



ارزیابی و پهنه بندی خطر سیلاب در شهرستان کرمانشاه

ابوالفضل قنبری*، سهراب امیریان، یوسف امیریان

۱- استاد دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز ایمیل: a_ghanbari@tabrizu.ac.ir

۲- استاد گروه جغرافیای دانشگاه پیام نور تهران ایمیل: s_amirian@pnu.ac.ir

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه تبریز ایمیل: yousefamirian@gmail.com

چکیده

در زمین همیشه مخاطرات طبیعی باعث بروز صدمات و خسارات بسیار زیاد و جبران ناپذیر به محیط طبیعی و پدیده های انسان ساخت می شوند. سیلاب ها از جمله مخاطراتی هستند که همیشه احتمال پیشامد آنها وجود داشته و دارد. امروزه با پیدایش تراکم جمعیت در شهر و روستاها سیلاب ها ابعاد گسترده و فاجعه باری به خود گرفته است. این پژوهش با هدف تهیه نقشه پهنه بندی خطر سیلاب شهرستان کرمانشاه انجام شده است. با توجه به اینکه در خطر سیلاب پارامترهای زیادی موثر هستند، بنابراین در این پژوهش هفت پارامتر ارتفاع، شیب و جهت شیب، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، تراکم شبکه آبراهه یا زهکشی، بارش و فاصله از آبراهه انتخاب و نقشه مربوط به هر یک تهیه گردید. در مرحله بعد نقشه های تهیه شده با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی AHP فازی وزن دهی شده و در نهایت همپوشانی لایه ها با استفاده از عملگر فازی گاما در نرم افزار ArcMap انجام شد و نقشه های مربوط به پهنه بندی خطر سیلاب در شهرستان کرمانشاه بدست آمد. نواحی خطر وقوع سیلاب در شهرستان کرمانشاه با درجه های خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم به ترتیب بر حسب درصد برابر ۶/۳، ۹/۱، ۱۰/۴، ۱۶/۷ و ۲۸/۶ محاسبه گردید و پهنه بندی آن بدست آمد. مساحت نواحی دارای خطر سیلاب در شهر کرمانشاه با درجه های خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم به ترتیب بر حسب درصد برابر ۳/۱۹، ۴/۲۶، ۵/۲، ۳/۱۷ و ۵/۳۴ می باشد. با این پهنه بندی برنامه ریزی جهت پیشگیری سیلاب مناطق با خطر بالا در شهرستان کرمانشاه میسر و نیز انجام زیرساخت های عمرانی در بافت شهری هم با توجه به این اطلاعات جهت کنترل سیلاب بهتر انجام می پذیرد.

کلمات کلیدی: پهنه بندی سیل، تراکم شبکه آبراهه، تحلیل سلسله مراتبی، عملگر فازی، سنجش از دور.

۱- مقدمه

مطالعه خطر سیلاب یکی از موارد حیاتی و اساسی است که برای حفظ امنیت و سلامت جامعه بسیار اهمیت دارد. سیلاب‌ها به عنوان یکی از پدیده‌های طبیعی و ناگهانی، می‌توانند خسارات جدی و ویرانگری‌های زیادی به زیرساخت‌ها، منابع طبیعی، محیط زیست و جان انسان‌ها وارد کنند. بنابراین، شناخت و درک صحیح از خطرات سیلاب و اقدامات پیشگیری و مدیریت مناسب از اهمیت بالایی برخوردار است (نجفی و کریمی، ۱۳۹۹). مطالعه خطر سیلاب به ما کمک می‌کند تا با فهم بهتری از علل، مکانیسم‌ها و الگوهای سیلاب‌ها روبرو شویم و بتوانیم بهترین راهکارها را برای پیشگیری و مدیریت این پدیده‌ها پیدا کنیم. همچنین، این مطالعات به ما کمک می‌کنند تا در صورت وقوع سیلاب، بهترین روش‌های اعلام هشدار، اجلاء و نجات، تأمین نیازهای اساسی افراد تحت تأثیر سیلاب و بازسازی مناطق آسیب‌دیده را شناسایی کنیم. از این رو، این موضوع باید به عنوان یک اولویت مهم در برنامه‌ها و استراتژی‌های ملی و منطقه‌ای در نظر گرفته شود.

مخاطرات طبیعی حوادثی هستند که باعث ایجاد آسیب قابل توجهی به محیط طبیعی و پدیده‌های انسان ساخت می‌شوند (Vorogushyn, 2012). مطالعات اخیر نشان می‌دهد که مخاطرات سیل بیشتر از سایر مخاطرات طبیعی در حال وقوع می‌باشند و ضرر و زیان‌های بیشتری هم نسبت به طوفان و زلزله به بار می‌آورد (Lian, 2017). بر اساس گزارش جهانی مخاطرات طبیعی از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ وقوع سیلاب نسبت به مخاطرات طبیعی دیگر به طور میانگین ۴۱/۵ درصد به خود اختصاص می‌دهد. افزایش تعداد سیلاب‌ها رخ داده عمدتاً ناشی از افزایش سریع سطوح مصنوعی، گسترش شهرنشینی و قطع درختان جنگل می‌باشد (Christensen, 2003). سیلاب‌ها می‌تواند بر روی سلامت مردم تاثیر زیادی دارد و باعث شیوع بیماری‌های زیادی می‌گردد (Ahern et al., 2005). امروزه با افزایش جمعیت، انسان را بر آن داشته که برنامه ریزی‌هایی انجام دهد که آسیب‌ها به کمترین حالت ممکن کاهش یابد. روش‌های مختلفی برای کنترل سیل وجود دارد. یکی از مهمترین اقدامات در این راستا شناسایی مناطق با خطر سیلاب و اولویت بندی آنها می‌باشد که اطلاعات ارزشمندی در رابطه با طبیعت سیلاب و اثرات آن بر دشت و حریم رودخانه‌ها ارائه می‌دهد، (حساس و

¹- Global reported natural disasters

همکاران، ۱۳۹۶). امروزه پهنه بندی سیلاب در مناطق مختلف جهت جلوگیری و کاهش خسارات و صدمات در صورت وقوع سیل، امری ضروری و مهم به حساب می آید. شهرستان کرمانشاه هم از این امر مستثنی نبوده و می توان به آخرین سیل در کرمانشاه در سال ۱۳۹۸ اشاره کرد که باعث بوجود آمدن خسارات زیادی به کشاورزی منطقه میان دربند، تلف شدن دام و طیور و خسارت به چندین روستا و تخلیه شدن منازل شهرک کرناچی به دلیل مجاورت با رودخانه قره سو در این شهرستان شد (خبرگزاری تسنیم ۹ فروردین ۱۳۹۸). تا کنون مطالعه جامعی در خصوص پهنه بندی سیلاب در این شهرستان صورت نگرفته است، لذا هدف پژوهش حاضر پهنه بندی خطر سیلاب شهرستان کرمانشاه جهت پیشگیری از خسارات جانی و مالی در آینده می باشد. تازگی این مطالعه ارایه رویکردهای ترکیبی جدید برای تعیین معیارهای موثر در وقوع سیل در شهرستان کرمانشاه است.

۲- پیشینه تحقیق

در زمینه پهنه بندی سیلاب مطالعات بسیاری در جهان و ایران انجام شده که از آن جمله می توان به موارد ذیل اشاره نمود. سینها و همکاران^۱ (۲۰۰۸)، از هندوستان در منطقه کووسی با استفاده از لایه های اطلاعاتی ناشی از عوامل طبیعی و انسانی دخیل در بروز سیل تحقیقی را انجام داده اند و پهنه بندی خطر سیلاب جهت پیشگیری از خسارت و همچنین در برنامه های عمرانی اجرایی در منطقه کووسی استفاده شده است. کین و همکاران^۲ (۲۰۱۱)، در تحقیق خود در چین به پهنه بندی بزرگراه های چین به لحاظ خطر وقوع سیلاب پرداخته اند که با بهره گیری از معیارهایی مانند وضعیت زمین شناسی، شدت بارش، فراوانی سیلاب ها با استفاده از مدل تحلیل سلسه مراتبی (AHP) بدست آمده است و جهت پیشگیری از خطر سیلاب در تاسیسات در شرف ساخت بهره گرفته شده است. یودینگ و همکاران^۴ (۲۰۱۹)، در پژوهشی به ارزیابی خطر سیلاب با استفاده از روش تحلیل سلسه مراتبی و فازی در تایلند پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که مناطق

1- Sinha et al.,

2- Qin et al.,

3- Analytical Hierarchy Process

4- Yoding, et al.,

بسیار خطرناک سیل در نزدیکی شبکه زهکشی یافت شده است. همچنین فاکتورهای تاثیر گذار مهم در معرض خطر سیلاب شامل انباشت جریان، ارتفاع و نفوذ آب خاک، فاصله از شبکه زهکشی، متوسط باران، تراکم زهکشی، کاربری زمین و شیب بوده است. یوسف و هیجابت (۲۰۱۹)، با استفاده از فرایند تحلیل سلسه مراتبی به منظور ایجاد نقشه حساسیت سیل برای منطقه راس غریب در مصر اقدام کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که ۷۶ درصد از منطقه در برابر وقوع سیل بسیار حساس و آسیب پذیر، ۱۹ درصد آن حساس و نزدیک ۵ درصد دارای حساسیت پایین می باشد. در این مطالعه برنامه هایی جهت پیشگیری از سیلاب های آینده در نظر گرفته شده است. اسلامی نژاد و همکاران (۲۰۲۰)، به منظور برآورد خطر سیلاب در مانه و سملقان از معیارها و مدل های داده محور مکانی و غیر مکانی استفاده کردند. معیارهای مورد استفاده شامل شاخص فورنیه اصلاح شده، شاخص موقعیت توپوگرافی، عدد منحنی، تجمع جریان، شیب، مدل رقومی ارتفاع، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله جریان زمینی عمودی، فاصله جریان زمینی افقی و شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده می باشد. پارسیان و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهشی در منطقه غرب ایران با استفاده از روش سلسله مراتبی فازی خطر سیل پذیری را بررسی کردند. داده های این تحقیق شامل لایه های DEM، شیب، بارندگی، فاصله از رودخانه های اصلی، شاخص رطوبت توپوگرافی، نقشه های کاربردی پوشش زمین LULC، نقشه نوع خاک، شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده NDVI و نرخ فرسایش روی تصاویر Sentinel-1 می شود. نتایج نشان داد که ۹۵/۱۶ درصد از مناطق سیل زده واقعی به عنوان کلاس های خطر سیل بسیار زیاد و زیاد طبقه بندی شده اند که پتانسیل بالای این رویکرد را برای نقشه برداری خطر سیلاب نشان می دهد. در ایران هم چند مطالعه انجام شده از جمله اینکه در اختراآباد، ملکیان و همکاران (۱۳۹۱)، با استفاده از فرایند تحلیل سلسه مراتبی حوضه آبخیز اختر آباد را با توجه به عوامل موثر در پتانسیل سیل خیزی مورد بررسی قرار داد و نشان داد که پهنه بندی خطر سیل خیزی در شمال و جنوب حوضه واقع شده است. رفیعی و همکاران (۱۳۹۲)، نقشه پهنه بندی خطر سیلاب شهری در شهر تهران را با استفاده از فرایند سلسه مراتبی برای مدیریت سیلاب شهری شهر تهران تهیه کردند. محمودزاده و باکویی (۱۳۹۷)، با استفاده از مدل AHP سیل خیزی شهر ساری در استان مازندران را پهنه بندی کردند. نتایج حاصل از مطالعه این است که خطر وقوع سیل در قسمت های مرکز و جنوب شهر ساری از بیشترین مقدار برخوردار است که این در مدیریت شهر ساری دارای اهمیت است. چراغی قلعه سری و

همکاران (۱۳۹۹)، مناطق حساس سیلاب با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) در حوضه نکارود بررسی کردند. معیارهای مورد استفاده شامل شیب، جهت شیب، طبقه ارتفاعی، دما، کاربری اراضی، بارندگی و تراکم و فاصله از گسل، فاصله از ابراهه و فاصله از جاده هستند. نتایج ارزیابی نشان داد که مدل SVM دقت مناسبی در شناسایی پهنه های حساس سیلاب در منطقه مورد مطالعه دارد. همچنین نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مناطق حساس به سیل گیری بیشتر در بخش های شمالی و شمال غرب حوزه و در مناطقی قرار گرفته اند که تمرکز سکونتگاه های انسانی بیشتر است، در حالی که مناطق مرکزی حوضه که دارای پوشش گیاهی متراکم است، حساسیت کمی نسبت به سیل گیری دارند. طاهری زاده و همکاران (۲۰۲۳)، برای ارزیابی آسیب پذیری سیل در استان گلستان از چهارده معیار مربوط به پتانسیل سیل شامل ارتفاع، شیب، جهت، تراکم پوشش گیاهی، رطوبت خاک، جهت جریان، فاصله رودخانه، بارندگی و رواناب، زمان جریان، ژئومورفولوژی، تراکم زهکشی، نوع خاک، سنگ شناسی و کاربری زمین استفاده کردند. روابط بین معیارها با استفاده از روش DEMATEL تجزیه و تحلیل شد و وزن آنها با استفاده از روش ANP تعیین گردید. مشخص شد که توپوگرافی بیشترین تأثیر را بر خطر سیل دارد و به دنبال آن نوع سطح و پوشش گیاهی قرار دارد. هیدروگرافی، خاک و زمین شناسی، آب و هوا نیز بر وقوع سیل در منطقه تأثیر می گذارد. این مطالعه نشان داد که بخش های شمالی و مرکزی منطقه مورد مطالعه در مقایسه با قسمت جنوبی در معرض خطر بیشتری برای سیل هستند.

تفاوتی که تحقیق انجام شده با پژوهش های مشابه انجام شده دارد این است که معیارهای موثرتر مطابق با نظر اساتید و تا حدی متفاوت از موارد انجام شده است و نیز مزیت دوم آن در دسترس بودن آنهاست. بارندگی های سال جاری که باعث آبگرفتگی و سیلاب در معابر شهری کرمانشاه شد تاییدی بر پهنه بندی صحیح انجام شده این پژوهش دارد.

۳- داده ها و روش ها

۳-۱- منطقه مورد مطالعه

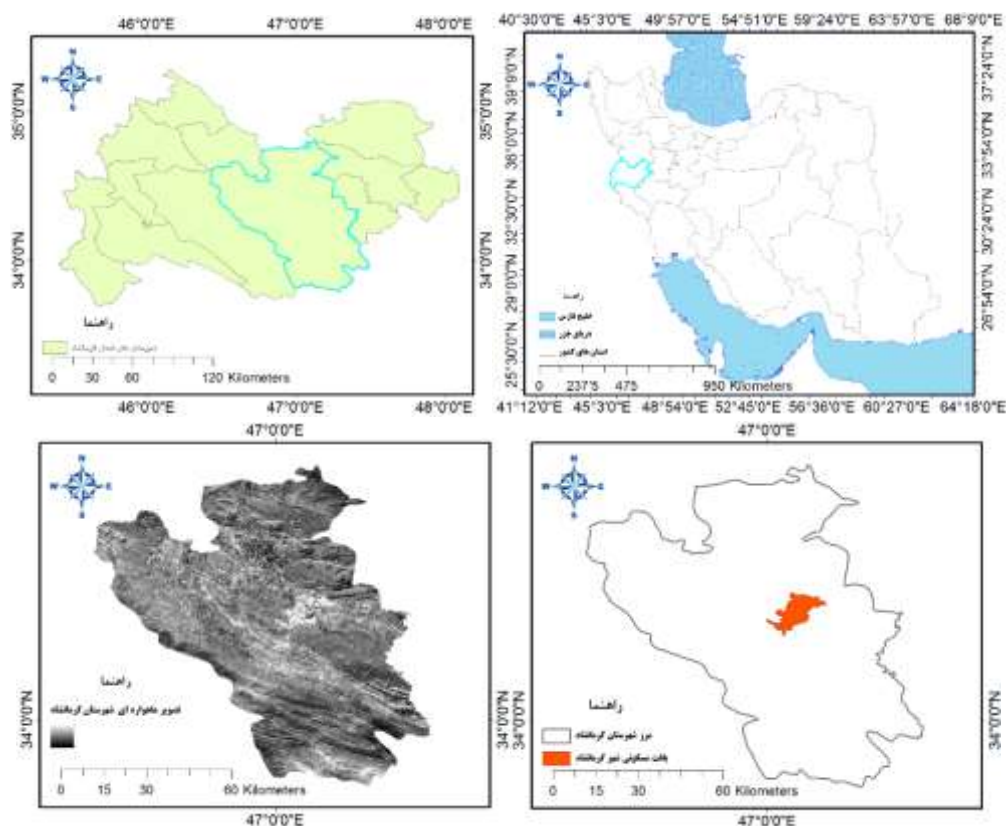
شهرستان کرمانشاه بزرگترین شهرستان استان کرمانشاه از نظر وسعت با مساحت ۵۸۷۰ کیلومتر مربع می باشد که بیش از ۲۲ درصد مساحت استان را تشکیل می دهد (دفتر آمار و اطلاعات استانداری کرمانشاه). طول جغرافیایی شهرستان از ۴۶ درجه و ۲۵ دقیقه و ۱۲ ثانیه تا ۴۷ درجه و ۲۹ دقیقه و ۲۴ ثانیه طول شرقی و

عرض جغرافیایی از ۳۳ درجه و ۴۶ دقیقه و ۴۸ ثانیه تا ۳۴ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. شهرستان کرمانشاه در مسیر کوههای زاگرس و بر روی یال غربی آن قرار گرفته است سلسله کوههای زاگرس در این منطقه به صورت مجموعه ای از رشته کوههای موازی و دشتهای مرتفع کوهستانی در بین آنها شکل گرفته است و به همین علت عمده ترین گذرگاه های زاگرس در این استان و شهرستان قرار دارند. شهرستان کرمانشاه از لحاظ شکل ظاهری زمین از دو قسمت تشکیل می شود قسمت اول منطقه ای است کوهستانی و مرتفع با ارتفاعات طاقدیسی و دشتهای ناودیسی که عمده ارتفاعات شهرستان را شامل می گردد و قسمت دوم فضایی مرکب از کوه های فرسایش یافته و اراضی نسبتاً مسطح واقع بین این کوه ها می باشد. این شهرستان در معرض جبهه های مرطوب مدیترانه ای قرار داشته، برخورد این جبهه ها با ارتفاعات زاگرس موجب ریزش برف و باران می گردد، سلطانی (۱۳۷۴). متوسط میزان بارندگی در مناطق مختلف استان و شهرستان کرمانشاه بین ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی متر در نوسان است و به طور کلی متوسط میزان بارندگی در سطح شهرستان را ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی متر می توان در نظر گرفت (سایت اداره کل هواشناسی استان کرمانشاه). استان کرمانشاه را به دو منطقه گرمسیر و سردسیر می توان تقسیم نمود و بر اساس این تقسیم بندی شهرستان کرمانشاه منطقه معتدل تلقی می گردد. استان کرمانشاه دارای ده دشت تقریباً وسیع است که دشت کرمانشاه با وسعت تقریبی ۱۱۰۰ کیلومترمربع در حوضه مورد مطالعه قرار دارد. این دشت ارتفاعی برابر ۱۳۵۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است و شرایط را برای کشاورزی و دامپروری فراهم نموده است. نقشه منطقه مطالعاتی شهرستان کرمانشاه با موقعیت کشور و موقعیت استان را در شکل (۱) نشان می دهد.

مواد و داده های مورد نیاز:

هدف این مقاله، شناسایی مناطق با خطر سیلاب است و برای رسیدن به این هدف از معیارهایی که بیشترین تاثیر دارند و در دسترس هم باشند استفاده شده است. این لایه ها عبارتند از ارتفاع، شیب و جهت شیب، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، تراکم شبکه آبراهه یا زهکشی، بارش و فاصله از آبراهه انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. نقشه ها از نرم افزار ArcMap از مجموعه نرم افزار ArcGIS10.8 و همچنین با بهره گیری از نرم افزار

ENVI5.3 ترسیم شده است. برای استخراج معیارها از لایه های مدل رقومی زمین (DEM)، ارتفاع و شیب و نیز آبراهه ها را از لایه DEM استخراج نموده و لایه بارش را با استفاده از داده های میانگین ده سال بارش از



شکل (۱): موقعیت استان و شهرستان و شهر کرمانشاه در نقشه ایران

Figure (1). Location of Kermanshah province and township on the map of Iran

۱۳۹۱ تا ۱۴۰۱ از ایستگاه های کرمانشاه، روانسر، سنقر، هرسین، ماهیدشت و اسلام آباد برداشت نموده و با درونیایی نمودن آنها نقشه مورد نظر بدست آمد. لایه کاربری اراضی نیز با روش های طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان با استفاده از نرم افزار ENVI5.3 بدست آمده است. در مرحله بعد برای بدست آوردن میزان اهمیت هر یک از معیارها در رابطه با وقوع سیل و همچنین وزن دهی به معیارهای انتخاب شده، از مدل تحلیل سلسله

مراتبی فازی (FAHP) استفاده شده است. در مورد نظر خبرگان در اولویت بندی معیارها از میانگین نظرات دوازده نفر از اساتید و دانشجویان تحصیلات تکمیلی در قالب پرسشنامه ثبت و در محیط نرم افزار Expert Choice استفاده شد.

برای بدست آوردن پوشش گیاهی محدوده شهرستان کرمانشاه از تصویر ماهواره ای لندست ۸ که در تاریخ ۲۰۲۱/۰۹/۲۷ تصویر برداری شده، استفاده شده است. این تصویر ماهواره ای دارای قدرت تفکیک ۳۰ متر می باشد ولی با استفاده از روش گرام اشمیت با استفاده از باند پانکروماتیک قدرت تفکیک آن به ۱۵ متر تغییر داده شد. تصویر از لحاظ هندسی تصحیح شده و از دقت مناسبی برخوردار است و خطای آن کمتر از یک متر است. نقشه پوشش گیاهی شهرستان کرمانشاه بر اساس شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) از نرم افزار ENVI5.3 استخراج شد. فرمول این شاخص بصورت رابطه (۱) است.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

که در آن NIR باند مادون قرمز نزدیک یعنی باند ۵ ماهواره لندست ۸ و R باند قرمز یعنی باند ۴ است. این شاخص دارای مقادیر در بازه $[-1, 1]$ متغیر است. در این بازه هر چقدر سبزینگی بیشتر باشد به مقدار ۱ نزدیک میشه و هر چقدر به عدد -۱ نزدیک باشد میزان رطوبت افزایش می یابد و در نهایت به پهنه آبی می رسد (میر موسوی، و اسمعیلی، ۱۳۹۹). تصویر زیر لایه پوشش گیاهی با استفاده از باندهای ۴ و ۵ لندست ۸ با استفاده از رابطه (۱) است.

برای بدست آوردن پوشش اراضی از روش طبقه بندی نظارت شده^۴ و طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان (SVMC)^۵ روی تصاویر ماهواره ای در منطقه شهرستان کرمانشاه به تاریخ ۲۰۲۱ استفاده شده است. بعد از طبقه بندی و استخراج نقشه های مورد داده های بدست آمده را با داده های مرجع که داده های زمینی

1- Fuzzy Analytic Hierarchy Process

2- Gram - Schmit

3- Normalized Difference Vegetation Index

4- Supervised Classification

5- Support Vector Machine

هستند را از روش ماتریس خطا مقایسه می کنیم. جدول (۱) ماتریس کلاس بندی و دقت تولید کننده و دقت کاربر را برای هر کلاس نشان می دهد. دقت کلی روش SVMC روی تصاویر ماهواره برابر ۰/۸۹ است و ضریب کاپای آن ۰/۸۵ است. دقت تولید کننده برای این مناطق دارای کمترین مقدار ۰/۷۸ و بیشترین مقدار ۰/۹۷ است. دقت کاربر نیز برای این پردازش دارای کمترین مقدار ۰/۶۹ و بیشترین مقدار ۰/۹۲ می باشد. ضریب کاپا اگر صفر باشد نشان دهنده عدم سازگاری بین طبقه بندی انجام شده و داده های مرجع و در صورتی که مقدار آن یک باشد بیانگر سازگاری کامل بین طبقه بندی انجام شده و داده های مرجع است، در نتیجه با توجه به مقدار کاپای بدست آمده نتیجه می گیریم که طبقه بندی انجام شده در سطح قابل قبولی صورت گرفته است.

جدول (۱): ماتریس خطای طبقه بندی از روش ماشین بردار پشتیبان

Table (1): Classification error matrix from support vector machine method

نام کلاس	شهری و مسکونی	جنگل و باغ	پهنه آبی	کشاورزی	پهنه سنگی	زمین بایر	مجموع	دقت تولید کننده	دقت کاربر
شهری و مسکونی	۱۸۹۴	۵	۶۶	۱۱۰	۳	۹۹	۲۱۷۷	۰/۷۶	۰/۸۷
جنگلی	۱۰	۵۳۷	۷۷	۱۱۶	۸	۲۳	۷۷۱	۰/۸۸	۰/۶۹
پهنه آبی	۱۶۸	۲۵	۸۶۰/۸	۲۲۱	۱	۳۰/۴	۹۳۲۷	۰/۹۰	۰/۹۲
کشاورزی	۷۱	۳۳	۱۷۴	۲۴۵۰	۹	۱۲۶	۲۸۶۳	۰/۷۸	۰/۸۵
پهنه سنگی	۲۷۳	۹	۱۸	۴	۸۰/۲	۴۳	۱۱۴۹	۰/۹۷	۰/۶۹
زمین بایر	۶۰	۰	۵۵۲	۲۳۵	۰	۸۹۴۱	۹۷۸۸	۰/۹۳	۰/۹۱
مجموع	۲۴۷۶	۶۰۹	۹۴۹۵	۳۱۳۶	۸۲۳	۹۵۳۶	۲۶۰۷۳		
دقت کلی					۰/۸۹				
ضریب کاپا					۰/۸۵				

بر اساس تعداد پیکسل های موجود در هر کدام از عوارض تعریف شده از تصویر ماهواره ای در سال ۲۰۲۱ مساحت هر کدام از عوارض و درصد مساحت هر کدام محاسبه و به صورت جدول (۲) به دست آمده است.

جدول (۲): مساحت و درصد مساحت مناطق تفکیک شده براساس تصویر ماهواره ای سال ۲۰۲۱

Table (2): The area and percentage of them for the separated areas based on the satellite image of 2021

نوع پوشش اراضی	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
مسکونی و انسان ساخت	۲۲۶	۴
جنگل و باغ	۱۶۴/۴	۲/۲
پهنه آبی	۵/۹	۰/۲
زراعت	۲۱۴۲/۵	۳۶/۸
پهنه سنگی	۱۹۹۸/۷	۳۲/۳
زمین بایر	۱۱۳۲/۵	۲۴/۵

برای لایه آبراهه های شهرستان کرمانشاه، از ابزارهای ArcMap استفاده شد و مجموع طول تمام رودخانه ها و آبراهه های حوضه اندازه گیری و بر مساحت حوضه تقسیم شد عدد بدست آمده تراکم شبکه رودخانه ای حوضه یا تراکم شبکه زهکشی نامیده می شود، (علیزاده، ۱۳۹۰).

۳-۲- فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

روش های مختلفی برای ارزیابی مخاطرات طبیعی وجود دارند که شامل روش های ابتکاری، آماری و قطعی میباشند که از آنها برای تجزیه و تحلیل ها استفاده می شوند، (Papadopoulou et al., 2014). یکی از روش های ابتکاری که بطور گسترده از آن برای تصمیم گیری در زمینه اهداف چندگانه مورد استفاده قرار میگیرد روش تحلیل سلسله مراتبی است که توسط توماس ال ساعتی ابداع و توسعه داده شد. این روش بر پایه مقایسه زوجی بین معیارها و زیر معیارهای موثر در تصمیم ها استوار است. در این روش راهکاری مناسب برای تصمیم گیری در مورد مسایل پیچیده که عوامل متعددی در آن دخیل هستند، ارائه می دهد. این روش به (AHP) معروف است. در این روش عناصر هر سطح نسبت به عنصر دیگر مقایسه و وزن آنها محاسبه می گردد و سپس با تلفیق وزن های بدست آمده، وزن نهایی گزینه ها هم مشخص می گردد، (رنجبر و روغنی، ۱۳۸۸). این مقایسه های زوجی بر مبنای مقیاس ۹ کمیتی ارائه شده بصورت ضربی از این اعداد خواهند بود به طوری که اگر دو معیار با هم مقایسه گردند ترجیح یک معیار بر دیگری بصورت ضربی از این اعداد خواهد بود که در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول (۳): مقیاس اهمیت نسبی ۹ نقطه ای و معادل فازی مثلثی آن

Table (3): Relative importance scale for 9-point and its triangular fuzzy equivalent

مقدار اعداد فازی	مقدار عددی	درجه اهمیت
(۱ و ۱ و ۱)	۱	اهمیت برابر
(۲ و ۳ و ۴)	۳	اهمیت متوسط
(۴ و ۵ و ۶)	۵	اهمیت قوی
(۶ و ۷ و ۸)	۷	اهمیت خیلی قوی
(۹ و ۹ و ۹)	۹	اهمیت فوق العاده
(۱ و ۲ و ۳) و (۳ و ۴ و ۵) و (۴ و ۵ و ۶) و (۵ و ۶ و ۷) و (۶ و ۷ و ۸)	۲ و ۴ و ۶ و ۸	درجه اهمیت بین فواصل

۳-۳- فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)

روش تحلیل سلسله مراتبی فازی بر اساس نظریه مجموعه فازی توسط پروفیسور لطفی زاده در سال ۱۹۶۵ بنیانگذاری شده است. چند دهه بعد ادغام روش تحلیل سلسله مراتبی با مجموعه های فازی انجام شد بطور قابل ملاحظه ای گسترش یافت و AHP را برای حالتی بسط داده شد که به سیستم فازی امکان تعمیم وجود داشته باشد، (Chang, 1996) و (Van Laarhoven, Pedrycz, 1983). در روش FAHP بعد از ایجاد ساختار سلسله مراتبی، برای مساله هایی که باید حل شود، اهمیت نسبی عوامل متناظر با معیارها از مقایسه نسبی فازی استفاده می شود، (شجاعیان و همکاران، ۱۳۹۲). منطق فازی اجازه می دهد که دو حالت صحیح و غلط، طیفی از اعداد بین صفر و یک در نظر گرفته شود که به طور نسبی صحیح یا غلط باشند و این قواعد در نظریه مجموعه ها این شرایط را دارد که توابعی را تعریف کرد که به ازای هر مقدار در بازه دارای دو حالت صحیح یا غلط باشد. در رابطه با مجموعه های فازی، فازی سازی های مختلفی انجام شده که می توان به فازی سازی خطی، مثلثی، دوزنقه ای، گوسین و S شکل اشاره کرد. پس از فازی سازی داده ها لازم است عملیات ریاضی بر روی داده های فازی نظیر عملگرهای AND، OR، ضرب جبری، جمع جبری و عملگر منطقی گامای فازی ایجاد شود، (کرم و یعقوب نژاد، ۱۳۹۲). در روش FAHP مقیاس اهمیت نسبی برای اعداد بصورت مثلثی نسبت می دهیم که می توان برای اعداد بصورت جدول (۳) نمایش داد. روند محاسبه و بدست آوردن وزن معیارها با روش FAHP بصورت روابط (۳-۹) بدست می آیند. ماتریس مقایسات زوجی را به صورت ماتریس \bar{x} با ابعاد $m \times n$ در نظر گرفته شد.

$$\bar{x} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \Rightarrow \bar{x} = [x_{ij}], 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n \quad (3)$$

حال اگر به ازای هر عدد معادل فازی آن در جدول (۳) در نظر بگیریم ماتریس را به صورت زیر نمایش می دهیم.

$$\Rightarrow \bar{t}_{ij} = [a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}] \quad (4)$$

برای محاسبه میانگین هندسی سطری هر کدام از مولفه های ماتریس از فرمول زیر استفاده می کنیم.

$$\bar{z}_i = \left(\prod_{j=1}^n \bar{t}_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}, \quad 1 \leq i \leq m \quad (5)$$

نرمال کردن میانگین هندسی وزن فازی بدست آمده را با رابطه زیر می توان انجام داد.

$$\bar{w}_i = \bar{z}_i \otimes (\bar{z}_1 \oplus \bar{z}_2 \oplus \dots \oplus \bar{z}_m)^{-1} \quad (6)$$

لازم به ذکر است که برای محاسبه معکوس اعداد فازی با توجه به مثلثی بودن از رابطه زیر بهره می گیریم.

$$(m, n, p)^{-1} = \left(\frac{1}{p}, \frac{1}{n}, \frac{1}{m} \right) \quad (7)$$

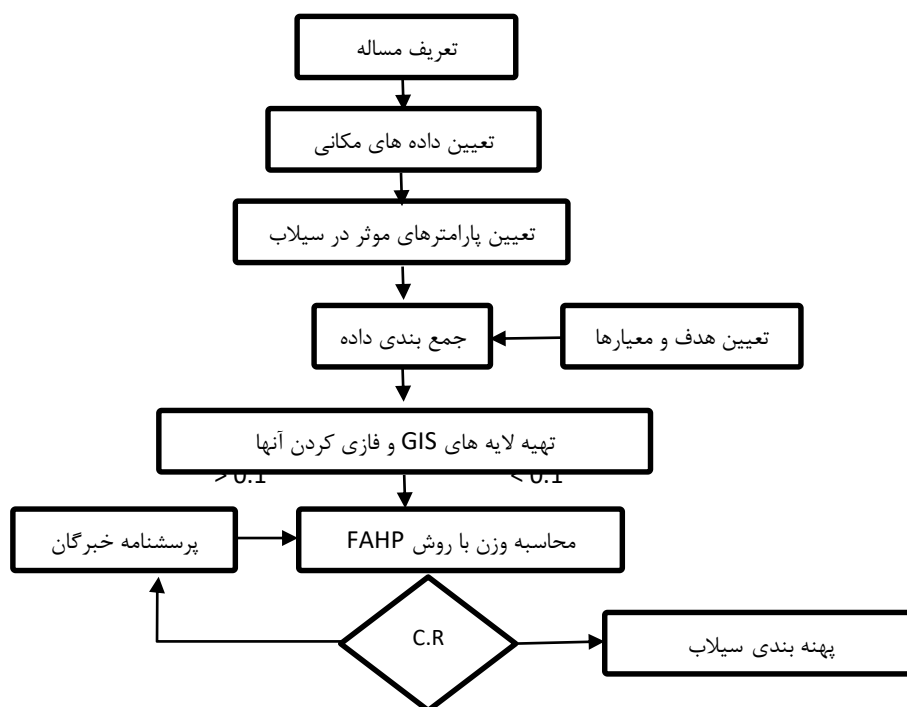
حال میانگین حسابی هر کدام از وزن های مثلثی فازی بدست آمده را محاسبه می کنیم و وزن را بصورت یک عدد بدست می آوریم.

$$w_i = \frac{l_i + m_i + u_i}{3}, \quad 1 \leq i \leq m \quad (8)$$

حال اگر مجموع وزن ها برابر ۱ نبود به از رابطه زیر استفاده می کنیم و اعداد بدست آمده وزن مورد نظر است.

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^m w_i}, \quad 1 \leq i \leq m \quad (9)$$

نمودار جریانی پهنه بندی سیلاب در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل (۲): نمودار روند پهنه بندی سیلاب منطقه

Figure (2). Diagram of the process of preparing the flood potential map of the region

۴- تجزیه و تحلیل داده ها

در این پژوهش تجزیه و تحلیل داده ها، در چند مرحله انجام شد.

ارزیابی میزان اهمیت و وزن نسبی هر یک از معیارها در فرایند تصمیم گیری توسط دوازده نفر از اساتید و دانشجویان تحصیلات تکمیلی ضرایب از ۱ تا ۹ اختصاص یافت. بعد از مشخص شدن ماتریس مقایسه، وزن نهایی هر یک از معیارها بدست آمد که در این گام نخست با استفاده از روش AHP وزن های مورد نظر بدست آمد و در گام بعدی با استفاده از نرم افزار Expert Choice ضرایب وزنی مطابق با شکل (۳) بدست آمد. ناسازگاری مقایسات زوجی و وزن های بدست آمده برابر ۰/۰۹ محاسبه گردید که با وزن های بدست آمده از

راه AHP برابر شد. در این حالت بیشترین تاثیر معیارهای موجود بارش و کمترین تاثیر معیار شاخص NDVI در پهنه بندی خطر سیلاب در شهرستان کرمانشاه نشان می دهد.



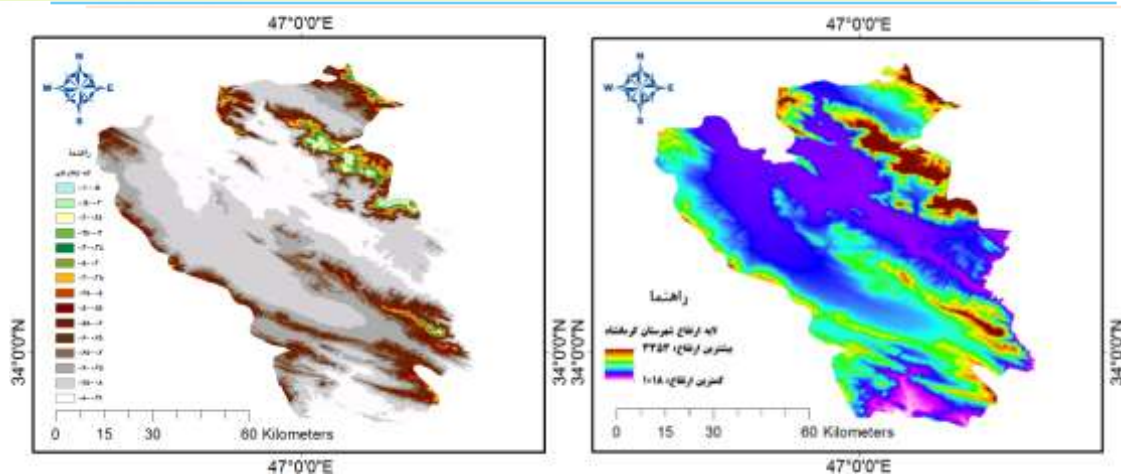
شکل (۳): وزن محاسبه شده معیارها با استفاده از نرم افزار Expert Choice

Figure (3). Calculated weight of criteria using Expert Choice software

استاندارد سازی لایه های مورد نظر در بازه صفر و یک با استفاده از منطق فازی است که با استفاده از نرم افزار ArcMap انجام شد. لایه های استاندارد شده در وزن های بدست آمده از روش FAHP ضرب شده و همپوشانی لایه ها با استفاده از عملگر فازی جمع جبری صورت گرفت و بدین صورت نقشه های پهنه بندی خطر سیلاب شهرستان کرمانشاه بدست آمد.

۴-۱- لایه ارتفاع

ارتفاع حوضه یکی از عوامل مهم در ایجاد رواناب و سیل به شمار می رود چرا که مناطقی با ارتفاع بالا دارای جریان بیشتر و سرعت بالاتری از رواناب می باشند، (دژآگاه، ۱۳۹۵). در حالی که این رواناب ها در مناطق پایین دست دارای سرعت کمتر و در نتیجه باعث تجمع رواناب ها و در نهایت عاملی برای تولید سیلاب می شود. شکل (۴) لایه ارتفاعی شهرستان کرمانشاه از کمترین تا بیشترین ارتفاع نمایش داده شده است. ارتفاعات عمده شهرستان در شمال و جنوب و قسمتی هم از جنوب شرقی تا مرکز شهرستان امتداد یافته است. دو دشت کرمانشاه و ماهیدشت نیز با میانگین ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا از شرق شهرستان تا غرب و شمال غربی امتداد یافته است که ناحیه های پست منطقه از مرکز شروع تا شمال غرب شهرستان واقع شده است. جهت فازی سازی این لایه چون با افزایش ارتفاع میزان سیل خیزی کمتر میشود بنابراین نوع تابع برای فازی سازی آن بصورت کاهشی است بدین معنا که مناطق کم ارتفاع دارای بیشترین امتیاز برای سیل خیزی هستند.

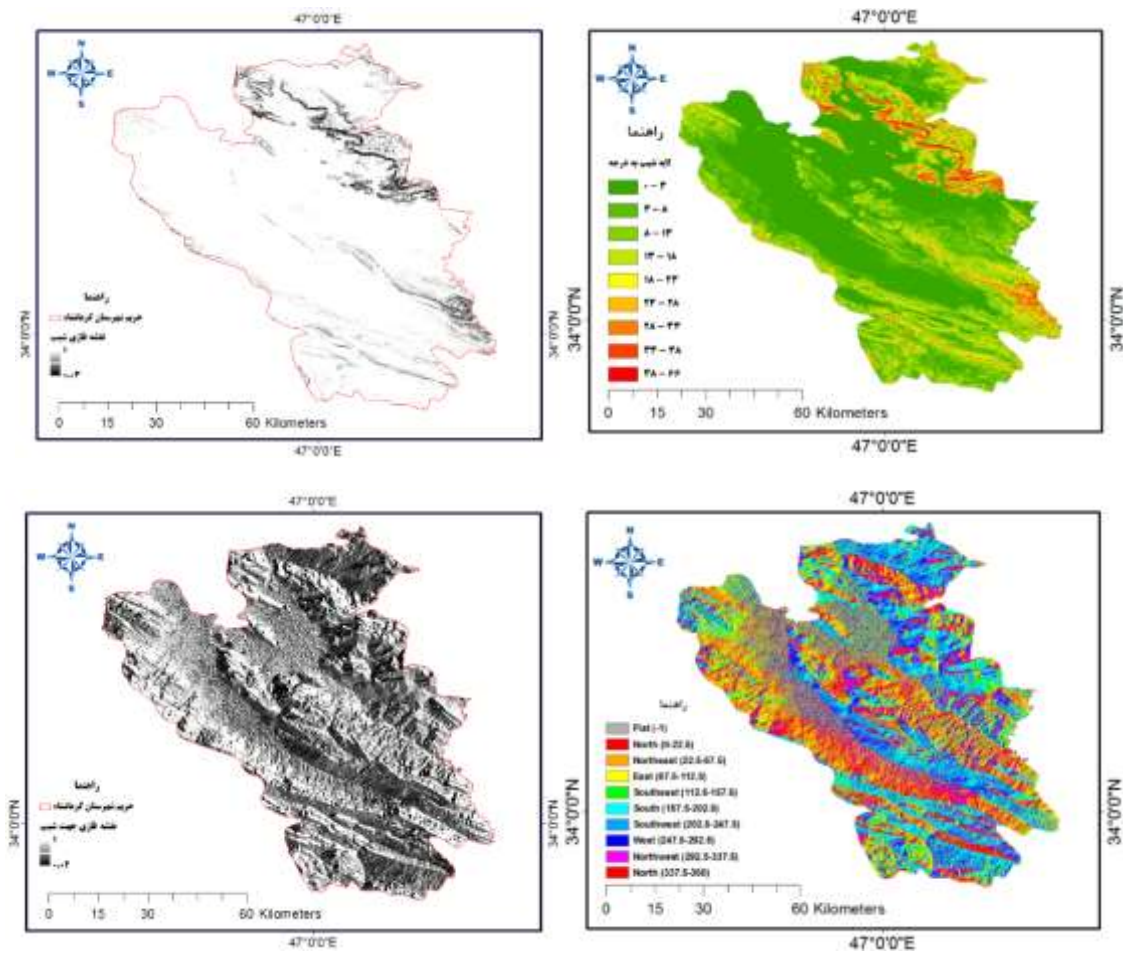


شکل(۴): نقشه لایه ارتفاع شهرستان کرمانشاه به همراه نقشه فازی آن

Figure (4). Elevation layer map of Kermanshah township along with its fuzzy map

۴-۲- لایه شیب و جهت شیب

شیب و جهت شیب منطقه را به عنوان یکی از معیارهای موثر در خطر سیلاب در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. مناطق شمالی شهرستان کرمانشاه دارای ارتفاع زیاد تا ۳۴۰۰ متر است و دارای شیب زیاد است. در جنوب شهرستان کوه های با ارتفاع کم قرار گرفته و شیب ملایم تری دارد. دشت های کرمانشاه و ماهیدشت نیز نسبتا دارای کمترین شیب منطقه می باشد. برای فازی نمودن این لایه با توجه به اینکه با افزایش میزان شیب، میزان خطر سیلاب بیشتر می شود و به دلیل شیب زیاد حجم رواناب در دامنه و مناطق کم شیب بیشتر می شود، بنابراین تابع فازی بصورت افزایشی می باشد.



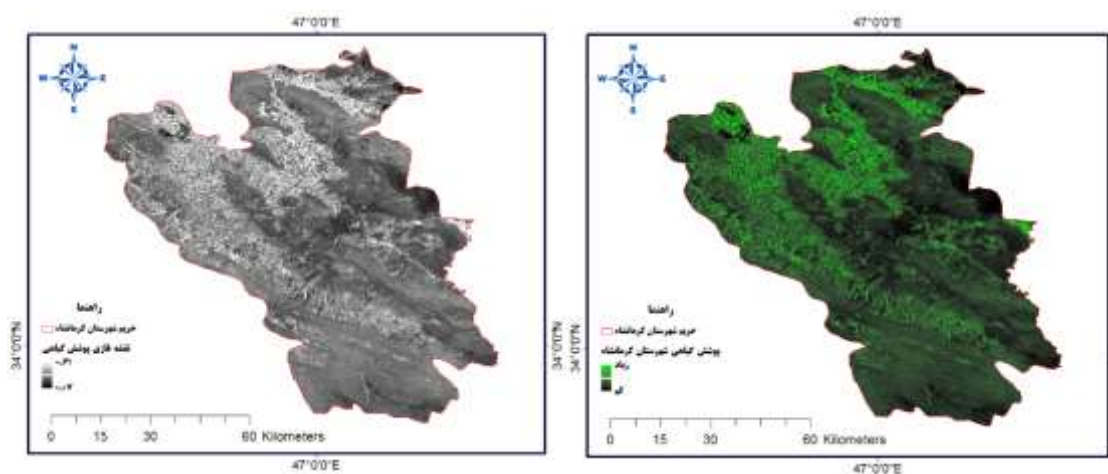
شکل (۵): نقشه لایه شیب و جهت شیب شهرستان کرمانشاه به همراه نقشه فازی آنها

Figure (5). Slope layer map and slope direction of Kermanshah township along with their fuzzy map

۴-۳- لایه پوشش گیاهی

پوشش گیاهی شهرستان با استفاده از شاخص NDVI بیانگر پوشش گیاهی مربوط به کشاورزی دشت کرمانشاه و ماهیدشت و در مقیاس کمتر مربوط به باغ های پراکنده در شهرستان کرمانشاه می باشد که در نواحی مرکزی، غرب و شمال غربی شهرستان واقع است. عمده مناطق دیگر با توجه به کوهستانی بودن منطقه پهنه سنگی و بدون پوشش گیاهی است. در مناطق مرکزی شهرستان و بصورت پراکنده زمین بایر وجود دارد که فاقد پوشش گیاهی قابل ملاحظه است. برای فازی نمودن این لایه با توجه به اینکه هر چقدر پوشش گیاهی بیشتر باشد

درصد جذب آب هم بالاتر خواهد بود بنابراین مناطقی با پوشش گیاهی کمتر مستعد سیل خیزی خواهد بود و تابع فازی بصورت کاهشی خواهد بود.

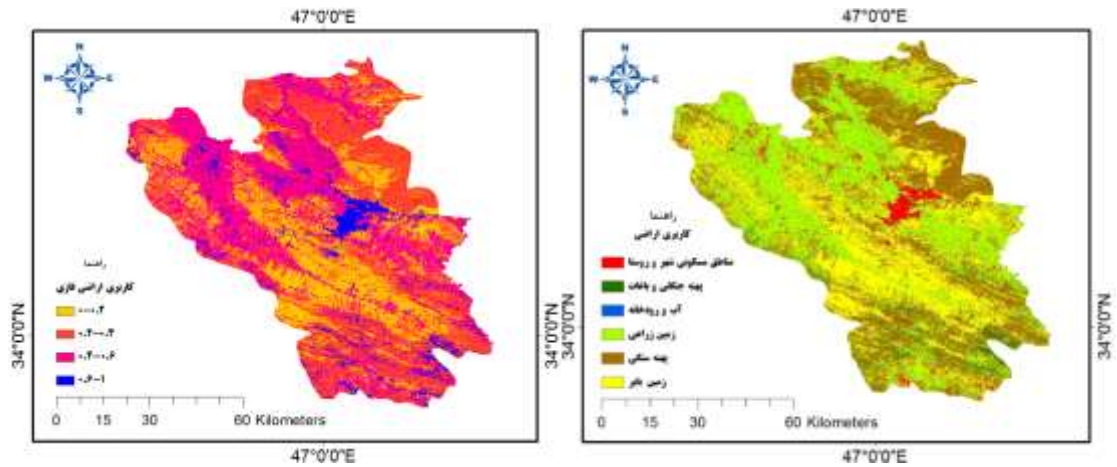


شکل (۶): نقشه پوشش گیاهی شهرستان کرمانشاه به همراه نقشه فازی آنها

Figure (6). Slope Vegetation map of Kermanshah township along with their fuzzy map

۴-۴- کاربری اراضی

نوع کاربری اراضی نقش بسیار مهمی در جذب یا عدم جذب آب ناشی از بارندگی و وقوع یا عدم وقوع سیلاب دارد. زمین زراعی و کشاورزی و پهنه جنگلی بیشترین جذب آب را با توجه به شیب منطقه به خود اختصاص می دهد. برای بدست آوردن لایه فازی این نکته دارای اهمیت است که هر چقدر مناطق شهری بیشتر و پوشش گیاهی کمتر باشد میزان سیل خیزی هم بیشتر می شود، بنابراین نوع تابع فازی در این لایه هم از نوع افزایشی خواهد بود. قبل از فازی سازی لایه کاربری اراضی، برای مناطق شهری و انسان ساخت، بیشترین امتیاز برای سیل خیزی، کلاس بندی و در نظر گرفته شده است. شکل (۷) نقشه کاربری اراضی شهرستان کرمانشاه را نشان می دهد.

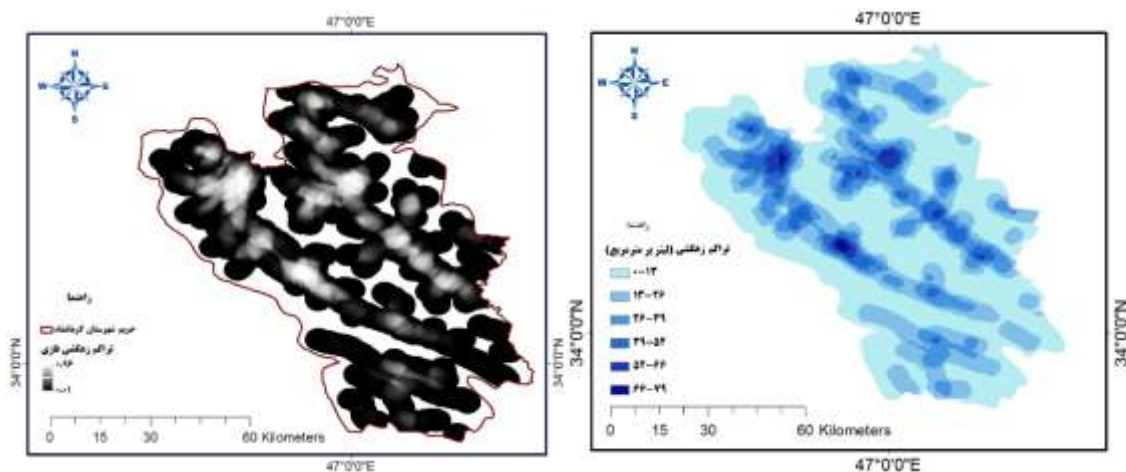


شکل (۷): نقشه کاربری اراضی شهرستان کرمانشاه بدست آمده از روش SVM به همراه نقشه فازی آن

Figure (7). Kermanshah land use map obtained by SVM method along with its fuzzy map

۴-۵- لایه تراکم زهکشی

در شکل (۸) نقشه تراکم زهکشی محدوده مورد مطالعه را نشان می دهد. برای فازی سازی این لایه بر اساس اینکه افزایش تراکم زهکشی خطر سیلاب کمتر می شود، نوع تابع برای فازی سازی از نوع کاهش خواهد بود.

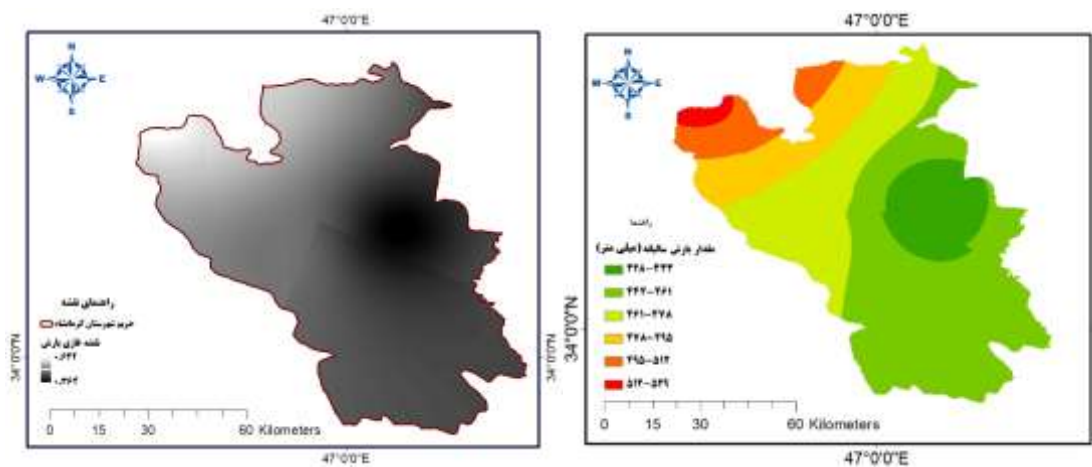


شکل (۸): نقشه تراکم زهکشی شهرستان کرمانشاه به همراه نقشه فازی آن

Figure (8). Drainage density map of Kermanshah city along with its fuzzy map

۴-۶- لایه بارش

برای تهیه لایه بارش شهرستان کرمانشاه از میانگین ۱۰ ساله بارش از سال ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰ در سطح استان با جمع آوری داده های شش ایستگاه مستقر در پیرامون شهرستان کرمانشاه استفاده شده است. با استفاده از این داده ها و استفاده از درونیابی در محیط ArcMap نقشه های بارش در دوره ده ساله مطابق با شکل (۹) تهیه گردید و سپس نقشه فازی وزن دار آن بدست آمده است. بیشترین بارش در شمال غربی شهرستان با میانگین ۵۴۰ میلیمتر و کمترین بارش نواحی مرکزی شهرستان با میزان ۴۳۰ میلیمتر در سال می باشد. تابع فازی سازی لایه بارش هم افزایشی خواهد بود. دلیل آن هم این است که با افزایش میزان بارش، میزان خطر سیل هم بیشتر می شود.



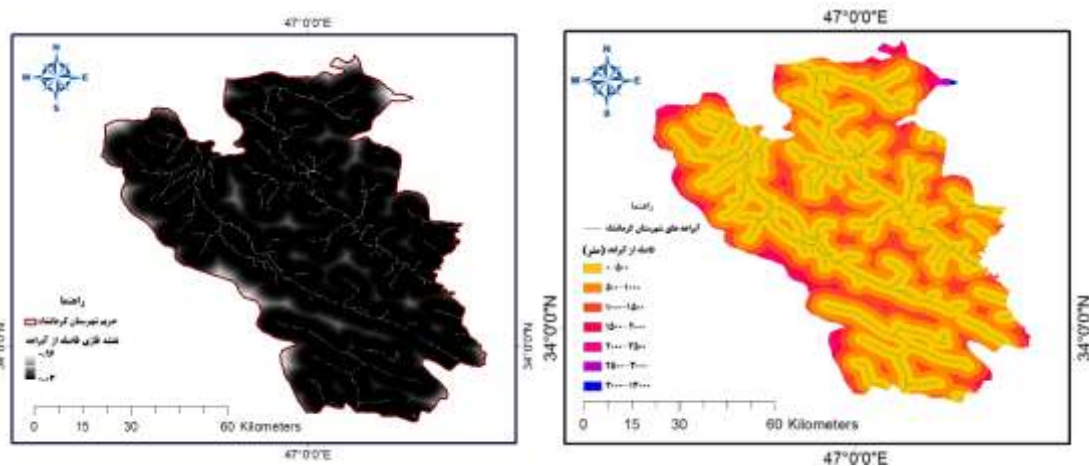
شکل (۹): نقشه بارش شهرستان کرمانشاه به همراه نقشه فازی بارش

Figure (9). Rainfall, humidity and temperature map of Kermanshah city along with fuzzy Rainfall map

۴-۷- لایه فاصله از آبراهه

در مخاطراتی مانند سیلاب، مناطقی که دارای بیشترین فاصله از آبراهه ها و رودخانه ها هستند احتمال کمتری وجود دارد که دچار سیل شوند، زیرا مناطق نزدیک به آبراهه ها در مسیر جریان رواناب سطحی قرار دارند و طبیعتاً در معرض حجم سیل بیشتری خواهند بود، (Mahmoud & Gan, 2018). شهرستان کرمانشاه میزبان چهار رود رازآور، قره‌سو، گاماسیاب و مرگ است که آبراهه های اصلی شهرستان را تشکیل می دهد. بعداً از

استخراج آبراهه های حوضه شهرستان کرمانشاه از لایه DEM در شکل (۱۰) نقشه فاصله از شبکه آبراهه و نقشه فازی وزن دار فاصله را از شبکه آبراهه نشان داده شده است. تابع فازی سازی هم برای این لایه از نوع کاهشی است.



شکل (۱۰): نقشه فاصله از آبراهه شهرستان کرمانشاه به همراه نقشه فازی آن

Figure (10). Map of the distance from the waterway of Kermanshah along with its fuzzy map

۵- همپوشانی لایه ها

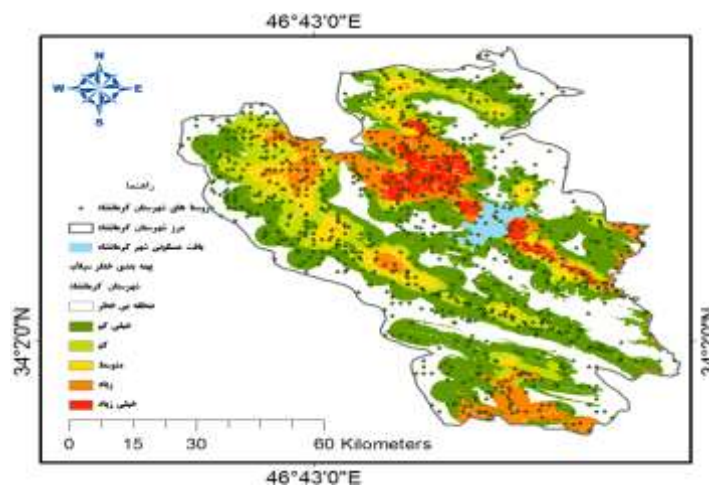
در این مقاله تلاش بر این شد که لایه ها و معیارهای اثر گذار در سیلاب در شهرستان کرمانشاه تهیه شود و در مرحله بعد با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی FAHP وزن های معیارها بدست آمده با وزن معیارهای بدست آمده از طریق نرم افزار Expert Choice مقایسه گردید و وزن های بدست آمده از نرم افزار Expert Choice مورد تایید قرار گرفت. سپس نقشه های هر کدام از معیارها روی لایه ها و نقشه های اطلاعاتی مربوط به خود تهیه شد. سپس با استفاده از دستور Fuzzy Membership نقشه ها را در فاصله صفر و یک بصورت فازی تبدیل نموده و در مرحله نهایی با استفاده از عملگرهای فازی گاما با شاخص $0/9$ فرایند تلفیق لایه ها انجام شد. در نهایت پهنه بندی خطر سیل شهرستان کرمانشاه در شش طبقه بی خطر، خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه گردید. نقشه بدست آمده از تلفیق نقشه های موثر و لایه های وزن دار شده در شکل (۱۱) قابل مشاهده است. جدول (۴) درصد مناطق در خطر سیلاب را با درجات مختلف نشان می دهد. این داده ها نشان می دهد که $6/3$ درصد از مساحت شهرستان کرمانشاه با درجه "خیلی زیاد" و $9/1$ درصد هم با درجه

"زیاد" در معرض خطر سیلاب می باشد. این مناطق معمولا در پایین ترین ارتفاع منطقه قرار گرفته و شامل روستاها با کشاورزی اطراف آن می باشد. مناطق پرخطر عمدتا در ناحیه مرکزی تا شمال شرقی شهرستان شامل می شود و در مسیر و پیرامون رودخانه رازآوار قرار دارد. ۲۸/۹ درصد از مساحت شهرستان نیز از نظر وقوع سیل کاملا بی خطر می باشد و نمایانگر مناطق مرتفع شهرستان یعنی مناطق کوهستانی و ارتفاعات با پوشش گیاهی متوسط می باشد.

جدول (۴): میزان خطر پذیری سیلاب در شهرستان کرمانشاه با درجات مختلف

Table (4): Flood hazard level in Kermanshah township with different degrees

میزان خطر پذیری سیلاب	بی خطر	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
درصد شهرستان کرمانشاه	۲۸/۹	۲۸/۶	۱۶/۷	۱۰/۴	۹/۱	۶/۳



شکل (۱۱): موقعیت روستاها در نقشه پهنه بندی خطر پذیری سیلاب شهرستان کرمانشاه

Figure (11). The location of villages in the flood risk zoning map of Kermanshah township

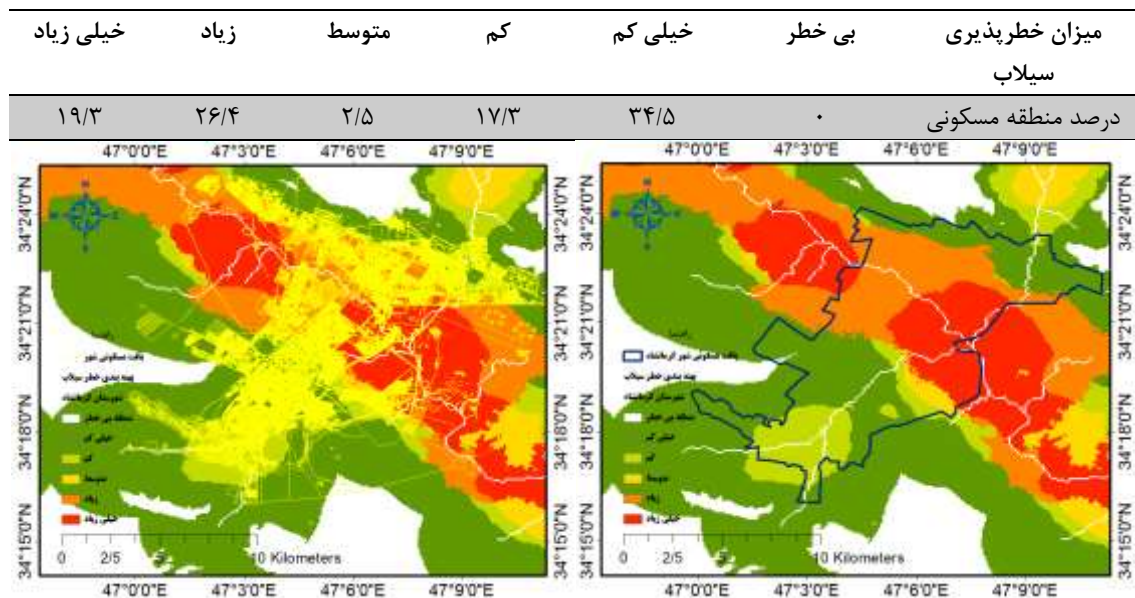
با توجه به نواحی قرمز رنگ که نشان دهنده خطر سیل پذیری با درجه خیلی زیاد است، لزوم برنامه ریزی بیشتر جهت پیشگیری از سیلاب مهم و ضروری به نظر می رسد. شکل (۱۱) موقعیت روستاهای شهرستان کرمانشاه را در پهنه بندی سیلاب نشان می دهد. از میان ۱۵۱۶ روستا در شهرستان کرمانشاه ۵۸ روستا از جمله سرتیپ آباد، سروران، سرآسیاب، گروران و دارچایمان در منطقه خطرپذیری "خیلی زیاد" و ۷۴ روستا در منطقه

خطرپذیری "زیاد" قرار دارد که برای جلوگیری و پیشگیری از فاجعه ناشی از سیلاب نیازمند برنامه ریزی و اقدام لازم می باشد.

در منطقه مسکونی شهر کرمانشاه نیز مناطق خطرپذیری سیلاب و آب گرفتگی در شکل (۱۲) قابل ملاحظه است. میزان مساحت مناطق تفکیک شده نیز بصورت جدول (۵) محاسبه شده است. میزان خطرپذیری در مناطق مسکونی شهر کرمانشاه با درجه "خیلی زیاد" برابر با ۱۹/۳ درصد از مرز تعیین شده کلان شهر کرمانشاه شامل شهرک های کرناچی، شهرک گل ها، شهرک چغامیرزا فاز ۲، الهیه، چغاگلان و حافظیه و ده پهن می باشد. این میزان آسیب پذیری از شهر به عنوان یک اولویت جهت اقدامات کوتاه مدت عمرانی باید در نظر گرفته شود. در درجه بعدی میزان خطرپذیری با میزان "زیاد" برابر ۲۶/۴ درصد است که در میان مدت نیازمند اقدامات اصلاحی می باشد.

جدول (۵): میزان خطر پذیری سیلاب در شهر کرمانشاه با درجات مختلف

Table (5): Flood hazard level in Kermanshah township with different degrees



شکل (۱۲): موقعیت بافت مسکونی و شهر کرمانشاه در نقشه پهنه بندی خطر پذیری سیلاب

Figure (12). Location of the residential context and Kermanshah township in the flood risk zoning map

۶- نتیجه گیری

وقوع سیل در زمان های مختلف خسارت های زیادی را بر ساکنان زمین وارد کرده است. برای جلوگیری از صدمات و خسارات سیلاب در آینده، نیازمند برنامه ریزی و پژوهش می باشیم. هدف پژوهش حاضر شناسایی عوامل تاثیر گذار در خطر سیل با استفاده از روش FAHP می باشد. با اعمال وزن ها، مناطق خطر پذیر سیلاب با درجات مختلف (خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم) پهنه بندی شدند. در بین معیارهای ارائه شده در مقالات مختلف از هفت معیار با بیشترین تاثیر در وقوع سیلاب شناسایی و با همین هفت معیار ارزیابی ها انجام شد. در میان هفت معیار تاثیر گذار در وقوع سیلاب، حداکثر بارش دارای بیشترین تاثیر و بعد از آن شیب و جهت شیب دارای اهمیت دوم و عامل ارتفاع و فاصله از آبراهه در جایگاه سوم اهمیت و در نهایت شاخص پوشش گیاهی دارای کمترین تاثیر در بروز سیلاب در رتبه هفتم قرار دارد. در مرحله دوم نقشه های بدست آمده را با بدست آوردن لایه فازی آنها قابل قیاس و اندازه گیری نموده و همه آن نقشه ها فازی شده با روش تلفیق فازی از روش گاما با شاخص ۰/۹ به یک نقشه واحد تبدیل شده و پهنه بندی خطر سیلاب بدست آمده است. با استفاده از این نقشه مناطق پرخطر و کم خطر شهرستان کرمانشاه شناسایی شده است. این تحقیق در مقایسه با پژوهش های مشابه با توجه به معیارهای در نظر گرفته شده از دقت نسبی بیشتر برخوردار است. با بازدید میدانی انجام شده از سیلاب سال ۱۳۹۸ در مناطق پر خطر شناسایی شده در پهنه بندی تاییدی بر راست آزمایی پهنه بندی بدست آمده است. بر اساس این نقشه و پهنه بندی بدست آمده نتیجه گرفته می شود که ۶/۳٪ از مساحت شهرستان کرمانشاه دارای خطر پذیری وقوع سیل با درجه خیلی زیاد، ۹/۱٪ درصد دارای خطرپذیری با درجه زیاد، ۱۰/۴٪ درصد با درجه متوسط، ۱۶/۷٪ درصد با درجه کم و ۲۸/۶٪ درصد با درجه خیلی کم قابل تشخیص است. همچنین میزان خطر پذیری وقوع سیلاب در بافت مسکونی شهر کرمانشاه به ترتیب دارای ۱۹/۳٪ درصد از مساحت شهر کرمانشاه با درجه خطرپذیری خیلی زیاد، ۲۶/۴٪ درصد مساحت با درجه زیاد، ۲/۵٪ درصد مساحت با درجه متوسط، ۱۷/۳٪ درصد مساحت با درجه کم و ۳۴/۵٪ درصد مساحت با درجه خیلی کم می باشد. بنابراین با توجه به مناطق مشخص شده و میزان خطرپذیری سیلاب در سطح شهر و شهرستان، انتظار می رود که جهت مهار سیلاب و پیشگیری از خسارات های کلان، طراحی و اجرای پروژه های عمرانی متناسب و سازه های مهندسی کارآمد انجام گیرد.

۷- مراجع

- Cheraghi Ghalehsari, A., Habibnejad Roshan, M., & Roshun, S. H. (2020). Flood Susceptibility Mapping Using a Support Vector Machine Models (SVM) and Geographic Information System (GIS). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 9(25), 61-80. doi: 10.22111/jneh.2020.31018.1547 [In Persian].
- Dezhagah, M., (2016), Zonation Flood in the Masouleh Rudkhan Basin by CN Model, *Dissertation Master of Science, University of Mohaghegh Ardabili*. [In Persian].
- Hassas, h., (2017), A simple expert model for flood zoning, Faculty of Agriculture and Natural Resources, university of ardestan. [In Persian].
- Karam, A., Darakhshan, F., (2012), Flood Zoning, Flood Estimation and Evaluation of the Efficiency of Surface Water Drainage Channels in Urban Basins (Case Study: Waterfall Basin in Kermanshah), *Quarterly Journal Natural Geography*, 5(16), pp. 37 – 54. [In Persian].
- Mahdavi, m., (2002), Applied Hydrology, Tenth Edition. Tehran University Press, Tehran. 439p. [In Persian].
- Mahmoudzadeh, H., Bakoi, M. (2018). Flood zoning using fuzzy analysis (case study: Sari city). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(18), 51-68. doi: 10.22111/jneh.2018.19885.1238. [In Persian].
- Malekian, A., Oftadegan Khuzani, A., Ashunejad, G., (2012), Flood Hazard in Watershed Scale using Fuzzy Logic (Case Study: Akhtar Abad Watershed), *Physical Geography Research Quarterly*, 44(4), pp. 131 – 152. [In Persian].
- Mir Mosavi, H, Esmaeili, H, (2021), Zoning of Flood-prone Areas Using Geographic Information System (GIS) and Remote Sensing (RS), (Case Study: Darab City), *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10(44), pp 21-46. [In Persian].
- Mododi Arkhodi, M., Boroumand, R., & Akbari, E. (2021). Spatial zoning and analysis of flood risk Sample villages of Qaen city). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10(29), 53-68. doi: 10.22111/jneh.2020.32990.1614 [In Persian].
- Najafi, E., & Karimi Kerdabadi, M. (2020). Flood Risk Evaluation and Zoning using with AHP-Fuzzy Combined Model with Emphasis on Urban Safety (Case Study: Region 1 of Tehran Municipality). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 9(2), 43-60. doi: 10.22067/geo.v9i2.86110 [In Persian].
- Rafii, Y., Salehi, E., Farzad Behtash, M., Aghababai, M., (2013), Urban Flood Hazard Zonation Using Gis and Fuzzy-AHP Analysis (Case Study: Tehran City), *Journal Of Environmental Studies*, 39(3), pp. 179 – 188. [In Persian].
- Ranjbar, M., Roghani, P., (2009), Landslide Hazard Zonation in Ardal City Using Aierarchical Analysis Method (AHP), *Quarterly Journal Of Geography and Urban Planning of the Zagros Landscape*, 1(2), pp. 21 – 30. [In Persian].

- Shojaiian, A., Maleki., S., Omidipour., M (2014), Organizing Urban Training Centers Placement Using Boolean Logic and Fuzzy Multi-criteria Decision Making, *Scientific Quarterly Journal Management System*, 2(4), pp. 137-166. [In Persian]
- Zahedi, M., & Bayati Khatibi., (2009), Hydrology, First Edition, Samt Press, Tehran. 200p. [In Persian].
- Ahern, M., Kovats, R. S., Wilkinson, P., Few, R., & Matthies, F. (2005). Global health impacts of floods: epidemiologic evidence. *Epidemiologic reviews*, 27(1), 36-46.
- Bronstert, A. (2003). Floods and climate change: interactions and impacts. *Risk Analysis: An International Journal*, 23(3), 545-557.
- Celik, M., Er, I. D., & Ozok, A. F. (2009). Application of fuzzy extended AHP methodology on shipping registry selection: The case of Turkish maritime industry. *Expert Systems with Applications*, 36(1), 190-198.
- Chang, D.-Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European journal of operational research*, 95(3), 649-655.
- Christensen, J. H., & Christensen, O. B. (2003). Climate modelling: severe summertime flooding in Europe. *Nature*, 421(6925), 805.
- Das, S. (2019). Geospatial mapping of flood susceptibility and hydro-geomorphic response to the floods in Ulhas basin, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 14, 60-74.
- Dano Umar, L., Matori, A. N., Hashim, A. M., Chandio, I. A., Sabri, S., Balogun, A. L., & Abba, H. A. (2011). Geographic information system and remote sensing applications in flood hazards management: A review. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 3(9), 933-947.
- Eslaminezhad, S., Eftekhari, M., & Akbari, M. (2020). GIS-Based Flood Risk Zoning Based On Data-Driven Models. *Journal of Hydraulic Structures*, 6(4), 75-98. doi: 10.22055/jhs.2021.36629.1163.
- Kumar, S., Jaswal, A., Pandey, A., & Sharma, N. (2017). Literature review of dam break studies and inundation mapping using hydraulic models and GIS. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(5), 55-61.
- Lian, J., Xu, H., Xu, K., & Ma, C. (2017). Optimal management of the flooding risk caused by the joint occurrence of extreme rainfall and high tide level in a coastal city. *Natural Hazards*, 89(1), 183-200.
- Mahmoud, S. H., & Gan, T. Y. (2018). Multi-criteria approach to develop flood susceptibility maps in arid regions of Middle East. *Journal of cleaner production*, 196, 216-229.
- Mather, P. M., & Koch, M. (2011). Computer processing of remotely-sensed images: an introduction: John Wiley & Sons. McCoy, R. M. (2005). Field methods in remote sensing: Guilford Press.
- Mir Mosavi, S. H., & Esmaili, H. (2021). Zoning of Flood-prone Areas Using Geographic Information System (GIS) and Remote Sensing (RS), (Case Study: Darab City). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10(27), 21-46. doi: 10.22111/jneh.2020.32986.1613

- Nyarko, B. K. (2002). Application of a rational model in GIS for flood risk assessment in Accra, Ghana. *Journal of Spatial Hydrology*, 2(1).
- Papadopoulou-Vrynioti, K., Alexakis, D., Bathrellos, G. D., Skilodimou, H. D., Vryniotis, D., & Vassiliades, E. (2014). Environmental research and evaluation of agricultural soil of the Arta plain, western Hellas. *Journal of Geochemical Exploration*, 136, 84-92.
- Parsian, S.; Amani, M.; Moghimi, A.; Ghorbanian, A.; Mahdavi, S. (2021). Flood Hazard Mapping Using Fuzzy Logic, Analytical Hierarchy Process, and Multi-Source Geospatial Datasets. *Remote Sens.* 2021, 13, 4761. <https://doi.org/10.3390/rs13234761>.
- Patra, J.P., Kumar, R., Mani, P., (2015). Combined fluvial and pluvial flood inundation modeling for a project site, *Procedia Technology*, 24: 93-100.
- Qin, Q.M.; Tang, H.M. and Chen, H.K. (2011). Zoning of highway flood-triggering environment for highway in Fuling District, Chongqing. In 2011 International Conference on Photonics, 3D-imaging, and Visualization (pp. 820530-820530), International Society for Optics and Photonics. <https://doi:10.1117/12.905936>.
- Sinha, R., Bapalu, G., Singh, L., & Rath, B. (2008). Flood risk analysis in the Kosi river basin, north Bihar using multiparametric approach of analytical hierarchy process (AHP). *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 36(4), 335-349.
- Soltani, Mohammad Ali. (1374). Historical geography and detailed history of Kermanshahan, vol. 1, Tehran: *Soha Cultural Institute*, first edition. [In Persian]
- Tanavud, C., Yongchalermchai, C., Bennui, A., & Densreeserekul, O. (2004). Assessment of flood risk in Hat Yai municipality, Southern Thailand, using GIS. *Journal of Natural Disaster Science*, 26(1), 1-14.
- Taylor, J., man Lai, K., Davies, M., Clifton, D., Ridley, I., & Biddulph, P. (2011). Flood management: prediction of microbial contamination in large-scale floods in urban environments. *Environment international*, 37(5), 1019-1029.
- Vorogushyn, S., Lindenschmidt, K.-E., Kreibich, H., Apel, H., & Merz, B. (2012). Analysis of a detention basin impact on dike failure probabilities and flood risk for a channel-dike-floodplain system along the river Elbe, Germany. *Journal of Hydrology*, 436, 120-131. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.03.006>.
- Youssef, A. M., & Hegab, M. A. (2019). Flood-Hazard Assessment Modeling Using Multicriteria Analysis and GIS: A Case Study: Ras Gharib Area, Egypt. In *Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences* (pp. 229-257): Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815226-3.00010-7>.



Flood risk zoning by using of FAHP method (Case study: Kermanshah township)

Abstract

On earth, natural hazards always cause huge and irreparable damage to the natural environment and man-made phenomena. Floods are among the dangers that always have the possibility of their occurrence. Today, with the emergence of population density in cities and villages, floods have taken on widespread and catastrophic dimensions. Iran is one of the flood-prone countries in the world, and due to climate changes in recent years, we will see more destructive floods in the future. The more prevention and measures are considered, the less human losses and economic costs will be involved. Identifying flood-prone areas is one of the primary measures to deal with them. The Kermanshah township was not separated from this and this research was conducted with the aim of preparing a flood potential map of Kermanshah township. Considering that there are many parameters that are effective in flooding, so in this research, seven parameters of height, slope and direction of slope, vegetation, land use, density of watercourse or drainage network, precipitation and distance from the watercourse are selected and the corresponding map for each one was prepared. In the next step, the maps prepared using the fuzzy AHP hierarchical analysis model were weighted and finally the layers were overlapped using the gamma fuzzy operator in ArcMap software, and the maps related to flood risk zoning in the Kermanshah township. Was obtained. The area and areas of flood risk in Kermanshah township with very high, high, medium, low and very low degrees was calculated as percentage 6.3, 9.1, 10.4, 16.7 and 28.6 respectively and the area of the regions with flood risk in Kermanshah city with very high, high, medium, low and very low degrees equal to 19.3, 26.4, 2.5, 17.3 and 34.5 respectively.

Keywords: Flood zoning, Density of drain, Fuzzy hierarchical analysis Process, Fuzzy operator, Remote Sensing.