B$  و  $W_C$  بیانگر مقادیر عضویت فازی فاکتورها در یک موقعیت خاص می‌باشد. تأثیر این عملگر آن است که نقشه خروجی توسط بزرگ‌ترین مقدار عضویت فازی که در هر موقعیت روی می‌دهد، کنترل می‌شود.

عملگر ضرب فازی: این عملگر به صورت زیر تعریف می‌گردد (رابطه ۴)

$$\text{(رابطه ۴)} \quad W_{\text{combination}} = \sum_{i=1}^n W_i$$

در این رابطه  $n$  فاکتور کنترل‌کننده و  $W_i$  بیانگر وزن لایه  $i$  ام می‌باشد. مقادیر عضویت فازی با این عملگر به مقداری بسیار کوچک میل می‌کنند به عبارت دیگر مقدار خروجی هر موقعیت همواره کوچک‌تر یا مساوی کوچک‌ترین مقدار عضویت فازی در موقعیت‌های متناظر نقشه‌های ورودی می‌باشد. بنابراین عملگر فوق اثر کاهشی دارد در این روش برخلاف اشتراک و اجتماع کلیه مقدارهای عضویت نقشه‌های ورودی در نقشه خروجی تأثیر دارند.

عملگر جمع فازی: این عملگر از رابطه (۵) تبعیت می‌کند.

$$\text{(رابطه ۵)} \quad W_{\text{combination}} = 1 - \left( \sum_{i=1}^n (1 - W_i) \right)$$

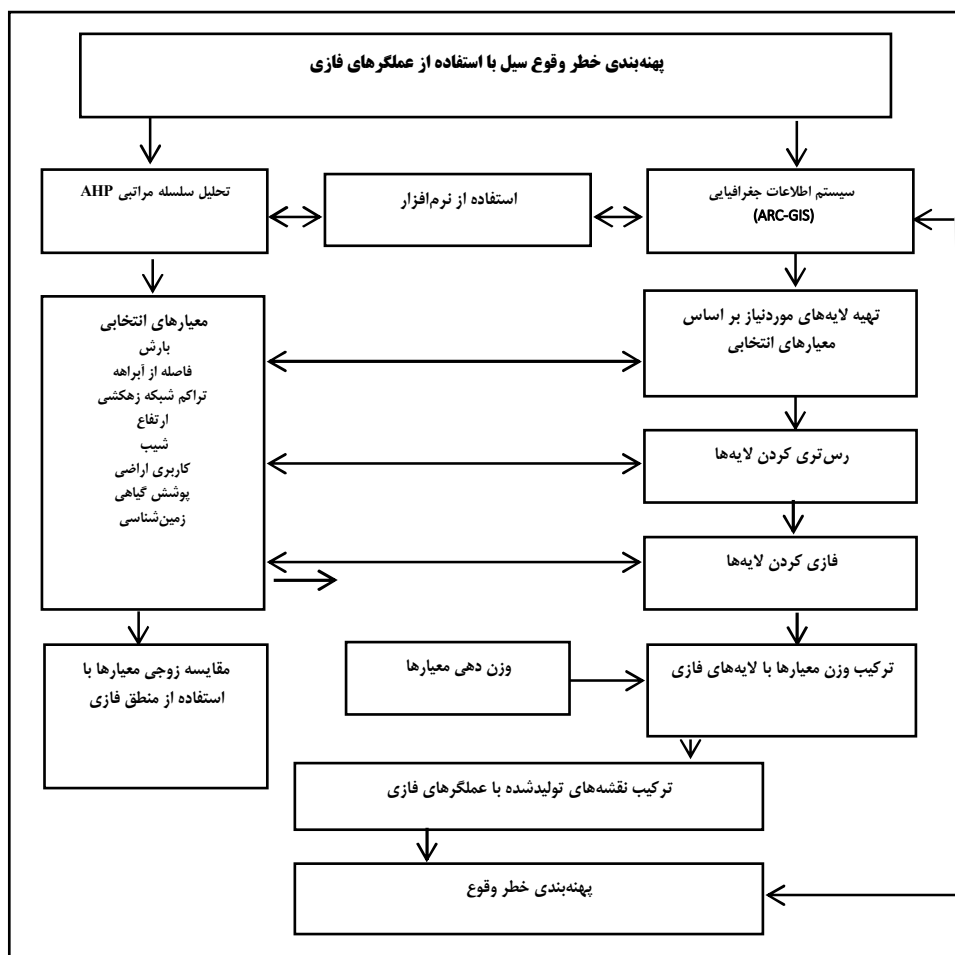
با استفاده از این عملگر فازی مقدار عضویت فازی نقشه خروجی در هر موقعیت همواره بزرگ‌تر یا مساوی بزرگ‌ترین مقدار عضویت فازی در موقعیت‌های متناظر نقشه‌های ورودی می‌باشد. بنابراین عملگر فوق اثر افزایشی دارد.

عملگر گاما: این روش ترکیبی از روش‌های جمع و ضرب جبری می‌باشد. در این روش

فاکتورها با وزن‌های مختلف طبق این رابطه است (رابطه ۶).

(رابطه ۶)  $\mu_{\text{combination}} = (\text{Fuzzy Agabric Sum})^4 (\text{Fuzzy Agabric Product})^{1-4}$

در این رابطه مقدار  $\delta$  بین عدد صفر تا یک تعیین می‌گردد. در صورتی که بخواهیم اهمیت روش جمع فازی بیشتر باشد، مقدار  $\delta$  نزدیک به یک انتخاب می‌گردد و در صورتی که بخواهیم روش ضرب فازی بیشتر توجه شود، مقدار  $\delta$  نزدیک به عدد صفر انتخاب می‌گردد. انتخاب صحیح و آگاهانه  $\delta$  مقدارهایی را در خروجی به وجود می‌آورد که یک سازگاری قابل‌انعطاف میان گرایش کاهشی و افزایشی دو عملگر فازی جمع و ضرب را دارد. با توجه به توضیحات، مراحل انجام تحقیق به شرح نمودار زیر می‌باشد.



شکل ۱- مراحل انجام تحقیق (مأخذ: نویسندگان، ۱۳۹۹)

بنابراین به‌منظور استفاده از مزایای هردو تکنیک فازی و تحلیل سلسله مراتبی، اولین بار اصول منطق فازی را در تحلیل سلسله مراتبی لارهوون بکار بردند (Laarhoven, 1983). این روش دامنه‌ای از مقادیر را برای بیان عدم قطعیت تصمیم‌گیرندگان به کار می‌گیرد (Lee, 2008: 96). بر این اساس چانگ (۱۹۹۶) روش فازی-تحلیل سلسله مراتبی را ارائه کرد، خلاصه این روش شامل رسم نمودار سلسله مراتبی، تعریف اعداد فازی به‌منظور انجام مقایسه‌های زوجی و انجام مقایسه‌ها جهت تعریف اعداد فازی و مقیاس‌های فازی است. با توجه به توضیحات ارائه‌شده جهت ترسیم نقشه‌های پتانسیل سیل‌خیزی شهرستان سبزوار بر اساس منطق فازی و استفاده از نظرات ۱۵ نفر از خبرگان منطقه‌ای ابتدا لایه‌های موردنیاز برحسب معیارها انتخاب و در ادامه در محیط سیستم اطلاعات جغرافیای تبدیل به رستر و با استفاده از توابع عضویت فازی، فازی شده و سپس با نرم‌افزار اکسل فرآیند مقایسه زوجی معیارها نسبت به یکدیگر انجام و سپس وزن نهایی معیارها با لایه‌های فازی شده ترکیب و ضریب همبستگی لایه‌ها با گام‌های ۰/۷۰، ۰/۵ و ۰/۹ محاسبه و نقشه‌های مربوط استخراج گردید.

## یافته‌های تحقیق

در پهنه‌بندی خطر وقوع سیل ابتدا معیارهای تأثیرگذار شناسایی و درجه اهمیت هرکدام موردسنجش قرار گرفته است. لذا با توجه به محدودیت‌هایی که در تهیه برخی از لایه‌ها وجود داشت و به دلیل طولانی بودن فرآیند انجام مدل، استفاده از لایه‌های بیشتر باعث طولانی شدن زمان و تحلیل اطلاعات می‌گردید. بنابراین با توجه به محدودیت‌های اشاره‌شده هشت معیار شیب، فاصله از رودخانه، ارتفاع، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بارش، تراکم زهکشی و پوشش موردبررسی قرار گرفته‌اند که نتایج عضویت‌دهی فازی معیارهای مورد مطالعه به شرح ذیل می‌باشد.

شیب: در این مطالعه عضویت‌دهی شیب بین صفر و یک ارزش‌گذاری شده است. به این مفهوم که هرچه به دامنه یک نزدیک می‌شویم، پتانسیل سیل‌خیزی بیشتر می‌شود. این معیار از رابطه زیر پیروی می‌کند.

$$\text{Membership Function: Linear} \quad \text{Max: 70 Min: 5}$$

فاصله از رودخانه: ارزش‌گذاری نقشه فاصله از رودخانه بین صفر و یک صورت گرفته است. این لایه با سیل رابطه معکوس و از تابع زیر تبعیت می‌کند.

Membership Function: Linear Midpoint: 50 Spread: 3000

ارتفاع: درجه عضویت فازی در این لایه بین صفر و یک می‌باشد و به این مفهوم است که هرچه به عدد یک نزدیک می‌شویم درجه مطلوبیت برای ایجاد سیل خیزی بیشتر می‌شود. بنابراین این لایه خطی و کاهنده است و از تابع زیر تبعیت می‌کند.

Membership Function: Linear Max: 2813 Min: 797

زمین‌شناسی: این شاخص به‌طور غیرمستقیم در سیل خیزی منطقه تأثیرگذار و دارای رابطه‌ای معکوس است. نقشه زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد هرچه به‌طرف عدد یک حرکت کنیم، میزان نفوذپذیری کمتر و پتانسیل سیل خیزی بیشتر می‌شود.

Membership Function: Small Midpoint: 70 Sperid: 5

کاربری اراضی: در نقشه کاربری اراضی هرچه به‌طرف یک حرکت کنیم کاربری با رخنمون سنگی، مرتع، مناطق مسکونی و زراعی، پتانسیل سیل خیزی بیشتر می‌شود.

Membership Function: Large Midpoint: 70 Sperid: 5

بارش: در منطقه مورد مطالعه بارش با سیل خیزی رابطه‌ای خطی و افزایشنده دارد. جهت ترسیم نقشه بارش از طریق روش درون‌یابی و تابع زیر استفاده شده است.

Membership Function: Large Midpoint: 200 Sperid: 5

تراکم زهکشی: این لایه با سیل خیزی رابطه معکوس دارد. در این لایه درجه عضویت فازی در حدفاصل صفر و یک ارزش‌گذاری شده است. در این نقشه هرچه به دامنه یک نزدیک شویم، پتانسیل سیل خیزی بیشتر می‌شود.

Membership Function: Small Midpoint: 253 Sperid: 5

پوشش گیاهی: با سیل رابطه معکوس و از تابع زیر بدست آمده است.

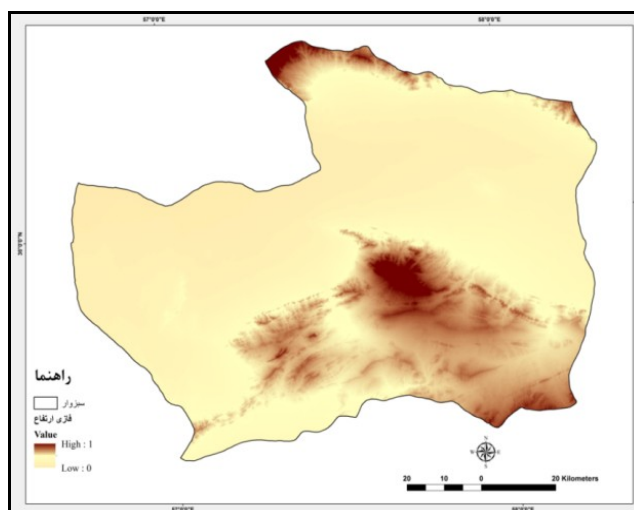
Membership Function: Small Midpoint: 228.5 Sperid: 5

بر اساس روابط فوق، نقشه‌های فازی استخراج و سپس بر اساس فرآیند مقایسه زوجی معیارها نسبت به یکدیگر و با توجه به هدف تحقیق نسبت به وزن دهی معیارها اقدام (جدول ۱) و سپس وزن نهایی معیارها (جدول ۲) با لایه‌های فازی شده ترکیب و نقشه‌های مربوط به شرح نقشه‌های ۳ تا ۱۳ بدست آمده است.

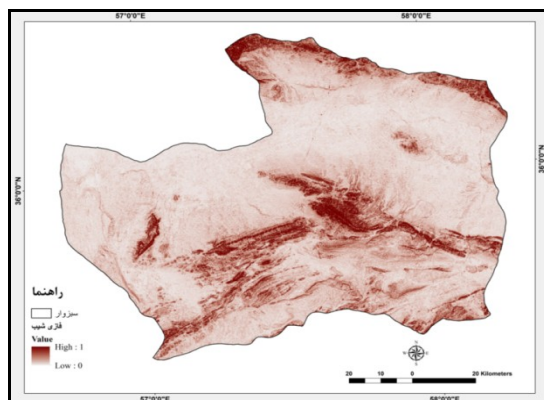
جدول ۱- وزن دهی معیارها و زیر معیارهای مورد مطالعه

وزن	معیار و زیر معیار		وزن	معیار و زیر معیار			
۰/۵۵۷	بارش	۰/۳۳۰	هیدرو اقلیم	۰/۹۰۰	شیب	۰/۳۷۷	توپوگرافی
۰/۱۲۲	فاصله از آبراهه			۰/۰۹۹	ارتفاع		
۰/۳۲۰	تراکم زهکشی						
۱	زمین‌شناسی	۰/۱۷۴	زمین‌شناسی	۰/۸۲۶	کاربری اراضی	۰/۱۱۷	پوشش زمین
				۰/۱۷۳	پوشش گیاهی		

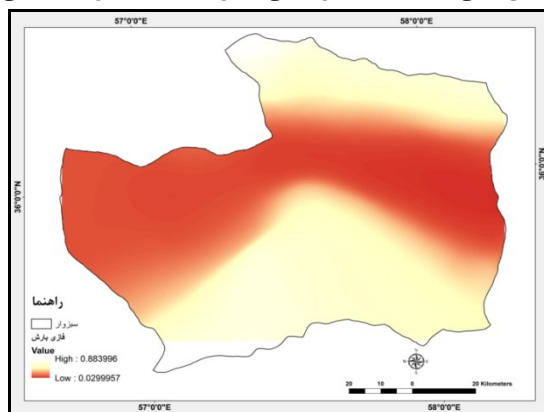
(مأخذ: نویسندگان، ۱۳۹۹)



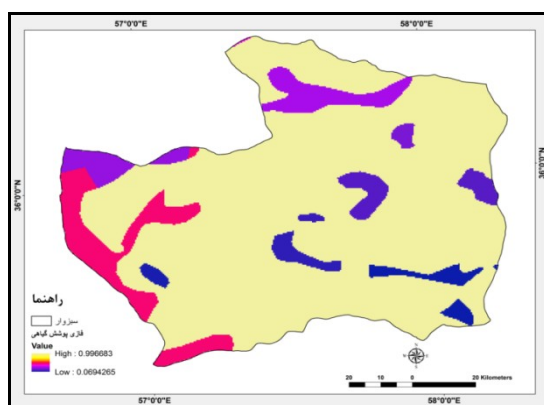
نقشه ۳- فازی وزن‌دار ارتفاع شهرستان سبزوار (مأخذ: نویسندگان، ۱۳۹۹)



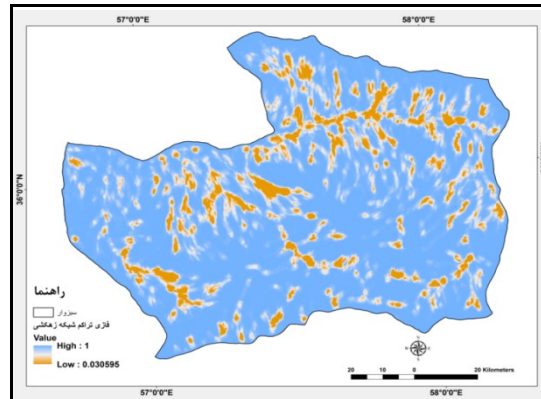
نقشه ۴- فازی وزن دار شیب شهرستان سبزوار (مآخذ: نویسندگان، ۱۳۹۹)



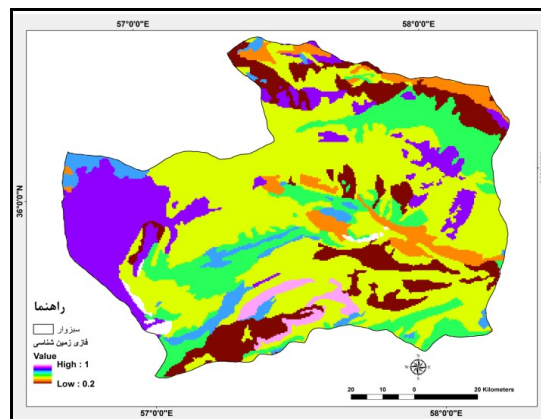
نقشه ۵- فازی وزن دار بارش شهرستان سبزوار (مآخذ: نویسندگان، ۱۳۹۹)



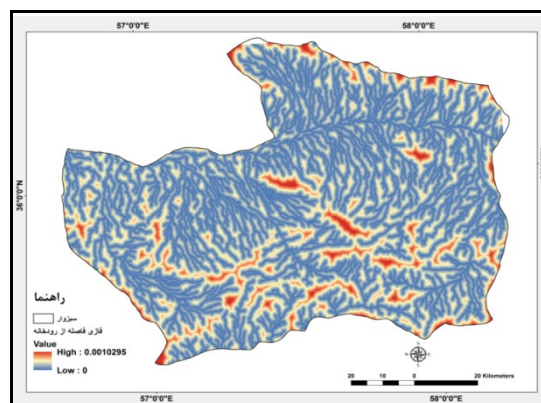
نقشه ۶- فازی وزن دار پوشش گیاهی شهرستان سبزوار (مآخذ: نویسندگان، ۱۳۹۹)



نقشه ۷- فازی وزن دار تراکم شبکه زهکشی شهرستان سبزوار (مآخذ: نویسندگان، ۱۳۹۹)

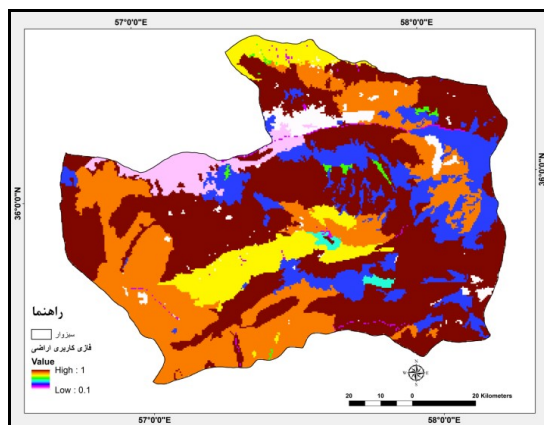


نقشه ۸- فازی وزن دار زمین شناسی شهرستان سبزوار (مآخذ: نویسندگان، ۱۳۹۹)



نقشه ۹- فازی وزن دار فاصله از رودخانه شهرستان سبزوار (مآخذ: نویسندگان، ۱۳۹۹)





نقشه ۱۰- فازی وزن دار کاربری اراضی شهرستان سبزوار (مآخذ: نویسندگان، ۱۳۹۹)

پس از تهیه نقشه‌های فازی وزن دار و با عنایت به ضریب همبستگی لایه‌های مورد مطالعه (جدول ۳)، به دلیل ضریب بالای همبستگی گامای ۰/۹ نقشه پتانسیل سیل‌خیزی شهرستان سبزوار بر اساس منطق فازی و عملگر گامای ۰/۹ ترسیم گردید (نقشه ۱۱).

جدول ۲- وزن نهایی حاصل از مقایسه زوجی معیارهای مورد مطالعه

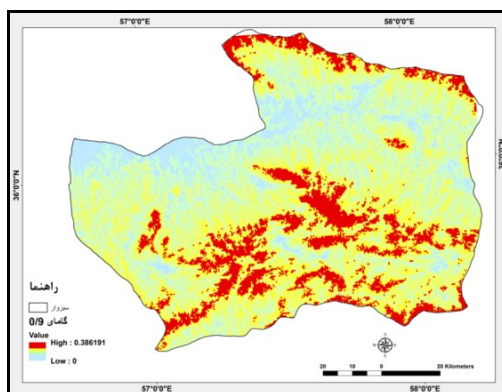
معیار	وزن	معیار	وزن	معیار	وزن
شیب	۰/۳۴۰	بارش	۰/۱۸۴	تراکم زهکشی	۰/۱۰۵
ارتفاع	۰/۰۳۲	فاصله از آبراهه	۰/۰۴۰	کاربری اراضی	۰/۰۹۶
پوشش گیاهی	۰/۰۲۰	زمین‌شناسی	۰/۱۷۴		

(مآخذ: نویسندگان، ۱۳۹۹)

جدول ۳- ضریب همبستگی همپوشانی لایه‌های تولیدشده با گاماهای ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹

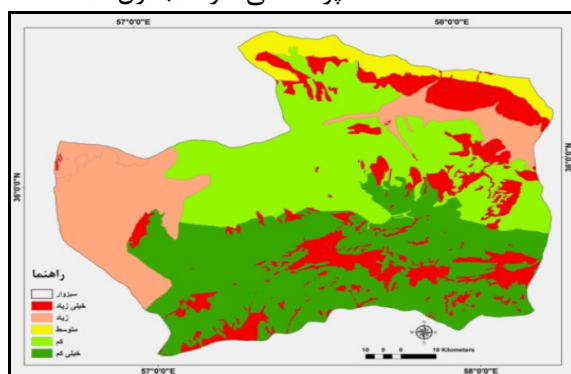
R.S 0.5		R.S 0.7		R.S 0.9	
Multiple R	0.911	Multiple R	0.951	Multiple R	0.974
R Square	0.831	R Square	0.904	R Square	0.949
Adjusted R Square	0.811	Adjusted R Square	0.893	Adjusted R Square	0.943

(مآخذ: نویسندگان، ۱۳۹۹)



نقشه ۱۱- پتانسیل سیل خیزی شهرستان سبزوار بر اساس منطق فازی و عملگر گامای ۰/۹  
(مآخذ: نویسندگان، ۱۳۹۹)

همان‌گونه که در نقشه نهایی پتانسیل سیل خیزی شهرستان سبزوار مشاهده می‌شود (نقشه ۱۱)، دامنه ارزشی حاصل از پهنه‌بندی سیل در حوضه مورد مطالعه بین صفر و یک است و بیانگر این نکته می‌باشد که هرچه به عدد ۰/۳۸ نزدیک شویم خطر زیاد وقوع سیل افزایش می‌یابد و هرچه مقدار به سمت صفر باشد پتانسیل وقوع سیل کاهش می‌یابد. در ادامه با توجه به دامنه مقادیر حاصل، نقشه کلاسه‌بندی خطر سیل خیزی بر اساس روش شکستگی‌های طبیعی در پنج سطح ارائه شده است (نقشه ۱۲). مناطق باخطر خیلی زیاد (قرمز) در بخشی از مناطق شمالی و جنوبی؛ نواحی با خطر زیاد (صورتی) در بخشی از مناطق شمالی، شرقی، شمال غربی و غرب؛ نواحی باخطر متوسط (زرد) در نوار شمالی؛ مناطق با خطر کم (سبز کم‌رنگ) در نواحی مرکزی؛ نواحی باخطر خیلی کم (سبز پررنگ) در مناطق جنوبی که عمدتاً دشت است، پراکندگی دارد (جدول ۴).



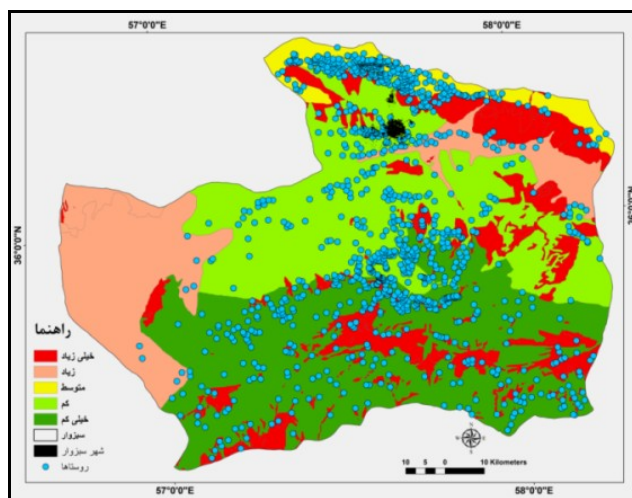
نقشه ۱۲- کلاسه‌بندی خطر سیل خیزی در شهرستان سبزوار (مآخذ: نویسندگان، ۱۳۹۹)

جدول ۴- مساحت کلاس‌های نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی در شهرستان سبزوار

ردیف	کلاس	پهنه‌بندی سیل خیزی شهرستان (درصد)
۱	خیلی کم	۲۴/۵
۲	کم	۲۵/۴
۳	متوسط	۱۱/۳
۴	زیاد	۱۸/۵
۵	خیلی زیاد	۲۰/۳

(مآخذ: نویسندگان، ۱۳۹۹)

یافته‌های بدست آمده نشان می‌دهد که این پژوهش از بُعد معیارها و مؤلفه‌های مورد مطالعه در راستای مطالعه قنواتی ۱۳۹۲، نسرين نژاد ۱۳۹۳، اصغری ۱۳۹۴، موسوی ۱۳۹۵، محمود زاده ۱۳۹۷ و خلیلی ۱۳۹۹ قرار دارد و نشان‌دهنده این مهم می‌باشد که معیارهای شیب و بارش بیشترین تأثیر را در سیل خیزی منطقه دارد.



نقشه ۱۳- نهایی کلاسه‌بندی خطر سیل خیزی در شهرستان سبزوار  
(مآخذ: نویسندگان، ۱۳۹۹)

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی شده است، در چهارچوب منطق فازی، تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی به بررسی تأثیر مؤلفه‌های مؤثر بر بروز سیل در منطقه مورد مطالعه پرداخته شود. در همین راستا ابتدا با استفاده از تلفیق مدل‌های فازی و AHP به تعیین درجه اهمیت و میزان تأثیرگذاری هشت عامل مهم پرداخته شده است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که پارامترهای شیب با وزنی معادل  $0/340$  و بارندگی با وزنی معادل  $0/180$  بیشترین وزن را به خود اختصاص داده و به‌عنوان اولویت اول در پهنه‌بندی خطر سیل در منطقه مورد مطالعه مطرح گردیده است. پارامترهای زمین‌شناسی، تراکم شبکه زهکشی، کاربری اراضی، پوشش گیاهی و ارتفاع در اولویت‌های بعدی قرار دارند (جدول ۲). با توجه به نقشه (۱۳) نقشه نهایی، نواحی پرخطر به‌طور عمده در مناطق با شیب زیاد و در بخشی از نواحی شمالی، مرکزی و جنوبی قرار دارد که تمایل به ارزش یک داشته و هر چه به مناطق بارز صفر نزدیک می‌شویم از میزان پتانسیل سیل‌خیزی در منطقه مورد مطالعه کاسته می‌شود. بر اساس نتایج حاصل از تلفیق لایه‌ها به روش همپوشانی فازی و وزن نهایی حاصل از مدل AHP، نقشه کلاسه‌بندی خطر سیل‌خیزی در منطقه مورد مطالعه استخراج (نقشه ۱۲) و مشخص گردید که مناطق با خطر خیلی زیاد  $20/3$  درصد، مناطق با خطر زیاد  $18/5$  درصد، مناطق با خطر متوسط  $11/3$  درصد، مناطق با خطر کم  $25/4$  درصد و مناطق با خطرپذیری خیلی کم با  $24/5$  درصد از مساحت شهرستان را به خود اختصاص داده‌اند. لذا پیشنهاد می‌شود نسبت به بهسازی، طراحی و اجرای طرح‌های آبخیزداری و آبخوان‌داری و مکان‌یابی شهرها و شهرک‌های جدید و همچنین طرح‌های عمران روستایی در منطقه مورد مطالعه توجه لازم مبذول گردد. همچنین برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان نیز باید در زمینه کاهش خطرپذیری جانمایی مناسب زیرساخت‌ها و جانمایی تأسیسات شهرستان اقدام لازم را به عمل آورند.

شهر سبزوار: این شهر مرکز شهرستان و مهم‌ترین شهر منطقه می‌باشد که از نظر موقعیت جغرافیایی در شمال شهرستان قرار گرفته است. بر اساس نقشه پتانسیل سیل‌خیزی این شهر از لحاظ خطر وقوع سیل در محدوده خطر کم قرار دارد (نقشه ۱۳).

سکونتگاه‌های روستایی: با توجه به نقشه (۲ و ۱۳) اکثر سکونتگاه‌های روستایی در این شهرستان در محدوده آسیب‌پذیری کم و خیلی کم قرار گرفته‌اند. البته لازم به ذکر است در مناطق شمالی شهرستان تعدادی از مناطق روستایی در محدوده خطر متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار دارند که باید در برنامه‌ریزی‌های روستایی به آنها توجه گردد.

## منابع

- اسفندیاری دارآباد، فریبا. (۱۳۹۸)، «پهنه‌بندی سیلاب حوضه آبخیز آجرلو چای با استفاده از روش L-THIA و منطق فازی»، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۸، شماره ۲.
- اصغری مقدم، محمدرضا. (۱۳۷۸)، جغرافیای طبیعی شهر (هیدرولوژی و سیل‌خیزی شهر)، چاپ اول، انتشارات مسعی.
- خلیلی، علی؛ پورزارع، مرتضی و سروش، آریان. (۱۳۹۹)، «تحلیل و ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب شهری با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS (نمونه موردی: شهر بهشهر)»، اولین کنفرانس محیط‌زیست، عمران، معماری و شهرسازی، استانبول، ترکیه.
- خلیلی، علی و سروش، آریان. (۱۳۹۹)، «ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در منطقه مکران با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS»، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال ۱۷، شماره ۱: ۶۶-۱۱.
- رستمی، فرهاد. (۱۳۸۷)، اصلاح مدل برآورد رسوب با بکارگیری تکنیک فازی در حوضه سد زاگرس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته جغرافیا، دانشگاه تربیت‌معلم.
- سلامی، محمد. (۱۳۸۹)، تحلیل پارامترهای کیفی آب تالاب انزلی با استفاده از روش ریاضی فازی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت‌معلم.
- صفاری، امیر؛ ساسان‌پور، فرزانه و موسی‌وند، جعفر. (۱۳۹۰)، «ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر خطر سیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی مطالعه موردی: منطقه ۳ تهران»، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۱۷، شماره ۲۰: ۱۲۹-۱۵۰.
- عطائی، محمد. (۱۳۸۹)، تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه شاهرود.
- علیزاده، امین. (۱۳۹۰)، اصول هیدرولوژی کاربردی، دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ ۳۳.
- غیور، حسنعلی. (۱۳۷۵)، «سیل‌ومناطق سیل‌خیز در ایران»، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۱۱، شماره ۱.
- قدسی‌پور، حسین. (۱۳۸۴)، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP، دانشگاه امیرکبیر، مرکز نشر.
- قنوتی، عزت‌الله. (۱۳۹۲)، «ارزیابی و پهنه‌بندی خطر رخداد سیل در حوضه فرحزاد (تهران) با استفاده از مدل فازی»، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳، شماره ۴: ۱۲۱-۱۳۸.
- لطفی، حیدر و جعفری، مهتاب. (۱۳۹۰)، «فرآیند ایمن‌سازی شهری جهت مقابله با مخاطرات طبیعی (سیل) مطالعه موردی شهر تهران»، فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، سال ۱۱، شماره ۳۶: ۲۸۳-۲۹۶.

- محمودزاده، حسن و باکویی، مائده. (۱۳۹۷)، «پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از تحلیل فازی مطالعه موردی ساری»، *مجله مخاطرات محیط طبیعی*، دوره ۷، شماره ۱۸: ۵۱-۶۸.
- مهدی زاده، جواد. (۱۳۹۱)، تحلیل مخاطرات اقلیمی در شهر تبریز با استفاده از منطق فازی و مدل ANP، *پایان نامه کارشناسی ارشد رشته جغرافیا*، دانشگاه محقق اردبیلی.
- موسوی، سیده معصومه؛ نگهبان، سعید؛ رخشانی مقدم، حیدر و حسین‌زاده، سید محسن. (۱۳۹۵)، «ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی با استفاده از منطق فازی TOPSIS در محیط GIS مطالعه موردی حوضه آبخیز شهر باغملک»، *مجله مخاطرات محیط طبیعی*، سال ۵، شماره ۱۰: ۷۹-۹۸.
- مؤمنی، منصور. (۱۳۷۸)، *مباحث نوین تحقیق در عملیات*، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم.
- نسرین نژاد، نعمت اله؛ رنگزن، کاظم؛ کلاتتری، نصرا... و صابری، عظیم. (۱۳۹۳)، «پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبریز باغان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)»، *مجله سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، سال ۵، شماره ۴: ۱۵-۳۴.
- نصری، مسعود. (۱۳۸۸)، «بررسی سیلاب‌ها و شبکه مسیل‌های تأثیرگذار بر شهر زواره و توجه به آن در برنامه‌ریزی شهری»، *فصلنامه جغرافیایی چشم‌انداز*، سال ۱، شماره ۲.
- یمانی، مجتبی. (۱۳۸۴)، «ارتباط ویژگی‌های ژئومورفولوژیک حوضه‌ها و قابلیت سیل‌خیزی (تجزیه و تحلیل داده‌های سیل از طریق مقایسه ژئومورفولوژیک حوضه‌های فشنند و بهجت آباد)»، *مجله پژوهش‌های جغرافیایی*، دوره ۳۷، شماره ۵۴: ۴۷-۵۷.
- Abhishek, G. Priyanka, D. (2021). *Tract Situated Between Muriganga and Saptamukhi Estuaries of Sundarban Delta of India Using Frequency Ratio (FR), Fuzzy Logic (FL), Logistic Regression (LR) and Random Forest (RF) models. Regional Studies in Marine Science*. Volume 42, February 2021, -101624. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101624>.
- Adam. Podlaha, Michal. Lorinc, Gaurav. Srivastava, Steve. Bowen, Brian. Kerschner (2020). *Global Catastrophe Recap: First Half of July 2020*. pp 110.
- Ayan, Santos. Fleischmann, João. Paulo, Fialho. Brêda, Conrado. Rudorff, Rodrigo. Cauduro, Diasde. Paivaa, Walter. Collischonna, Fabrice. Papad, Mariane. Moreira, Ravello (2021). *Earth Observation for Flood Applications Progress and Perspectives Earth Observation. Chapter 4 River Flood Modeling and Remote Sensing Across Scales*. pp 61-103. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819412-6.00004-3>.

- Green, C., Diepernk, G., EK, K., Hegger, D., Pettersson, M., Priest, S., Tapsell, S (2014). *Flood risk management in Europe: the flood problem and interventions*. Star flood. 1- 250.
- Laarhoven VP, Pedrycz W. (1983). *A fuzzy extension of Saaty's priority theory*. **Fuzzy sets and Systems**, 11(1): pp199-227.
- Lars Tierolfa. Hansde Moelb. Jaspervan Vlietb (2021). *Modeling Urban Development And Its Exposure to River Flood Risk in Southeast Asia*. **Computers, Environment and Urban Systems**. Volume 87, May 2021, 101620. <https://doi.org/10.1016/j.compen.vurbsys.2021.101620>.
- Lee AH, Chen WC, Chang CJ. (2008). *A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan*. *Expert systems with applications*, 34(1):pp 96-107.
- Pratik, Dash.Jishnu, Sar (2020). Identification and validation of potential flood hazard area using GIS-based multi-criteria analysis and satellite data-derived water index, *Journal of Flood Risk Management* published by Chartered Institution of Water and Environmental Management and John Wiley & Sons Ltd. Pp123-145.
- Saaty TL (1994). *How to make a decision: the analytic hierarchy process*. **Interfaces**, 24(6). Pp 19-43.
- Samira, Rashetnia. Heerbod, Jahanbani (2021). Flood vulnerability assessment using a fuzzy rule-based index in Melbourne, Australia, Original Article, Published: 09 February 2021. *Sustainable Water Resources Management* volume 7, Article number:13.
- UNISDR CRED (2015). *The human cost of weather-related disasters 1995-2015*. Pp119.
- Valentina Nikolova, Plamena Ventseslavova Zlateva. (2017). Assessment of Flood Vulnerability Using Fuzzy Logic and Geographical Information Systems, *Conference: International Conference on Information Technology in Disaster Risk Reduction*. November 2017, DOI: 10.1007/978-3-319-68486-4. pp 20.
- Valentina Nikolova, Plamena Zlateva. (2021). Assessment of Flood Vulnerability Using Fuzzy Logic and Geographical Information Systems. *Ist International Conference on Information Technology in Disaster Risk Reduction (ITDRR)*, Apr2021.pp.254-265. <https://hal.inria.fr/hal-03213127> Submitted on30Apr 2021.