

پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه‌ی آبخیز آق‌لاقان‌چای با استفاده از مدل ANP

عقیل مددی^{۱*}، الناز پیروزی^۲، سمیه پرستار^۳

۱ دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

۲ دانشجوی دکتری مخاطرات ژئومورفولیک، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

۳ کارشناس ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۵؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۱/۱۴)

چکیده

سیلاب از جمله بلایای طبیعی در مناطق کوهستانی است. شناخت نواحی مستعد وقوع سیلاب، یکی از اقدام‌های اساسی در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی توسعه‌ای است. حوضه‌ی آبخیز آق‌لاقان‌چای به لحاظ شرایط موجود در منطقه شامل توپوگرافی و اقلیمی، بسیار مستعد برای شکل‌گیری سیلاب و رواناب است و این امر خسارت‌های زیادی را به سکونت‌گاه‌های روستایی، مزارع و راه‌های ارتباطی وارد می‌کند. همچنین وقوع این پدیده، ضمن افزایش فرسایش‌پذیری خاک و هدررفت منابع با ارزش خاک، موجب تشدید پر شدن مخزن سد یامچی نیز می‌شود. بنابراین، هدف تحقیق حاضر، پهنه‌بندی حوضه‌ی مورد مطالعه از لحاظ پتانسیل وقوع سیلاب است. در این مطالعه ابتدا با بررسی‌های میدانی و مطالعه منابع، نه عامل به عنوان عوامل موثر برای ایجاد سیلاب در منطقه شناسایی شدند. این عوامل شامل شیب، جهت شیب، لیتولوژی، ارتفاع، فاصله از آبراهه، بارش، دما، کاربری اراضی و خاک است. سپس لایه‌های اطلاعاتی در سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. ارزش‌گذاری و استانداردسازی نقشه‌های معیار به صورت توام با استفاده از روش فازی انجام شد. جهت وزن‌دهی عوامل از روش فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده شد. در نهایت، نقشه‌ی حاصله در پنج رده‌ی با خطر بسیار کم تا خطر بسیار زیاد طبقه‌بندی شد. طبق نتایج به دست آمده، عوامل شیب، لیتولوژی و خاک بیشترین تاثیر را بر ایجاد سیل در حوضه‌ی آق‌لاقان‌چای دارند. همچنین، با توجه به نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب، به ترتیب ۱۸ و ۲۲ درصد از مساحت حوضه، در طبقه خطر بسیار زیاد و خطر زیاد قرار دارد. به طور کلی نتایج مطالعه نشان می‌دهد که حوضه آق‌لاقان‌چای دارای توان بسیار بالا از لحاظ رخداد سیلاب می‌باشد. بنابراین، انجام اقدام‌های حفاظتی، آبخیزداری و مدیریتی در حوضه‌ی مورد مطالعه ضروری است.

کلید واژه‌ها: پهنه‌بندی، سیلاب، آق‌لاقان‌چای، مدل ANP

سراغاز

سیلاب پدیده‌ای است که انسان از دیرباز همواره با آن روبه‌رو بوده است و سبب خسارات جانی و مالی فراوانی برای ساکنان مناطق سیل‌زده می‌شود. آمارها حاکی از آن است که سیلاب چه از نظر تلفات جانی و چه از نظر تلفات مالی مقام اول را در میان حوادث دیگر داراست (Azari et al., 2009). این پدیده نه تنها در کشورهای در حال توسعه، بلکه در تمام جهان شایع‌ترین مخاطره طبیعی است (Leskens et al., 2014). طبق آمار سازمان‌های تخصصی ملل متحد، در یک دهه در ۱۳۰ مورد رخداد سیلاب‌های بزرگ بیش از ۶۴۱۰۳ نفر تلفات انسانی و ۹/۰۶ میلیارد دلار خسارت اقتصادی محسوس به همراه داشته است (Omidvar, 2012). در کشور ایران نیز، روند افزایش سیل در ۵ دهه‌ی گذشته نشان می‌دهد که تعداد وقوع سیل در دهه‌ی ۸۰، نسبت به دهه‌ی ۴۰ تقریباً ۱۰ برابر شده است (Abdi, 2007). سیل به وضعیتی گفته می‌شود که در آن جریان رودخانه و سطح آب به صورت غیرمنتظره افزایش پیدا کرده و سبب خسارات مالی و جانی شود (Alizadeh, 2009). برخی از علل وقوع انواع سیل را می‌توان، ریزش باران شدید یا طولانی، ذوب برف، شکستن سد و لغزش زمین، امواج مرتفع، بستن کانال، شدت بارندگی، نوع بارندگی، زمان و حجم بارندگی، شرایط قبلی رودخانه، زهکشی حوضه، کاربری‌های نامناسب و قطع درختان جنگلی در سرچشمه رودها عنوان کرد (Tingsanchali, 2012; Kolawole, 2011; The center for Neighborhood Technology (CNT), 2013). مقایسه با سایر مخاطرات طبیعی، سیلاب‌ها با فراوانی زیاد و در فضایی گسترده اتفاق می‌افتند (Green et al., 2014; Ward et al., 2014). یکی از مهم‌ترین روش‌های مدیریتی مواجهه با سیل، پهنه‌بندی سیل است. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی عبارت از تعیین و توصیف مناطق دارای پتانسیل از نظر رواناب‌های سطحی است.

حوضه آبخیز آق‌لاقان‌چای که در دامنه‌ی جنوب‌شرقی توده آتشفشانی سبلان قرار گرفته است، به لحاظ شرایط خاص منطقه، مانند توپوگرافی (کوهستانی و مرتفع بودن حوضه)، شیب زیاد، وضعیت لیتولوژی (وجود سازندهایی با نفوذپذیری کم) و شرایط اقلیمی (بارش‌های ناگهانی و رگباری بهاری، ذوب برف‌ها، طغیان رودخانه‌ها در بهار)، از پتانسیل بالایی برای وقوع سیلاب برخوردار است. از آن نظر که وقوع سیلاب‌ها، منجر به

آسیب‌ها و خسارت‌های متعدد، از جمله تخریب راه‌های ارتباطی، پر شدن مخزن سد یامچی واقع در پایین دست حوضه، کاهش عمر مفید سد، فرسایش و هدر رفتن منابع با ارزش خاک و نابودی اقتصاد ناشی از کشاورزی در پایین دست سد در حوضه آق‌لاقان‌چای می‌شود، پهنه‌بندی سطح حوضه از لحاظ حساسیت به وقوع خطر سیلاب بسیار حایز اهمیت است.

پژوهش‌های ارزنده‌ای، به ویژه در سال‌های اخیر با روش‌های مختلفی، به منظور بررسی و مطالعه سیلاب در نواحی مختلف ایران و جهان، صورت گرفته است. برای مثال، (Mehdizadeh, 2013)، در حوضه مهرانرود شهر تبریز، به تعیین سیل و رواناب شهری با استفاده از منطق فازی و مدل ANP پرداخته است. چارچوب کلی تحقیق وی براساس تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی مختلف برای ۱۲ زیرحوضه و فازی کردن لایه‌ها و همچنین وزن‌دهی هر یک از لایه‌ها و در نهایت تعیین وزن نهایی و ضرب وزن هر یک از معیارها در نقشه‌ی فازی همان معیار انجام شده است. طبق نتایج به دست آمده از این تحقیق، استفاده از مدل‌های فوق، توانایی بالایی در تعیین پتانسیل ناشی از سیل و رواناب دارد. (Roland Clement, 2013)، در شهر Makurdi نیجریه با استفاده از نرم‌افزار GIS و داده‌های رقومی توپوگرافی، خاک، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، اقلیم، جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی به پهنه‌بندی خطر وقوع سیل پرداخت. در نهایت نقشه طبقه‌بندی خطر سیل‌خیزی تهیه شد، این نقشه نشان داد که به طور کلی شهر پتانسیل بالایی برای وقوع سیلاب دارد و پیشنهاد شد شهر به سمت مناطق کم خطر توسعه یابد. (Parastar, 2014)، در مطالعه‌ای به پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه‌ی آبخیز بالخلی‌چای در بالادست سد یامچی، با استفاده از مدل ANP پرداخته است. در این تحقیق از ده عامل شیب، جهت شیب، ارتفاع حوضه، کاربری اراضی، فرم حوضه، بارش، دما، تراکم شبکه‌ی زهکشی، خاک و سازند زمین‌شناسی به عنوان عوامل موثر در ایجاد سیلاب استفاده شده است. در نهایت، نقشه‌ی حاصله در پنج رده‌ی با خطر بسیار کم تا خطر بسیار زیاد طبقه‌بندی شده است. طبق نتایج حاصل از این تحقیق، عامل شیب، تراکم شبکه‌ی زهکشی و ارتفاع به ترتیب بیشترین تاثیر را بر ایجاد سیل دارند. (Lawal et al., 2014)، در شهر Perlise مالزی مطالعه‌ای به منظور تجزیه و تحلیل مدل استخراج میزان سیلاب و عوامل موثر بر سیلاب انجام دادند که مبتنی بر GIS و

بررسی‌ها و پیمایش‌های میدانی و با توجه به شرایط طبیعی و انسانی منطقه شناسایی شد. در مرحله بعد لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از عوامل در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. لایه‌های اطلاعاتی خطوط منحنی میزان و شبکه آبراهه با رقمی‌سازی از روی نقشه توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ به دست آمد. لایه‌های طبقات ارتفاعی، شیب و جهت شیب با استفاده از خطوط منحنی میزان در محیط Arc map تهیه شد. لایه‌ی اطلاعاتی مربوط به لیتولوژی (مقاومت سنگ‌ها) با رقمی‌سازی از روی نقشه زمین‌شناسی مشکین‌شهر با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شد. به منظور تهیه لایه اطلاعاتی کاربری از نقشه کاربری منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده شد. جهت تهیه نقشه خاک حوضه از نقشه خاک استان اردبیل با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه خاکی که سبحانی با پیمایش میدانی از حوضه آق‌لاقان‌چای تهیه کرده‌اند، استفاده شد (Sobhani, 1998). نقشه‌ی دما و بارش منطقه مورد مطالعه را با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی در داخل حوضه و همچنین ایستگاه‌های مجاور (آمارهای مربوط به سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰، ایستگاه‌های اردبیل، سرعین، نیر و لای) و با به دست آوردن معادله گرادیان دما ($P = -0.003 H + 14.45$) و گرادیان بارش حوضه ($P = 0.228 H - 86.64$) و نیز استفاده از مدل رقمی ارتفاعی به دست آمد. در نهایت، جهت پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آق‌لاقان‌چای، مدل‌سازی نهایی، با استفاده از روش ANP، در محیط نرم‌افزار Super Decision انجام شده است.

برای انتخاب گزینه‌ای از بین چند گزینه‌ی موجود، با توجه به چندین شاخص، روش‌های زیادی وجود دارد. یکی از این روش‌ها، روش AHP است. آنچه در روش AHP انجام می‌شود، گاهی دور از واقعیت است. به عنوان نمونه، گاهی می‌بینیم بین شاخص‌ها و گزینه‌ها ارتباط دوجانبه وجود دارد؛ یا حتی روشن‌تر از آن، بسیار دیده می‌شود که بین شاخص‌ها، وابستگی دوجانبه‌ی نامتقارن وجود دارد. از این‌رو ساعتی، برای گسترش نظریه‌ی خود درباره‌ی روش AHP، روش ANP یا فرایند تحلیل شبکه‌ای را پیشنهاد کرد که در آن تعاملات، وابستگی‌ها، چه درونی و چه بیرونی، بین عناصر و خوشه‌ها و همچنین وابستگی‌های بین گزینه‌ها و معیارها وجود دارد (Momeni & Sharifi salim, 2012). روش ANP شکل توسعه یافته‌ای از روش AHP می‌باشد که قادر است، همبستگی و بازخوردهای

سنجش از دور بود. پایگاه داده‌های GIS از نقشه‌های زمین‌شناسی، تصویر ماهواره‌ای SPOT و نقشه‌های توپوگرافی ایجاد شد. در نهایت با ترکیب داده‌های سنجش از دور و GIS، سه عامل زمین‌شناسی، کاربری زمین و شیب به عنوان عوامل مهم در سیل‌خیزی ذکر شد. (Vojtek & Vojtekova, 2016)، در مطالعه‌ای با استفاده از GIS، سنجش از دور و مدل‌سازی هیدرولیکی، به ارزیابی خطر سیلاب در حوضه رودخانه Vycoma در اسلوواکی پرداختند. نقشه پهنه‌بندی در سه طبقه خطر بالا، متوسط و پایین برای سه دوره (۵۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ سال)، تهیه شد و با توجه به نتایج مطالعه، مناطق مسکونی و زمین‌های کشاورزی واقع در حوضه از پتانسیل بالایی برای خطر سیلاب در هر سه دوره برخوردارند. (Negahban et al., 2017)، در مطالعه‌ای به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی با استفاده از تاپسیس فازی در حوضه‌ی آبخیز شهر باغملک پرداختند. طبق نتایج از مطالعه ۱۷/۸۶ درصد از مساحت حوضه در طبقه خطر بسیار بالا و ۲۴/۱۵ درصد در پهنه با خطر بالا قرار دارد و مناطق پرخطر به طور عمده در نواحی غربی، جنوبی و جنوب‌غربی قرار دارد. (Farish et al., 2017)، به پهنه‌بندی خطر سیلاب در منطقه Charsadda پاکستان، با استفاده از GIS، پرداختند. در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک ۳۰ متر سال ۲۰۱۰ استفاده کردند و منطقه را به سه قسمت با احتمال خطر پایین، متوسط و بالا تقسیم کردند. طبق نتایج به دست آمده، بیشتر مناطق مطالعاتی جزو پهنه خطر بالا است. با توجه به پیشینه تحقیق، از آن نظر که الگوهای تصمیم‌گیری چند معیاره از جمله الگوهای تصمیم‌گیری است که در دو دهه اخیر از استقبال بالایی برخوردار بوده است. در این بررسی نیز در نهایت، از روش ANP که یک روش جهانی است و محققان زیادی در این مورد تحقیقاتی را به عمل آورده و نتایج مناسبی از این روش به ویژه در مطالعه‌ی سیلاب به دست آورده‌اند، جهت پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آق‌لاقان‌چای استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

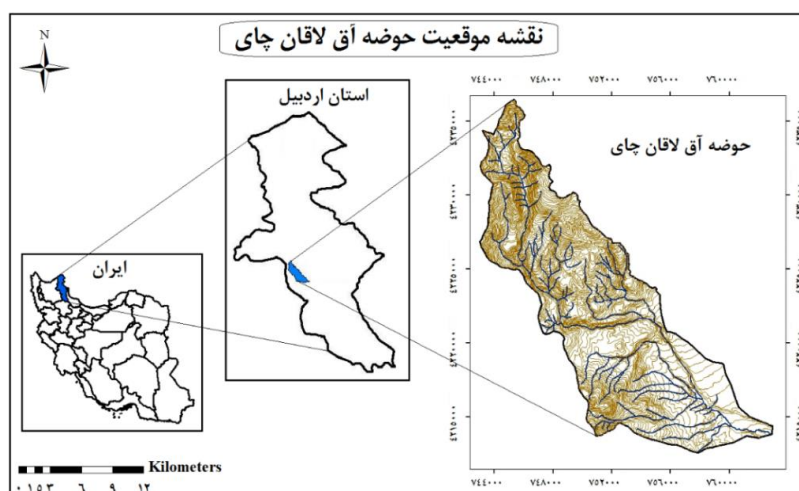
در این مطالعه، ابتدا عوامل موثر در ایجاد سیلاب حوضه مورد مطالعه (شامل: شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، لیتولوژی، کاربری اراضی، خاک، بارش، دما و فاصله از آبراهه)، با مطالعه‌ی منابع از کانال‌هایی چون مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای، بررسی ادبیات موضوع و پیمایش نظر‌ها و عقاید افراد صاحب‌نظر و نیز

مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۴۸ درجه طول شرقی قرار گرفته است و از زیر حوضه‌های بالیخلوچای اردبیل محسوب می‌شود. این حوضه در شمال غرب ایران و در دامنه جنوب شرقی کوه سبلان واقع شده است (شکل ۱). حوضه مورد مطالعه از شمال با قله سبلان، از جنوب با حوضه امام چای، از شرق با جوراب چای و سرعین و از غرب با حوضه بیوک و گردنه صائین هم‌جوار است. حداکثر ارتفاع حوضه ۴۳۸۰ متر و حداقل ارتفاع آن ۱۶۲۰ متر از سطح دریا است. شیب متوسط حوضه نیز ۳۸ درصد است. با توجه به داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، اقلیم منطقه نیمه خشک سرد است. از نظر زمین ساختی منطقه مورد مطالعه در زون زمین ساختی البرز غربی - آذربایجان قرار دارد (براساس تقسیم‌بندی Nabavi, 1977; Eftekharneshad, 1981; Darvishzade, 1992).

موجود بین عناصر در یک تصمیم‌گیری را مدل‌سازی نموده و تمامی تاثیرات درونی اجزای موثر در تصمیم‌گیری را منظور و وارد محاسبه‌ها نماید. به عبارت دیگر در مدل AHP، تنها معیارها با معیار بالایی خود ارتباط داشتند؛ یعنی معیارها به هدف‌ها، زیرمعیارها به معیارها و گزینه‌ها هم به زیرمعیارها وابسته بودند، حتی خود معیارها هم به همدیگر وابسته نبودند. ولی در مدل ANP، نه تنها خوشه‌ها بر عناصر و عناصر بر گزینه، گزینه بر عناصر تاثیر می‌گذارند، بلکه حتی عناصر بر خودشان و بر دیگر خوشه‌ها نیز اثرگذارند. بنابراین، به واسطه‌ی این ویژگی این تکنیک برتر از مدل‌های قبلی مربوطه می‌باشد. روش ANP چهار مرحله دارد: ۱. تعیین معیارها و شاخص‌ها ۲. تعیین روابط و ارتباط‌های بین عناصر و خوشه‌ها ۳. مقایسه‌های زوجی بین عناصر و خوشه‌ها ۴. تشکیل سوپرماتریس‌ها.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز آق‌لاقان چای با وسعت ۱۶۶ کیلومتر مربع در



شکل (۱): نقشه موقعیت حوضه آق‌لاقان چای در ایران و اردبیل

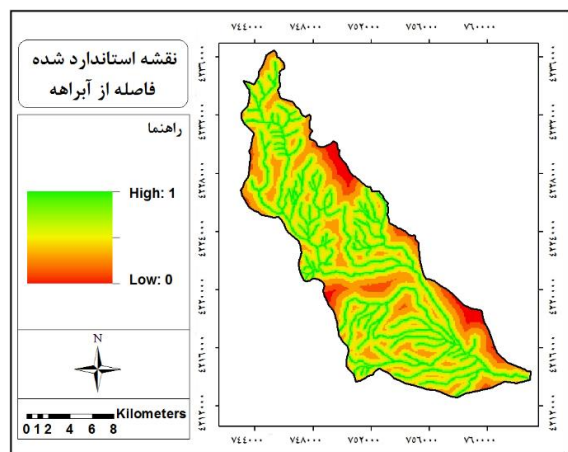
(2013). هر حوضه‌ای که دارای میانگین شیب بالایی باشد، از نظر سیل‌خیزی مستعدتر است. در حوضه مورد مطالعه، متوسط مقدار شیب ۳۸ درصد است. میزان شیب در قسمت کم ارتفاع و دشت، بین ۱۵-۰ درصد، در نواحی کوهستانی و دامنه‌های مشرف بر دره‌ها بین ۶۰-۴۵ درصد و در برخی نقاط کوهستانی حتی میزان شیب بالای ۶۰ درصد نیز است. در این مطالعه، شیب بر مبنای درجه عضویت فازی در حد فاصل ۱-۰ ارزش‌گذاری شده است (شکل ۲). در این نقشه، دامنه ارزش ۱ (نواحی پرشیب)، نشانگر پتانسیل بیشتر رواناب و سیل‌خیزی است.

نتایج و یافته‌ها

- تشریح معیارها و فازی‌سازی نقشه‌ها

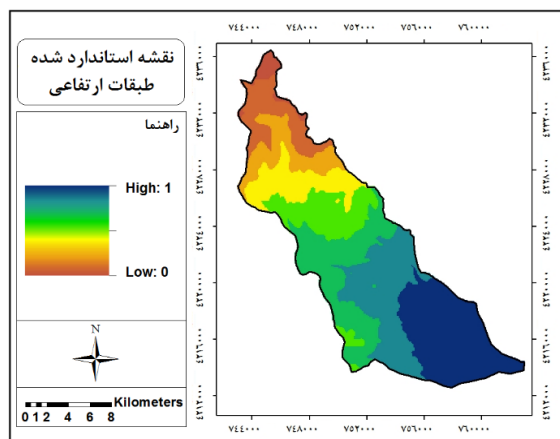
شیب: شیب اراضی، تعیین‌کننده نحوه و میزان جریان و سرعت حرکت آب است. به این ترتیب که در اراضی با شیب زیاد، تحت تاثیر نیروی ثقل آب دارای سرعت زیادی می‌شود (Asgharimogaddam, 2000). بنابراین یکی از پارامترهای بسیار مهم و تاثیرگذار در تحلیل رفتار حوضه آبخیز، شیب دامنه‌ها است که نقش اساسی در میزان رواناب، مقدار نفوذ، شدت سیلاب‌ها و میزان فرسایش دارد (Mehdizadeh,)

فازی در حد فاصل بین ۱-۰ است. هر چه مقدار ارزش فازی افزایش یابد (به سمت عدد ۱)، درجه مطلوبیت برای ایجاد رواناب و سیل‌خیزی بیشتر می‌شود.

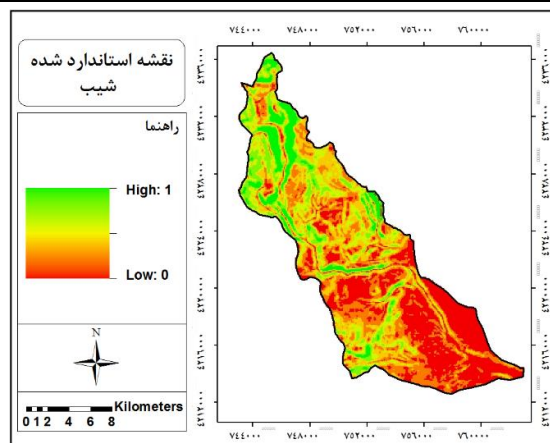


شکل (۴): نقشه استاندارد شده فازی طبقات ارتفاعی

فاصله از آبراهه: سیلاب‌های تند در زمان‌های کوتاه که بعد از بارندگی ظاهر می‌شود، از مشخصه‌ی بارز حوضه‌هایی است که تراکم آبراهه‌ای در آن‌ها بیشتر است. از جمله‌ی مهمترین عوامل افزایش خسارات سیل استفاده‌ی نامعقول از حریم مسیل‌های به ظاهر مساعد و بالقوه خطرناک است که در معرض سیلاب‌های ادواری قرار دارند. در حوضه‌ی آق‌لاقان‌چای با توجه به تراکم زیاد شبکه آبراهه، توپوگرافی کوهستانی، شیب زیاد حاکم بر منطقه، بارش زیاد (به ویژه بارش‌های ناگهانی و رگباری در فصل بهار) و نیز دایمی بودن رود آق‌لاقان‌چای با طول ۳۵۰ کیلومتر، فواصل نزدیک به رودخانه بیشتر در معرض سیل‌خیزی قرار دارد. بنابراین، در ارزش‌گذاری نقشه‌ی فاصله از آبراهه (شکل ۵)، که بین ۰ و ۱ صورت گرفته است، هر چه میزان فاصله نسبت به اطراف آبراهه‌ها کم‌تر شود، ارزش فازی بیشتر می‌شود.

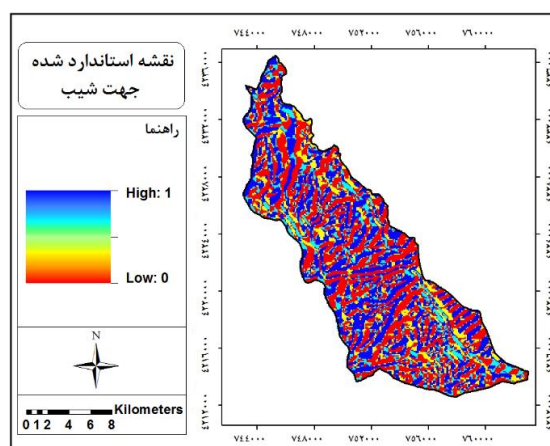


شکل (۵): نقشه استاندارد شده فازی فاصله از آبراهه



شکل (۲): نقشه استاندارد شده فازی شیب

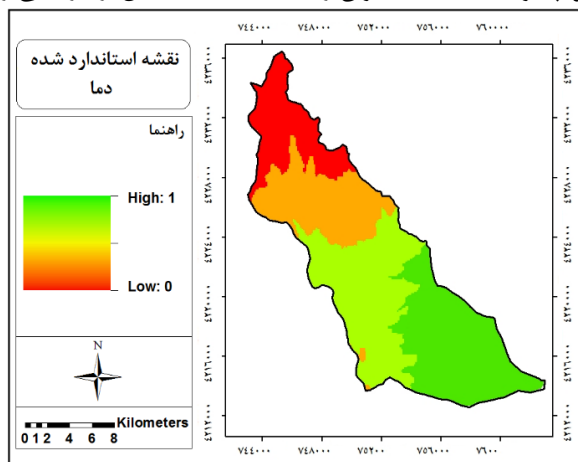
جهت شیب: عامل جهت شیب از نظر تاثیر آن بر بعضی فرایندهای هیدرولوژیک مانند ذوب برف‌ها و تنوع پوشش گیاهی در حوضه‌های آبریز حایز اهمیت است. در مطالعات آبخیزداری از نظر تاثیری که جهت دامنه‌های حوضه بر نوع فرسایش و همچنین میزان سیلاب دارد لازم است، نقشه‌ی جهت شیب نیز تهیه شود (Alizadeh, 2012). به منظور پهنه‌بندی خطر سیلاب، در سطح حوضه آق‌لاقان‌چای به ترتیب دامنه‌های شمالی، شمال‌غربی و غربی به دلیل دریافت بارش زیاد، ماندگاری طولانی مدت برف و داشتن رطوبت بیشتر، ارزش بالا دریافت کردند و دامنه‌های جنوبی، شرقی، جنوب‌شرقی کم‌ترین ارزش را به خود اختصاص دادند (شکل ۳).



شکل (۳): نقشه استاندارد شده فازی جهت شیب

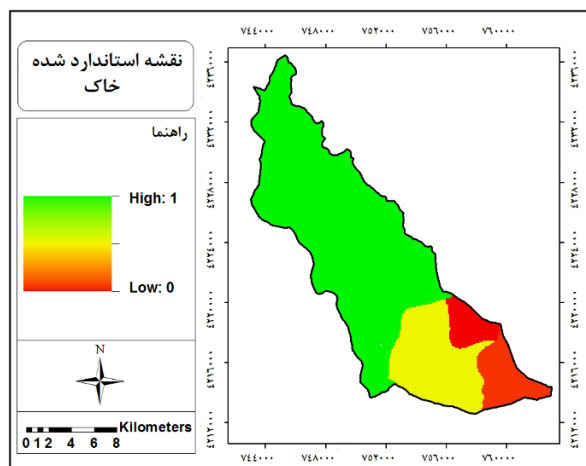
ارتفاع: پستی و بلندی حوضه عاملی است که نقش مهمی در مقدار و نوع ویژگی‌های جوی، وضعیت پوشش گیاهی، تبخیر و تعرق، میزان رواناب و در نهایت ایجاد سیلاب حوضه دارد. شکل (۴)، نقشه استاندارد شده ارتفاع حوضه بر مبنای درجه عضویت

نفوذپذیری مناسب به میزان زیادی، آب‌های حاصل از بارندگی را



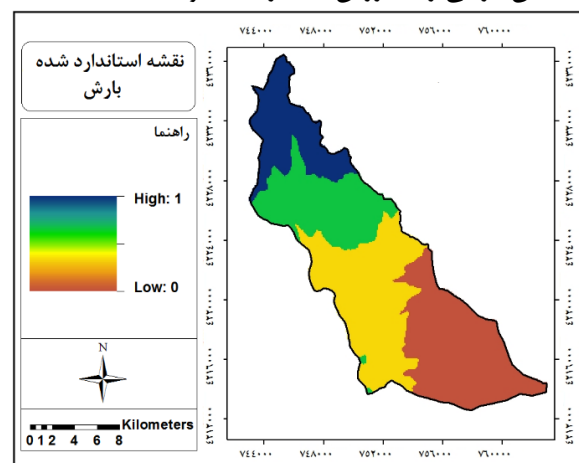
شکل (۷): نقشه استاندارد شده فازی دما

به زمین نفوذ داده و سبب تغذیه‌ی سفره‌های زیرزمینی می‌شوند. در حالی که اراضی با بافت ریز و فشرده سبب می‌شود که آب نتواند در زمین نفوذ نموده، بلکه قسمت‌های زیادی از آب به صورت رواناب در سطح زمین جاری می‌شود (Asgharimogaddam, 2000). خاک‌های حوضه آق‌لاقان‌چای، شامل چهار نوع خاک: براون- کالوویال (کلاس D و B، با خاک کم عمق تا نیمه عمیق و بافت متوسط تا سنگین)، کالوویال (کلاس C، با خاک کم عمق تا نیمه عمیق و بافت متوسط)، لیتوسول (کلاس D و C با خاک بسیار کم عمق تا نیمه عمیق و با بافت سنگین) و لیتوسول - کالوویال (کلاس C، با خاک کم عمق تا نیمه عمیق، بافت متوسط تا سنگین سنگریزه‌ای) است (Sobhani, 1998). در نقشه استاندارد شده‌ی خاک (شکل ۸)، به ترتیب خاک‌های لیتوسول و لیتوسول- کالوویال با نفوذپذیری کم، ارزش زیاد به خود اختصاص دادند.



شکل (۸): نقشه استاندارد شده فازی خاک

بارندگی: بارندگی را می‌توان مهم‌ترین عاملی دانست که به طور مستقیم در چرخه هیدرولوژی دخالت دارد (Alizadeh, 2009). قطعاً اگر بارندگی اتفاق نیفتد، سیل ایجاد نمی‌شود. از طرفی هر بارشی منجر به ایجاد سیل نمی‌شود. بنابراین، منشأ بسیاری از سیلاب‌های عظیم، باران‌هایی است که به صورت رگبارهایی با شدت زیاد، تداوم طولانی، تکرارهای متوالی و یا در سطح وسیعی از حوضه رخ می‌دهند (Asgharimogaddam, 2000). در حوضه مطالعاتی، فصل بهار، فصل بارش‌های ناگهانی، ذوب برف‌ها، طغیان رودخانه و جاری شدن سیلاب‌های شدید در منطقه می‌باشد. در نقشه‌ی فازی شده‌ی بارش (شکل ۶)، مناطق با میانگین بارشی زیاد، ارزش بالا دریافت کردند.

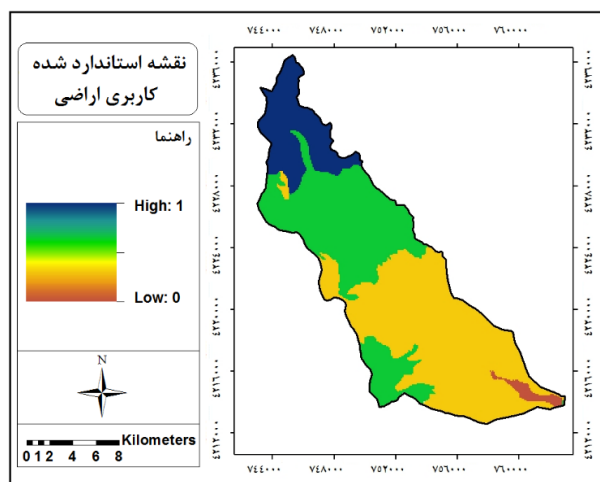


شکل (۶): نقشه استاندارد شده فازی بارش

دما: مطالعات هیدرولوژیکی یک حوضه‌ی آبریز باید شامل بیلان حرارتی آن نیز باشد، در این بیلان نه تنها حرارت حاصله از تشعشعات خورشید مداخله می‌کند، بلکه تبادل حرارتی بین خاک- هوا، سفره‌های آب و توده‌های یخ مورد بحث قرار می‌گیرد (Remintras, 1973). بدین صورت که با گرم شدن ناگهانی اگر در منطقه، بارش به صورت برف باشد سبب ذوب شدن و ایجاد سیلاب شدید می‌شود. در حوضه‌ی مطالعاتی، بالاترین درجه حرارت، مربوط به قسمت‌های پایین دست حوضه (مناطق پست) می‌باشد و قسمت‌های مرتفع حوضه (به دلیل کاهش دما با افزایش ارتفاع) از درجه حرارت کمتری برخوردار است. شکل (۷)، نقشه استاندارد شده دما حوضه می‌باشد. در این نقشه به مناطق با درجه حرارت زیاد، ارزش فازی یک داده شده است.

خاک: ویژگی‌های خاک روی تحول و پیدایش رواناب اثر داشته و باید در محاسبه‌های مربوط به آن در نظر گرفته شود. خاک‌ها با

از سوی دیگر احداث مخازن تأخیری و تعدیلی موجب کاهش بدهی سیلابی می‌شود. بنابراین، مطالعه‌های پوشش گیاهی می‌تواند، نقش ارزنده‌ای در جلوگیری سیلاب داشته باشد. این در حالی است که پوشش گیاهی به صورت طبیعی باشد. زیرا، از بین بردن پوشش گیاهی و تبدیل آن به اراضی کشاورزی و یا مناطق شهری، نفوذپذیری اراضی را کاهش داده و امکان سیل‌خیزی را افزایش می‌دهد (Mehdizadeh, 2013). نوع کاربری اراضی در سطح حوضه به شش نوع کاربری زراعی (به مساحت ۷۹۴۹/۹۷ هکتار)، مرتع (به مساحت ۶۰۱۰/۳۰ هکتار)، بوته‌زار (به مساحت ۴۲/۵۳ هکتار)، مسکونی (به مساحت ۱۰۳/۷۳ هکتار)، باغ (به مساحت ۲۷۹/۳۴ هکتار) و رخنمون‌های سنگی (به مساحت ۲۲۹۰/۲۸ هکتار) تقسیم می‌گردد. در نقشه‌های استاندارد شده کاربری (شکل ۱۰)، هرچه به مقدار عددی ارزش افزایش می‌یابد (کاربری با رخنمون سنگی، مرتع و مناطق مسکونی)، پتانسیل رواناب و سیل‌خیزی بیشتر می‌شود.

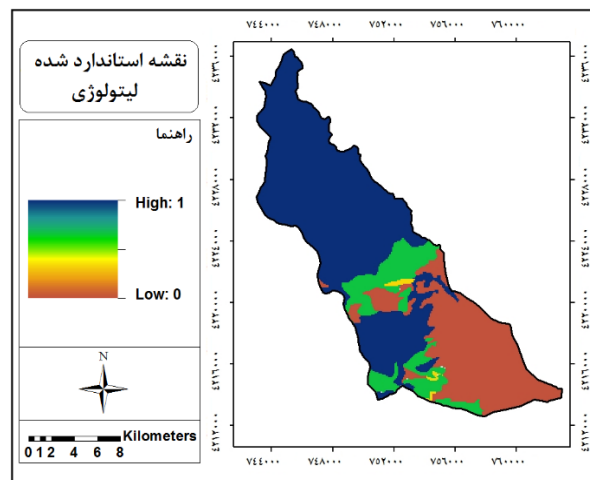


شکل (۱۰): نقشه استاندارد شده فازی کاربری اراضی

– ساخت مدل

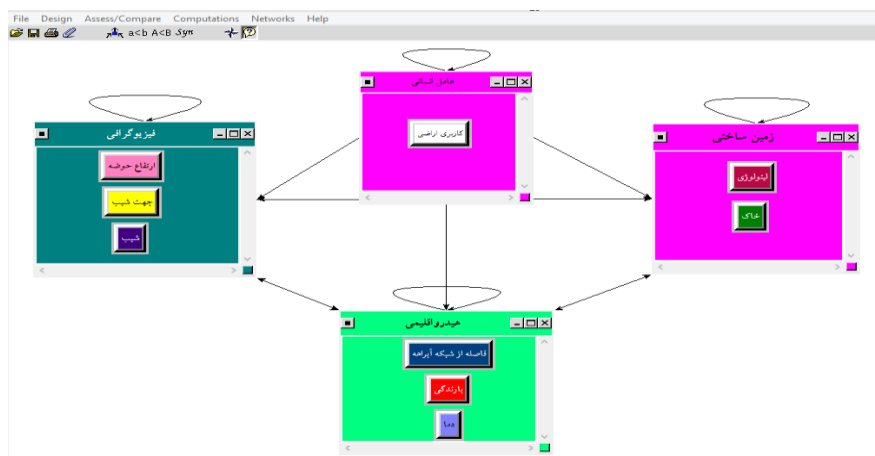
در این گام، مساله‌ی تصمیم‌گیری به ساختار شبکه‌ای تجزیه می‌شود. هر شبکه از مجموعه‌ای از خوشه‌ها است که هر خوشه شامل مجموعه‌ای از عناصر است (Karimian & Haleh, 2010). شکل (۱۱)، نمونه‌ی مدل را جهت پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آق‌لاقان‌چای، در نرم‌افزار Super Decisions نشان می‌دهد. در مطالعه حاضر عوامل زمین‌ساختی، انسانی، فیزیوگرافی و هیدرواقليمی خوشه‌ها هستند و معیارهای لیتولوژی، خاک، کاربری اراضی، ارتفاع حوضه، جهت شیب، فاصله از شبکه آبراهه، بارندگی و دما عناصر مطالعه هستند.

لیتولوژی: سنگ‌شناسی منطقه و خاک حاصل از آن تا حدود زیادی تعیین‌کننده شدت و ظرفیت نفوذپذیری بوده و رواناب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هنگامی که سنگ‌ها قابلیت نفوذ کمی داشته باشند به طور مستقیم سبب گسترش سیستم آبراهه‌ای می‌شوند و مقدار زیادی جریان سطحی ایجاد می‌کنند. ویژگی‌های سنگ‌شناسی به طور غیرمستقیم بر روی مشخصات حوضه تأثیرگذار است (Yammani & Enayati, 2007). در حوضه‌ی آق‌لاقان‌چای واحدهای مختلف سنگ‌شناسی منطقه به صورت آتشفشانی و رسوبی گسترده شده است. از جمله این واحدها می‌توان به گدازه‌های آندزیتی، گدازه‌ها و گنبد‌های داسیتی، تراکی آندزیتی، بازالت و مواد آتشفشانی ایگنمبریت و توف قطعات انفجاری سبلان به همراه سنگ‌های رسوبی تراورتن، پادگانه‌های آبرفتی جوان و قدیمی که از تخریب و فرسایش سنگ‌های آتشفشانی حاصل شده‌اند اشاره کرد. در نقشه‌های استاندارد شده لیتولوژی (شکل ۹)، با افزایش مقدار ارزش، میزان نفوذپذیری کمتر و میزان ایجاد پتانسیل رواناب و سیل‌خیزی بیشتر می‌شود.



شکل (۹): نقشه استاندارد شده فازی لیتولوژی

کاربری اراضی: کاربری اراضی روی جریان رودخانه و وقوع سیلاب به روش‌های مختلفی تأثیر می‌گذارد. برای مثال، از بین بردن پوشش گیاهی و یا تغییر در نوع و نحوه کشت و کار گیاهانی که تلفات برگابی زیادی ندارند، سبب افزایش حجم جریان و فزونی بدهی سیلاب می‌شود. هرگونه عملیاتی در حوضه که سبب کاهش ذخیره‌ی رطوبت خاک و یا کاهش نفوذ پذیری شود، موجب افزایش بدهی سیلابی می‌شود. چرای مفرط دام، سبب فشردگی خاک و از بین رفتن پوشش گیاهی می‌شود و



شکل (۱۱): نمای کلی از خوشه‌ها و عناصر برای بررسی پتانسیل سیل

$$A * W = \lambda_{max} * W \quad (1)$$

به طوری که: A : ماتریس مقایسات زوجی؛ W : بردار ویژه؛ بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس A است (Najafi, 2010). شکل (۱۲)، نمایی از یک مقایسه زوجی از خوشه‌ها و شکل (۱۳)، نمونه‌ای از مقایسه زوجی دو عنصر در پهنه‌بندی سیلاب حوضه مطالعاتی را نشان می‌دهد. در محاسبه نرخ ناسازگاری در ANP نیز، طبق گفته‌ی ساعتی: مقدار ناسازگاری اگر کمتر از $0/1$ باشد می‌توان به داده‌های مقایسات زوجی اعتماد کرد (Dorri & Hamzehi, 2011).

ماتریس‌های مقایسات زوجی

مشابه با روش AHP، زوج‌های عناصر تصمیم‌گیری در هر خوشه به نسبت اهمیت‌شان در جهت شرط‌های کنترلی آن‌ها مقایسه می‌شوند. خود خوشه‌ها نیز به نسبت سهم‌شان در هدف، مقایسات زوجی می‌شوند. مقادیر اهمیتی مرتبط توسط ساعتی در بازه‌ی اعداد ۱ تا ۹ بیان شده است (جدول ۱). همانند روش AHP مقایسات زوجی در ANP، توسط یک بستر ماتریسی بیان می‌شوند و یک بردار محلی می‌تواند به عنوان یک تخمین از اهمیت متناسب بین عناصر یا خوشه مشتق شود که توسط رابطه‌ی (۱) محاسبه می‌شود:

جدول (۱): طبقه‌بندی ارجحیت مقادیر وزن‌ها

توصیف زبانی ارجحیت طبقات مقدار عدد وزنی	کاملاً مهم یا کاملاً مطلوب‌تر	اهمیت خیلی قوی	اهمیت یا مطلوبیت قوی	کمی مطلوب‌تر یا کمی مهم‌تر	اهمیت یا مطلوبیت یکسان	الویت بین فواصل
	۹	۷	۵	۳	۱	۸، ۶، ۴، ۲

Cluster comparisons for "زمین ساختی"

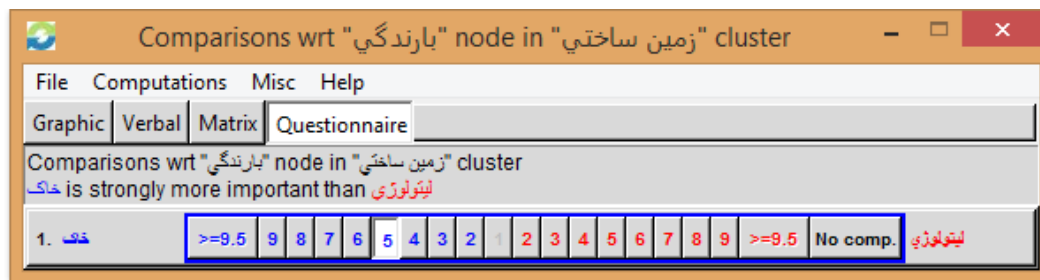
File Computations Misc Help

Graphic Verbal Matrix Questionnaire

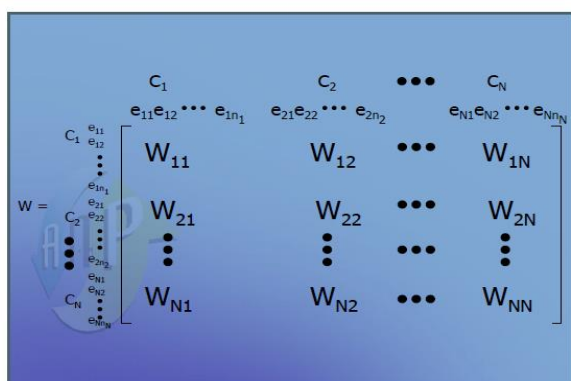
زمین ساختی is equally to moderately more important than عامل انسانی

1. زمین ساختی	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	عامل انسانی
2. زمین ساختی	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	فیزیکوفیزیکی
3. زمین ساختی	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	هیدرولوژیکی
4. عامل انسانی	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	فیزیکوفیزیکی
5. عامل انسانی	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	هیدرولوژیکی
6. فیزیکوفیزیکی	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	هیدرولوژیکی

شکل (۱۲): نمایی از مقایسه زوجی خوشه‌ها در مدل ANP



شکل (۱۳): نمایشی از مقایسه‌ی زوجی دو عنصر در مدل ANP



شکل (۱۴): ساختار سوپرماتریس

- تشکیل سوپرماتریس اولیه یا غیر وزنی

عناصر ANP با یکدیگر در تعامل قرار دارند، این عناصر می‌توانند واحد تصمیم‌گیرنده، معیارها، زیرمعیارها، نتایج حاصل، گزینه‌ها و هر چیز دیگری باشند (شکل ۱۴). وزن نسبی هر ماتریس براساس مقایسه‌ی زوجی شبیه روش AHP محاسبه می‌شود. وزن‌های حاصل در سوپر ماتریس وارد می‌شوند که رابطه‌ی متقابل بین عناصر سیستم را نشان می‌دهند (Faraji Sabokbar et al., 2010). سوپرماتریس به دست آمده در این مرحله سوپرماتریس اولیه معرفی می‌شود که جدول (۲)، آن را نشان می‌دهد.

جدول (۲): سوپرماتریس غیر وزنی یا اولیه‌ی مربوط به مدل

هیدرواقليمی			فيزيوجرافي			انسانی	زمین ساختی		خوشه‌ها و عناصر	
فاصله از آبراهه	دما	بارندگی	شیب	جهت شیب	ارتفاع	کاربری اراضی	لیتولوژی	خاک		
۱	۱	۰/۸۳۳	۰/۱۲۵	۱	۰/۱۶۶	۰/۵۰۰	۱	۰/۳۳۳	خاک	زمین ساختی
۰	۰	۰/۱۶۶	۰/۸۷۴	۰	۰/۸۳۳	۰/۵۰۰	۰	۰/۶۶۶	لیتولوژی	
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	کاربری اراضی	انسانی
۰	۰	۰	۱	۰/۲۰۰	۰	۰	۰	۰	ارتفاع	فيزيوجرافي
۰	۰	۰/۱۱۱	۰	۰	۰/۱۱۱	۰/۲۴۹	۰/۱۱۱	۰	جهت شیب	
۱	۰	۰/۸۸۸	۰	۰/۸۰۰	۰/۸۸۸	۰/۷۵۰	۰/۸۸۸	۱	شیب	
۱	۰/۷۵۰	۰/۹۰۰	۰	۰	۰	۰/۸۳۳	۰	۰/۱۶۶	بارندگی	هیدرواقليمی
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	دما	
۰	۰/۲۵۰	۱	۰	۱	۱	۰/۱۶۶	۱	۰/۸۳۳	فاصله از آبراهه	

دارند). برای آن که از عناصر ستون متناسب با وزن نسبی‌شان فاکتور گرفته شود و جمع ستون برابر یک شود، هر ستون ماتریس استاندارد می‌شود. در نتیجه ماتریس جدیدی به دست می‌آید که جمع هر یک از ستون‌های آن برابر یک خواهد بود. جدول (۳).

- تشکیل سوپرماتریس وزنی

در واقع ستون‌های سوپرماتریس از چند بردار ویژه تشکیل می‌شود که جمع هر کدام از بردارها برابر یک است. بنابراین، این امکان وجود دارد که جمع هر ستون سوپرماتریس اولیه بیش از یک باشد (متناسب با بردارهای ویژه‌ای که در هر ستون وجود

جدول (۳): سوپرماتریس وزنی مربوط به مدل

خوشه‌ها و عناصر		زمین‌ساختی		انسانی		فیزیوگرافی			هیدرواقليمی	
		خاک	لیتولوژی	کاربری اراضی	ارتفاع	جهت شیب	شیب	بارندگی	دما	فاصله از آبراهه
زمین‌ساختی	خاک	۰/۰۷۳	۰/۲۲۱	۰/۰۸۳	۰/۰۲۱	۰/۱۳۱	۰/۰۲۴	۰/۰۵۳	۰/۱۱۲	۰/۰۶۴
	لیتولوژی	۰/۱۴۷	۰	۰/۰۸۳	۰/۱۰۹	۰	۰/۱۶۹	۰/۰۱۰	۰	۰
انسانی	کاربری اراضی	۰/۰۹۵	۰/۹۵۰	۰/۱۷۸	۰/۱۰۳	۰/۱۰۳	۰/۱۵۳	۰/۱۳۰	۰/۲۲۸	۰/۱۳۰
	ارتفاع	۰	۰	۰	۰	۰/۰۸۸	۰/۶۵۱	۰	۰	۰
فیزیوگرافی	جهت شیب	۰	۰/۰۴۳	۰/۰۳۲	۰/۰۴۸	۰	۰	۰/۰۴۷	۰	۰
	شیب	۰/۳۹۲	۰/۳۴۸	۰/۰۹۸	۰/۳۹۱	۰/۳۵۲	۰	۰/۳۸۰	۰	۰/۴۲۷
هیدرواقليمی	بارندگی	۰/۰۴۸	۰	۰/۴۳۶	۰	۰	۰	۰/۳۳۹	۰/۴۹۴	۰/۳۷۷
	دما	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	فاصله از آبراهه	۰/۲۴۳	۰/۲۹۱	۰/۰۸۷	۰/۳۲۴	۰/۳۲۴	۰	۰/۰۳۷	۰/۱۶۴	۰

محاسبه‌ی بردار وزنی عمومی یا سوپرماتریس حدی

در مرحله‌ی بعد، سوپرماتریس وزنی، به توان حدی می‌رسد تا عناصر ماتریس همگرا شده و مقادیر سطری آن با هم برابر شوند. ماتریسی که در نتیجه‌ی به توان رسیدن ماتریس وزنی به

دست می‌آید، ماتریس حدی (جدول ۴)، می‌باشد. در این ماتریس، مقادیر هر سطر آن با هم برابر می‌باشد. اگر سوپرماتریس اثر زنجیره‌واری داشته باشد، ممکن است دو یا چند سوپرماتریس داشته باشیم.

جدول (۴): سوپرماتریس حدی مربوط به مدل

خوشه‌ها و عناصر		زمین‌ساختی		انسانی		فیزیوگرافی			هیدرواقليمی	
		خاک	لیتولوژی	کاربری اراضی	ارتفاع	جهت شیب	شیب	بارندگی	دما	فاصله از آبراهه
زمین‌ساختی	خاک	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳
	لیتولوژی	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳
انسانی	کاربری اراضی	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲
	ارتفاع	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶
فیزیوگرافی	جهت شیب	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳
	شیب	۰/۲۵۲	۰/۲۵۲	۰/۲۵۲	۰/۲۵۲	۰/۲۵۲	۰/۲۵۲	۰/۲۵۲	۰/۲۵۲	۰/۲۵۲
هیدرواقليمی	بارندگی	۰/۱۶۰	۰/۱۶۰	۰/۱۶۰	۰/۱۶۰	۰/۱۶۰	۰/۱۶۰	۰/۱۶۰	۰/۱۶۰	۰/۱۶۰
	دما	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	فاصله از آبراهه	۰/۱۱۸	۰/۱۱۸	۰/۱۱۸	۰/۱۱۸	۰/۱۱۸	۰/۱۱۸	۰/۱۱۸	۰/۱۱۸	۰/۱۱۸

نتایج ماتریس خوشه‌ها

پس از محاسبه‌ی سوپرماتریس حدی، آخرین مرحله برای تعیین ارزش و ضریب نهایی عناصر، محاسبه‌ی نتایج ماتریس خوشه‌ها و نرمال‌سازی ضریب عناصر در سوپرماتریس حدی توسط ضریب خوشه‌ها می‌باشد، نتیجه مقایسه‌های زوجی بین گروه‌ها که جدول اوزان گروه‌ها نامیده می‌شود، در جدول (۵)، آورده شده است.

نتیجه‌ی نهایی عناصر

ضرایب سوپرماتریس در ضرایب ماتریس خوشه‌ها نرمال شده و در نهایت، نتیجه‌ی نهایی عناصر و اولویت آن‌ها مشخص شد. شکل (۱۵)، نتیجه‌ی نهایی مدل ANP را نشان می‌دهد. طبق نتایج این مدل، در بین عناصر، عنصر شیب با ضریب ۰/۵۷۰، بیشترین ارزش و اهمیت را برای ایجاد سیل دارد و بعد از آن،

عناصر لیتولوژی با ضریب ۰/۵۶۸ و خاک حوضه با ضریب ۰/۴۳۱ عناصر برتر و مهم تلقی می‌شوند.

جدول (۵): ماتریس اوزان گروه‌ها

خوشه‌ها	زمین ساختی	عامل انسانی	فیزیوگرافی	هیدرو اقلیمی
زمین ساختی	۰/۲۲۱	۰/۱۶۶	۰/۱۳۱	۰/۰۶۴
عامل انسانی	۰/۰۹۵	۰/۱۷۸	۰/۱۰۳	۰/۱۳۰
فیزیوگرافی	۰/۳۹۲	۰/۱۳۱	۰/۴۴۰	۰/۴۲۷
هیدرو اقلیمی	۰/۲۹۱	۰/۵۲۴	۰/۳۲۴	۰/۳۷۷

شده است (شکل ۱۶). همان‌طور که نقشه نشان می‌دهد، مناطق با شیب زیاد بیشتر مستعد وقوع سیلاب هستند و هر چه از مناطق پرتشیب فاصله زیاد شود، خطر سیلاب در حوضه‌ی آق‌لاقان‌چای کمتر می‌شود. با توجه به جدول (۶)، ۳۰ کیلومتر مربع از مساحت حوضه در طبقه با خطر بسیار زیاد و ۳۶ کیلومتر مربع، در طبقه با خطر زیاد قرار دارد. همچنین ۴۲ کیلومتر مربع از مساحت حوضه، دارای خطر متوسط و به ترتیب ۳۳ و ۲۵ کیلومتر مربع دارای خطر بسیار کم و کم هستند.

Super Decisions Main Window: ANP mod: Prio...

Here are the priorities.

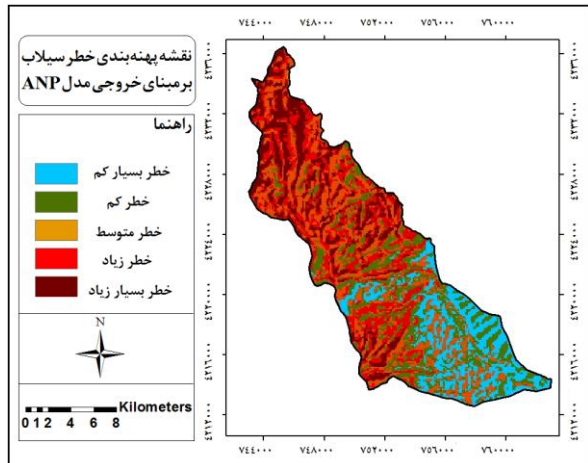
Icon	Name	Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	خاک	0.43174	0.063102
No Icon	لیتولوژی	0.56826	0.083056
No Icon	ارتفاع حوضه	0.37630	0.166414
No Icon	جهت شیب	0.05367	0.023736
No Icon	شیب	0.57003	0.252090
No Icon	بارندگی	0.38929	0.160233
No Icon	دما	0.00000	0.000000
No Icon	فاصله از شبکه آبراهه	0.28880	0.118870
No Icon	کاربری اراضی	0.32191	0.132498

Okay Copy Values

شکل (۱۵): نتایج نهایی مدل ANP جهت پهنه‌بندی خطر سیلاب

تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی پتانسیل سیلاب

به منظور تهیه نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر سیلاب، در این پژوهش از ۹ معیار یا عنصر استفاده شده است. ابتدا نقشه‌های مربوط به هر یک از معیارها تهیه شده است، سپس آن‌ها رتبه‌بندی و رستری شده و با استفاده از تابع فازی استانداردسازی انجام شده است در مرحله‌ی بعد، با استفاده از ضرایب نهایی مدل ANP، ضریب هر عنصر را به نقشه‌ی همان عنصر با استفاده از تابع Raster Calculator، ضرب شده و با ترکیب لایه‌های اطلاعاتی با هم، نقشه‌ی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی تهیه شده است. در نهایت، حوضه به لحاظ میزان خطرپذیری به پنج گروه با خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم طبقه‌بندی



شکل (۱۶): نقشه‌ی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌ی آق‌لاقان‌چای بر مبنای خروجی مدل ANP

جدول (۶): اطلاعات طبقات خطر سیلاب در حوضه آق‌لاقان‌چای

طبقه خطر	خطر بسیار زیاد	خطر زیاد	خطر متوسط	خطر کم	خطر بسیار کم
مساحت به کیلومتر مربع	۳۰	۳۶	۴۲	۳۳	۲۵
مساحت به درصد	۱۸	۲۲	۲۵	۲۰	۱۵

بحث و نتیجه‌گیری

سیل شایع‌ترین مخاطره طبیعی است که همه ساله خسارت‌ها و تلفات زیادی را ایجاد می‌کند. در این پژوهش پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبخیز آق لاقان چای، با استفاده از مدل ANP، صورت گرفته است. با توجه نقشه نهایی ۱۸ درصد از مساحت حوضه در طبقه‌ی با پتانسیل خطر زیاد و ۲۲ درصد از مساحت حوضه در طبقه با پتانسیل خطر زیاد قرار گرفته است. مناطق با خطر بسیار زیاد و زیاد به طور عمده، در نواحی پرشیب کوهستانی واقع در قسمت شمال و جنوب‌غربی حوضه قرار دارند. در واحد کوهستانی منطقه مطالعاتی میزان شیب زیاد است و متوسط شیب در این واحد بالای ۳۵ درصد است و همچنین از توپوگرافی خشن و مرتفع تشکیل شده است. در واحد کوهستانی حوضه آق‌لاقان‌چای، پرتگاه‌های مشرف به دره‌ها فراوان است و دره‌های محدوده به صورت V شکل و عمیق هستند و رودها برای رسیدن به تعادل اقدام به حفر بستر و عمیق‌تر کردن بستر خود می‌کنند، که این امر نشانگر جوان بودن توپوگرافی حوضه می‌باشد. بنابراین، میزان فرسایش و حمل مواد آبرفتی و رسوبی در این قسمت از حوضه بسیار بالا است. از آن جهت که شیب زیاد از عوامل محدودکننده رشد و استقرار پوشش گیاهی است، در این قسمت از محدوده پوشش گیاهی کاهش یافته است. مناطق با پتانسیل خطر بسیار کم و کم، بیشتر در مناطق کم شیب با متوسط شیب کمتر از ۵ درصد قرار دارند و با توجه به شیب کم، قدرت تخریب سیلاب در این بخش کم است و عمل رسوب‌گذاری بیشتر انجام می‌گیرد و از آن جهت که این قسمت از مساحت حوضه دارای توپوگرافی هموار است و از آبرفت‌های جوان و تراس‌های قدیم و جدید در اثر ته نشست آبرفت‌های رودخانه‌ای با شیب کم تشکیل شده است، محل مناسبی برای فعالیت‌های زراعی و باغ‌ها ایجاد کرده است. بنابراین، بیشتر زمین‌های کشاورزی و نیز باغ‌های حوضه در این واحد گسترده شده است، که وجود پوشش گیاهی نیز، سبب جذب آب توسط گیاهان و کاهش رواناب سطحی و جلوگیری از ایجاد سیلاب می‌شود.

همچنین، بنابر نتایج حاصل از مطالعه، از بین عوامل موثر در ایجاد سیلاب حوضه، عامل شیب با ضریب وزنی (۰/۵۷۰)، لیتولوژی با ضریب وزنی (۰/۵۶۸) و خاک با وزن (۰/۴۳۱)، به ترتیب مهم‌ترین عوامل ایجاد سیلاب در منطقه هستند و عامل

دما با توجه به ضریب وزنی صفر تاثیری بر وقوع سیلاب ندارد. در مورد عامل شیب، علاوه بر شیب رودخانه‌ی اصلی، شیب زمین‌های حوضه نیز در بروز سیلاب و شدت آن نقش اساسی دارد؛ زیرا در حوضه‌ی مورد مطالعه، رودها و سرشاخه‌های فرعی آن تا رسیدن به رودخانه‌ی اصلی مسیری را بر روی دامنه‌ها طی می‌کنند، بدیهی است هر اندازه شیب دامنه‌ها زیاد باشد توان فرسایش و بدهی رودخانه نیز زیاد می‌شود. در حوضه‌ی آق‌لاقان‌چای مقدار شیب متوسط حوضه ۳۸ درصد است که این مقدار شیب نقش بسیار مهمی را در بروز سیلاب در حوضه دارد. منطقه مطالعاتی به لحاظ لیتولوژی، بیشتر از سنگ‌های آتشفشانی تشکیل یافته است و حاکمیت شرایط یخ‌بندان و ذوب مجدد یخ، نوسان شدید دما و شرایط توپوگرافی موجود در منطقه، نقش مهمی را در تخریب سازندهای سطحی و برون‌زدهای سنگی به صورت کریوکلاستی، هیدروکلاستی و ترموکلاستی بر عهده دارد. همچنین مشخص شد که مناطقی از حوضه که از نظر زمین‌شناسی و لیتولوژی دارای سازندهای سطحی مقاوم بوده و ضریب نفوذپذیری آن‌ها بسیار کم و پوشش گیاهی ناچیز است و به طور عمده قسمت‌های شمالی و جنوب‌غربی حوضه قرار دارند، از پتانسیل بیشتری برای بروز سیلاب برخوردار هستند. می‌توان گفت، با توجه به نوع سازندهای سطحی موجود در سطح حوضه، بر اثر وقوع سیلاب‌ها، سالانه حجم قابل توجهی از رسوبات آبرفتی درشت‌دانه و ریزدانه بر اثر فرسایش به همراه سیلاب‌ها وارد بستر رودخانه می‌شوند و رسوبات مذکور در نهایت به سمت مخزن سد یامچی زهکشی و هدایت می‌شوند که این مساله منجر به کاهش عمر مفید سد می‌شود. همچنین در خاک‌هایی با نفوذپذیری بسیار کم و با خلل و فرج ناچیز (از نوع لیتوسول با خاک بسیار کم‌عمق تا نیمه‌عمیق و با بافت سنگین و نیز از نوع لیتوسول و کالوویال با خاک کم عمق تا نیمه عمیق، بافت متوسط تا سنگین سنگریزه‌ای و ساختمان فشرده)، رواناب و سیلاب به راحتی جاری شده و بر عکس، در خاک‌هایی که آب‌ها به راحتی می‌توانند در آن نفوذ نمایند از مقدار سیلاب و رواناب جاری کم می‌شود.

همچنین نتایج مطالعه نشان می‌دهد که، از لحاظ عامل جهت شیب، دامنه‌های شمالی، غربی و شمال‌غربی در سطح حوضه، به دلیل دریافت بارش زیاد، بیشتر مستعد وقوع سیلاب می‌باشند. از لحاظ عامل پوشش گیاهی و کاربری اراضی، هر چه دامنه از

آبخیزداری (مانند: جلوگیری از فرسایش و تخریب خاک، کاهش بار رسوبی آب، کاهش سرعت و شدت جریان رواناب، افزایش زمان تمرکز سیلاب، ایجاد فرصت برای نفوذ آب در لایه‌های زیرین حوضه و تغذیه آبخوان‌ها، کشت گیاهان مناسب با شرایط جغرافیایی دامنه‌ها و احیا مراتع و ایجاد عرصه‌های فضای سبز) انجام شود. همچنین پیشنهاد می‌شود، نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب مستخرج از پژوهش حاضر، در تعیین مناطق مناسب برای ساخت‌وسازها، در طراحی پروژه‌ها، مدیریت‌های محیطی، اجرای برنامه‌ها، طرح‌های عمرانی و هرگونه ساخت و سازها و فعالیت‌های زیربنایی در محدوده مورد مطالعه، به منظور انتخاب استراتژی صحیح و مناسب و دوری از مناطق پرخطر، مورد استفاده قرار گیرد. در نهایت می‌توان گفت، با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی، توپوگرافی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی و انسانی حاکم بر منطقه و با توجه به این که این مدل، عوامل را از نظر وابستگی در نظر می‌گیرد، می‌توان با استفاده مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، به شکل قابل قبولی خطر سیلاب در حوضه‌ی مورد مطالعه از نظر آسیب‌پذیری و پتانسیل سطح‌بندی کرد و به نتایج قابل توجهی دست یافت.

لحاظ پوشش گیاهی فقیر باشد، قطره‌های باران به راحتی در روی زمین تشکیل رواناب داده و با سرعت بیشتری حرکت کرده و به سیلاب تبدیل می‌شود و چون در منطقه‌ی مورد مطالعه، قسمت‌های شمالی و جنوب‌غربی و شمال‌غربی حوضه از لحاظ پوشش گیاهی غنی نمی‌باشد و تراکم به نسبت کمی دارد، به تبع آن احتمال بروز سیلاب در این مناطق بیشتر است. از نظر معیار بارش، چون اساساً بدون بارندگی هیچ سیلی اتفاق نمی‌افتد، در حوضه‌ی مورد مطالعه، قسمت‌های مرتفع حوضه از بارش بیشتری، برخوردار هستند. بنابراین، در قسمت‌های مرتفع (با بارش ۳۵۰-۵۵۰ میلی‌متر)، پتانسیل سیل‌خیزی بیشتر است. از لحاظ معیار فاصله از شبکه آبراهه، فواصل نزدیک به آبراهه (فاصله ۲۰۰-۰ متری از آبراهه)، به لحاظ دایمی و پرآب بودن آق‌لاقان‌چای و نیز به دلیل طغیانی بودن رودخانه به ویژه در فصل بهار که هنگام بارش‌های ناگهانی و نیز ذوب برف‌ها می‌باشد، از احتمال خطر بالایی برخوردارند.

نتایج حاصل از این مطالعه، همچنین حاکی از توان بالای حوضه از لحاظ ایجاد خطر سیلاب است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود در اراضی با احتمال خطر بسیار زیاد و زیاد، اقدام‌های حفاظتی و

فهرست منابع

- Abdi, P. 2007. Flooding Potential of Zanzanrood Watershed Using SCS and Geographic Information System, National Irrigation and Drainage Journal, N 2: 22-33. (In Persian)
- Alizadeh, A. 2009. Principles of Applied Hydrology, 24th Edition, Ferdowsi University of Mashhad, 783 p. (In Persian)
- Alizadeh, A. 2012. Principles of Applied Hydrology, Thirty-third Edition, Ferdowsi University of Mashhad, 990 p. (In Persian)
- Asgharimogaddam, M.R. 2000. Natural Geography of City 2 (Hydrology and Flood City), First Edition, Masai Publications, 29 p. (In Persian)
- Azari, H.; Motakan, A.A.; SHakiba, A.R. & Pourali, S.H. 2009. Simulation and flood warning with hydrology models in GIS and pricipitation estimation through remote sensing, Iranian journal of geology spring, Vol 3 , N 9: 39 - 51. (In Persian)
- CNT (The center for neighborhood technology). 2013. The Prevalence and Cost of Urban Flooding (A case study of cook county, il).
- Darvishzade, A. 1992. Geology of Iran, Student publication (affiliated with Amir Kabir Publications), 901 p. (In Persian)
- Dorri, B. & Hamzehi, E. 2011, Determining the Best Responding Strategy to Project Risk Using ANP Technique (Case Study: North Azadegan Oil Field Development Project), Journal of Industrial Management, Vol 2, N 4: 75-92. (In Persian)
- Eftekharneshad, J. 1981. Separation of different parts of Iran in terms of construction in relation to sedimentary areas, Journal of Oil Association, N 82: 19-28. (In Persian)
- Faraji Sabokbar, H.A.; Salmani, M; Fereydouni, F; Karimzadeh, H. & Rahimi, H. 2010. Using analytic network process approach case study: the villages of quchan county, spatial planning (modares human sciences) spring, Vol 14 , N 1 (65): 127 - 149. (In Persian)

- Farish, S.; Munawar, S., Siddiqu, A.; Alam, N. & Alam, M. 2017. Flood Risk Zonation Using GIS Techniques: District Charsadda, 2010 Floods Pakistan, *Environ Risk Assess Remediat.* 1(2): 29-35.
- 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.
- Karimian, H. & Haleh, H. 2010. selecting the Optimal Approach for System's Reliability Improvement Using Analytic Network Process (ANP), *International Journal of Industrial Engineering and Production Management*, 21 (3) :24-32.
- Kolawole, O.M.; Olayami, A.B. & Ajayi, K.T. 2011. Managing Flood in Nigerian Cities: Risk Analysis and Adaptation Options-Ilorin City as a Case Study. *Scholars Research Library*, 3(1): 17-24.
- Lawal, D.U.; Matori, A. N.; Yusuf, K.W.; Hashim, A.M. & Balogun, A.L. 2014. Analysis of the flood extent extraction model and natural flood influencing factors: A GIS-based and remot sensing analysis. 8th Internatinal symposium of the Digital Earth (ISDE8). *Earth and Envirnoment Science* 18.
- Leskens, J.G.; Brugnach, M.; Hoekstra, A.Y. & Schuurmans, W. 2014. Why are decision flood disaster management so poorly supported by information from flood models?. *Environmental Modeling & Software*, 53: 53-61.
- Mehdizadeh, J. 2013. Analysis of Climate Hazards in Tabriz City Using Fuzzy Logic and ANP Model, Master's Degree in Geography, University of Mohaghegh Ardabili, 152 p. (In Persian)
- Momeni, M. & SHarifi salim, A. 2012. Topsis promethee, AHP, ANP, Multidisciplinary Decision Making Models and Software, Publisher, First Edition, 224 p. (In Persian)
- Nabavi, M.H. 1977. Introduction to Geology of Iran, Geological Society of Iran Publications, 109 p. (In Persian)
- Najafi, A. 2010. Structure and Environmental Challenges Analysis in Projects Management Using Analytical, *International Journal of Industrial Engineering and Production Management*, 21 (1) : 63-76. (In Persian)
- Negahban, S.; Mosavi, M.; Rakhshanimogadam , H. & Hossainzadeh, M. 2017. Assessment and zoning Flood risk by using Fuzzy logic TOPSIS in GIS (Case study: Baghmalek urban catchment), *Journal of Natural environment hazards*, 5 (10): pp 79-98. (In Persian)
- Omidvar, K. 2012. Natural Hazards, First Edition, Yazd University Press, 181 p. (In Persian)
- Parastar, S. 2014. Zonation of flood hazard in the watershed Balkhly chay using by ANP model, Supervisor: Fariba Esfandiary, M.Sc Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, ardabil, 146 p. (In Persian)
- Remintras, J. 1973. Principles of Hydrology Engineering, Volume II of Surface Water, translated by Hossein Sedghi, Ministry of Energy Publications, Third Edition, 219 p. (In Persian)
- Ronald Clement, A. 2013. An application of Geographic Information Sysem in mapping flood risk zones in a north central city in Nigeria. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 6: 365-371.
- Sobhani, B. 1998. Sediment Analysis of Aghlaghan Chay Watershed Using Remote Sensing and Geographic Information System, Supervisor: Manouchehr Farajzadeh, Master of Science in Remote Sensing, Tarbiat Modares University, 210 P. (In Persian)
- Tingsanchali, T. 2012. Urban flood disaster management, *Procedia Engineering*. Vol 32: 25-37.
- Vojtek, M. & Vojtekova, J. 2016. Flood hazard and flood risk assessment at the local spatial scale: a case study, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(6): 1973-1992.
- Ward, P. J.; Eisner, S.; Florke, M.; Dettinger, M. D. & Kumm, M. 2014. Annual flood sensitivities to EL Nino- Southern Oscillation at the global scal. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18: 47-66.
- Yammani, M. & Enayati, M. 2007. Relationship between Basin Geomorphological Characteristics and Flood Ability (Analysis of Flood Data through Geomorphological Comparison of Fashand and Behjat Abad Basins), *Journal of Geographical Research*, Vol 38, Issue 3: 47-57. (In Persian)