



جغرافیا و روابط انسانی، زمستان ۱۴۰۴، دوره ۸، شماره ۴، صص ۱۰۶۶-۱۰۵۳

ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع سیل با رویکرد آمایش سرزمین با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای

سیداسدالله حجازی

۱- دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
s.hejazi@tabrizu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۲۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۲۰

چکیده

تحقیق حاضر با هدف پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در محدوده شهر سردرود، واقع در شهرستان تبریز، با رویکرد آمایشی انجام شده است. در این راستا، از تلفیق فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به عنوان ابزارهای اصلی تحلیل و ارزیابی استفاده شده است. به منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر و کاربردی در زمینه برنامه‌ریزی آمایشی، مجموعه‌ای از عوامل مؤثر شامل شاخص‌های توپوگرافی، هیدرولوژی، زمین‌شناسی و زیست‌محیطی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته‌اند. معیارهای مورد استفاده در تحقیق عبارت بودند از ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، تراکم رودخانه، شاخص پوشش گیاهی، کاربری اراضی و لیتولوژی. وزن‌دهی معیارها با استفاده از مدل فرآیند تحلیل شبکه‌ای و در نرم‌افزار Super Decisions انجام شد. نتایج وزن‌دهی معیارها نشان داد که معیارهای فاصله از رودخانه، شیب و کاربری اراضی به ترتیب با وزن‌های ۰/۱۹۹، ۰/۱۶۰ و ۰/۱۴۹ بیشترین تأثیر را داشته‌اند که نشان‌دهنده نقش مهم این عوامل در وقوع سیلاب‌های منطقه است. نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر وقوع سیل با تلفیق تمامی لایه‌ها در محیط GIS تهیه شد. این نقشه خطر وقوع سیل در منطقه را به پنج طبقه خطر بسیار زیاد با ۱۰ کیلومترمربع (۱۲ درصد)، زیاد ۲۴ کیلومترمربع (۲۹ درصد)، متوسط ۳۲/۵ کیلومترمربع (۳۹/۵ درصد)، کم ۱۴ کیلومترمربع (۱۷ درصد) و بسیار کم ۲ کیلومترمربع (۲/۵ درصد) تقسیم کرد. بررسی نقشه نهایی با رویکرد آمایشی نشان داد که شهر سردرود به دلیل قرارگیری در مجاورت رودخانه و ساخت‌وساز در اطراف، مستعد وقوع سیل بوده و لازم است در طرح‌های آمایش سرزمین و مدیریت کاربری اراضی مورد توجه جدی قرار گیرد.

واژگان کلیدی: سیل، پهنه‌بندی، فرآیند تحلیل شبکه‌ای، آمایش سرزمین، GIS، سردرود

مقدمه

سیلاب‌ها معمولاً به‌طور ناگهانی رخ می‌دهند و در بازه زمانی کوتاهی قادرند خسارت‌های شدید و جبران‌ناپذیری ایجاد کنند (رضائی مقدم و همکاران، ۱۳۹۹). عوامل متعددی همچون تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی می‌توانند باعث وقوع سیل شوند (کوجیالاس و کاراتزاس^۱؛ ۲۰۱۱). در چند دهه اخیر ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب‌ها به دلیل رشد چشمگیر شهرنشینی و تمرکز مناطق مسکونی در مجاورت رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است (دیاکاکیس و همکاران^۲؛ ۲۰۱۲). پهنه‌هایی که حداکثر آسیب‌پذیری را در برابر سیل نشان می‌دهند، عمدتاً مناطق با تراکم بالای جمعیت، اراضی کشاورزی و مجاورت شبکه‌های زهکشی هستند که رواناب‌های ناشی از بارندگی‌های سنگین در این مناطق متمرکز می‌شود (دانکرز و همکاران^۳؛ ۲۰۱۴). آکسوی و همکاران^۴ (۲۰۱۶) بیان می‌کنند که بیش از یک سوم سطح زمین در معرض تهدید سیل قرار دارد، و این مناطق بیش از ۷۰ درصد جمعیت را در خود جای داده‌اند. لذا بررسی و پهنه‌بندی این پدیده جهت مدیریت بهتر آن و جلوگیری از وارد آمدن خسارات بیشتر ضروری است. لذا بررسی و پهنه‌بندی این پدیده با رویکرد آمایشی جهت مدیریت بهینه سرزمین، کاهش مخاطرات و جلوگیری از وارد آمدن خسارات بیشتر ضروری است. این تحقیق با هدف ارائه نقشه‌های خطر سیلاب به عنوان ابزاری در فرآیند برنامه‌ریزی آمایشی و تعیین کاربری‌های سازگار با شرایط محیطی انجام شده است.

تحقیقات متعددی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در رابطه با پهنه‌بندی خطر وقوع سیل انجام شده است. عابدینی و فتحی (۱۳۹۴) به پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز خیاو چای پرداختند. در این تحقیق از مدل ANP استفاده گردید. به‌منظور اجرای این مدل، از مجموعه‌ای از داده‌ها و شاخص‌های مؤثر بر وقوع سیلاب شامل بارش، کاربری اراضی، ویژگی‌های مورفولوژیک دامنه‌ها نظیر تحدب و قعر، همگرایی و واگرایی دامنه‌ها، شیب، شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، فاصله از رودخانه‌های اصلی و تراکم شبکه زهکشی استفاده شده است. نتایج حاصل از مدل تحلیل شبکه‌ای نشان می‌دهد که بیش از ۱۵ درصد از مساحت حوضه در پهنه خطر بسیار بالای وقوع سیلاب قرار دارد که این نواحی عمدتاً در بخش‌های پایین‌دست حوضه متمرکز شده‌اند. این مناطق غالباً دارای شیب کمتر از ۳۵ درصد، پوشش گیاهی ضعیف، سطوح همگرا با پروفیل مقعر، ارتفاعات پایین و مجاورت با رودخانه‌ها هستند. قاسمیان و نجفی (۱۳۹۸) در پژوهشی با هدف پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در شهرستان کوه‌دشت، از تلفیق مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و منطق فازی استفاده کرده‌اند. روش تحقیق آنان توصیفی-تحلیلی بوده و بر پایه مطالعات اسنادی، داده‌های آماری و نقشه‌های موجود انجام شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که به‌کارگیری مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و فازی می‌تواند ابزار کارآمدی برای شناسایی و مدیریت مناطق مستعد خطر سیلاب در نواحی مستعدی همچون شهرستان کوه‌دشت باشد. مختاری و همکاران (۱۳۹۹)، نقشه خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز گمناب چای را با استفاده از مدل ANP تهیه کردند. در این تحقیق ۱۰ معیار مؤثر در وقوع سیل شامل بارش، لیتولوژی، کاربری اراضی، شیب، شاخص پوشش گیاهی، شاخص قدرت آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافیک، تراکم زهکشی، شاخص حمل رسوب و ضریب گراویلیوس مورد استفاده قرار گرفت. وزن دهی معیارها نشان دهنده این مطلب بود که معیارهای بارش، لیتولوژی، کاربری اراضی و شیب نقش مهمی در وقوع سیل‌های منطقه دارند. نتایج نهایی نشان داد که ۲۱۰ کیلومترمربع از مساحت منطقه پتانسیل بالایی نسبت به وقوع سیل دارد. نورالدین موسی و همکاران (۱۴۰۲) در تحقیقی به بررسی روند توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی شهر سنندج به سمت پهنه‌های سیل‌خیز پرداختند. در این تحقیق از مدل رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک

^۱ - Kourgialas and Karatzas

^۲ - Diakakis et al

^۳ - Dankers et al

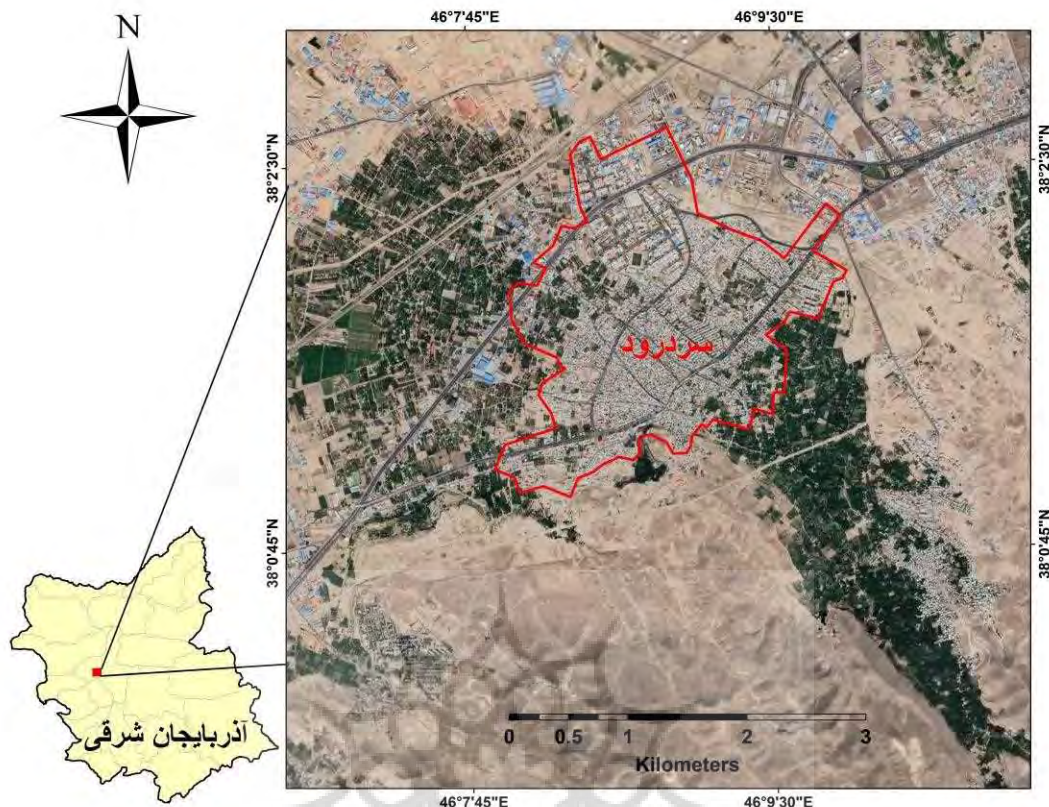
^۴ - Aksoy et al

^۵ - Analytic network process

مکانی ۳۰ متر، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره ای لندست استفاده شد. همچنین جهت تهیه نقشه خطر وقوع سیلاب در منطقه از مدل Fuzzy-AHP استفاده گردید. نتایج تحقیق نشان داد که مناطقی که در شرق شهر سنندج قرار دارند به دلیل نزدیکی به رودخانه قشلاق و ارتفاع و شیب کم، از پتانسیل بالایی نسبت به وقوع سیلاب برخوردارند. سامی و عبادی (۱۴۰۳) به پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر مراغه پرداختند. در این تحقیق از لایه‌های مختلف محیطی و انسانی از جمله شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از آبراهه و رودخانه، کاربری اراضی، تراکم ساختمانی و تراکم جمعیتی استفاده گردید. وزن‌دهی معیارها بر اساس نظرات کارشناسی و شناخت ویژگی‌های منطقه‌ای و با بهره‌گیری از روش تحلیل شبکه‌ای انجام شد. پس از تعیین وزن معیارها، لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS فازی‌سازی شده و با استفاده از روش تلفیق گاما، نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سیلاب تهیه گردیده است. یافته‌های این مطالعات حاکی از آن است که پهنه‌های با خطر بسیار زیاد سیلاب عمدتاً در نواحی مرکزی شهر و در مجاورت رودخانه صوفی جای متمرکز بوده و در مقابل، پهنه‌های با خطر کم‌تر در حاشیه شهر قرار دارند. عابدینی و همکاران (۱۴۰۳) خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز سفارود استان گیلان را با استفاده از مدل mffpi مورد ارزیابی و پهنه‌بندی قرار دادند. در این تحقیق پارامترهای انحناء دامنه، شیب، تراکم جریان، بافت خاک، نفوذپذیری سنگ و کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج این تحقیق نشان داد مناطقی که در قسمت‌های جنوب و جنوب‌غربی حوضه قرار دارند از پتانسیل بالایی برخوردار بوده و در مقابل مناطق مرکزی حوضه از پتانسیل خطر متوسط و کم نسبت به وقوع سیل برخوردارند. رضائی مقدم و رحیم‌پور (۱۴۰۴) به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در حوضه آبریز آجی جای با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) پرداختند. در این تحقیق از ۱۸ پارامتر مؤثر در وقوع سیل استفاده گردید. این پارامترها عبارت بودند از: ارتفاع، شیب، جهت شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص حمل رسوب، شاخص قدرت آبراهه، انحنای زمین، بارش، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، لیتولوژی، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، ژئومورفولوژی، فاصله از پل، فاصله از سد، NDVI و کاربری اراضی. نتایج وزن دهی پارامترها بر اساس مدل ANP نشان داد که عوامل بارش، ژئومورفولوژی و شیب بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج تحقیق نشان داد که ۳۴ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های زیاد و خیلی زیاد از نظر وقوع سیل قرار دارد.

محدوده مورد مطالعه

شهر سردرود و نواحی پیرامونی آن به‌عنوان محدوده مورد مطالعه در تحقیق حاضر انتخاب شده است. این شهر در شهرستان تبریز و در استان آذربایجان شرقی واقع گردیده است. محدوده مورد بررسی از نظر موقعیت جغرافیایی در بازه ۳۸ درجه و ۰۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۰۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۰۶ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). موقعیت طبیعی شهر سردرود و عبور چندین رودخانه از داخل و اطراف آن موجب شده است که این شهر در معرض خطر و تهدید بالقوه وقوع سیلاب قرار گیرد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

در تحقیق حاضر جهت پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در محدوده مورد مطالعه از روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده شده است. مدل ANP از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره محسوب می‌شود که در سال ۱۹۹۶ و توسط توماس ال ساعتی معرفی شده است. در این مدل ارتباطات بین عناصر مختلف به صورت وابستگی‌های خارجی و ارتباطات داخلی مشاهده می‌شود (ساعتی^۶؛ ۱۹۸۰؛ ساعتی و وارگاس^۷، ۲۰۰۶). مدل ANP در چهار مرحله قابل اجراست:

مرحله اول: انتخاب معیارها و ساخت یک مدل شبکه در نرم افزار Super Decision.

مرحله دوم: ایجاد ماتریس‌های مقایسه زوجی و بردارهای اولویت. در این مرحله، معیارها و زیرمعیارهای مؤثر بر خطر وقوع سیل به صورت دوجه‌دو با یکدیگر مقایسه می‌شوند تا میزان اهمیت نسبی هر معیار مشخص گردد. برای انجام این مقایسه‌ها، از مقیاس ۹تایی ساعتی استفاده می‌شود که امکان بیان ترجیحات کارشناسان را در قالب مقادیر عددی فراهم می‌سازد. این مقیاس، دامنه‌ای از اهمیت برابر تا اهمیت بسیار زیاد یک معیار نسبت به معیار دیگر را در بر می‌گیرد و به عنوان ابزاری استاندارد در روش‌های ANP و AHP شناخته می‌شود (جدول ۱).

⁶ - Saaty

⁷ - Saaty and Vargas

جدول ۱: مقادیر قضاوت های کارشناسی برای مقایسات زوجی معیارها (ساعتی، ۱۹۸۰)

مقدار عددی	قضاوت شفاهی در مقایسات زوجی
۹	کاملاً مهم تر یا کاملاً مطلوب تر
۷	اهمیت خیلی قوی
۵	اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مطلوب تر یا کمی مهم تر
۱	اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۲ - ۴ - ۶ - ۸	اولویت بین فواصل

مرحله سوم: تشکیل ابرماتریس

مرحله چهارم: محاسبه بردار وزن نهایی.

پس از تعیین مقادیر عددی در ماتریس های مقایسه ی زوجی، بردار اهمیت داخلی استخراج می شود که نشان دهنده ی میزان اهمیت نسبی عناصر یا خوشه ها نسبت به یکدیگر است:

$$AW = \lambda_{\max} \cdot \quad \text{رابطه (۱)}$$

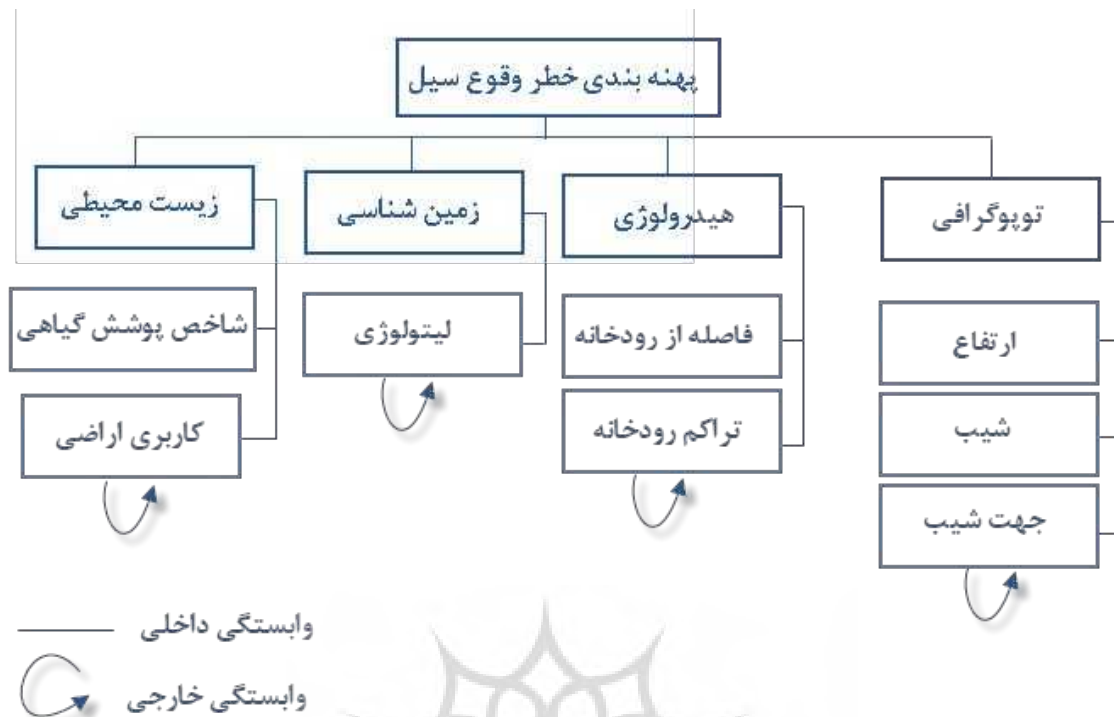
که در آن A : ماتریس مقایسه ی زوجی پارامترها، W : بردار ویژه (ضریب اهمیت) و $\lambda_{\max}$: بزرگ ترین مقدار ویژه ی عددی است. تعیین صحت ماتریس های مقایسه ی زوجی با محاسبه ی نسبت سازگاری (CR) انجام می گیرد.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن CI : نرخ سازگاری و n : تعداد مؤلفه های مورد مقایسه در ماتریس می باشد.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \text{رابطه (۳)}$$

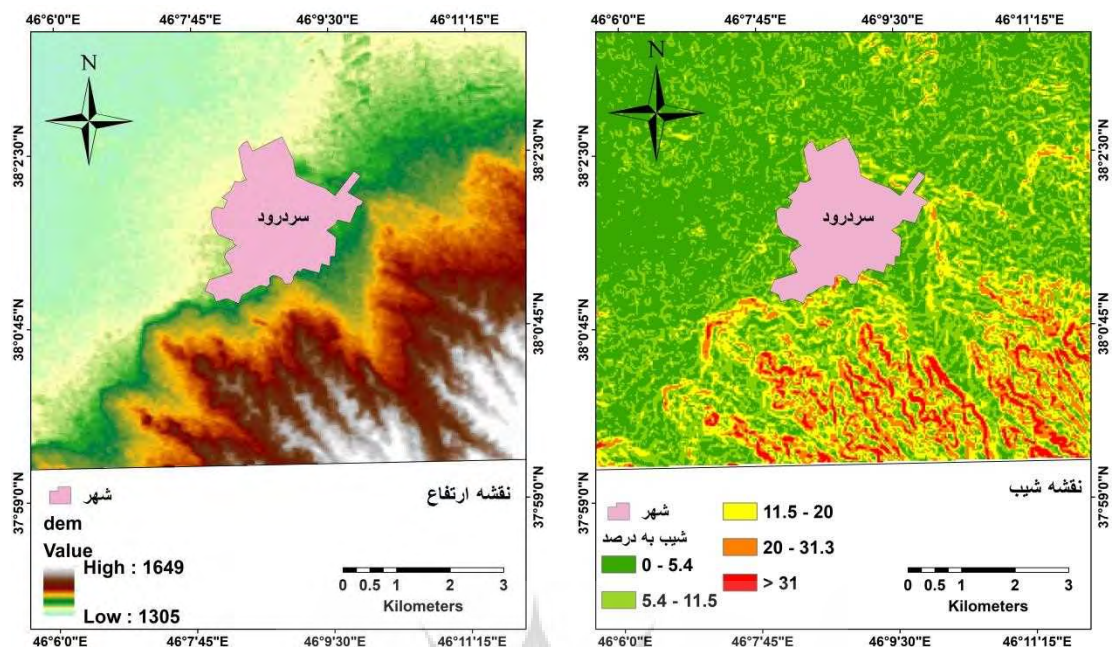
در رابطه بالا CR : نشان دهنده نسبت پایداری یا نرخ سازگاری و RI : نشان دهنده شاخص تصادفی بوده که به تعداد معیارهای مورد مقایسه بستگی دارد. نتایج مقایسه های زوجی معیارها زمانی معتبر تلقی می شود که نرخ سازگاری به دست آمده کمتر از ۰/۱ باشد.



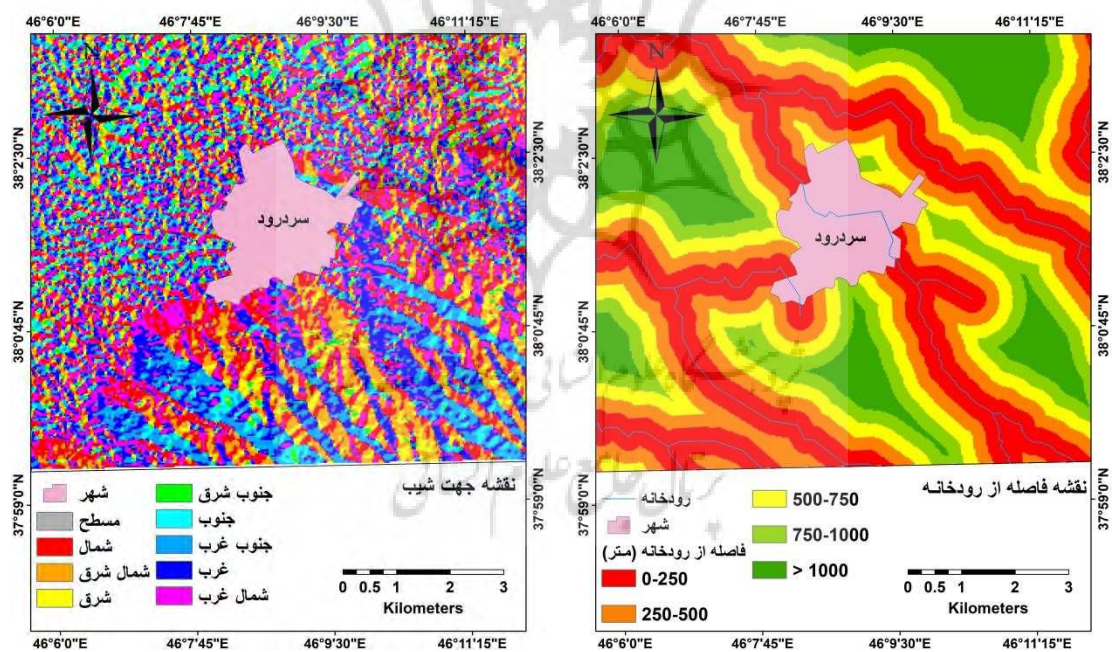
شکل ۲: مدل شبکه‌ای جهت پهنه‌بندی سیل

تهیه نقشه‌های مورد نیاز تحقیق

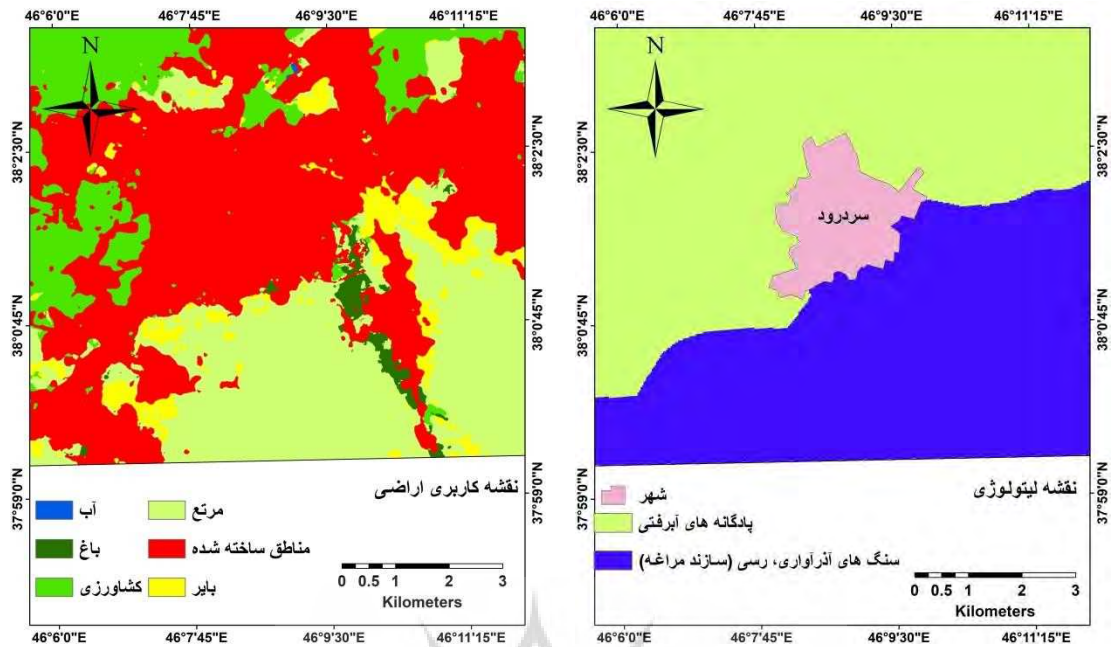
در این تحقیق، با هدف شناسایی و ارزیابی عوامل مؤثر بر وقوع سیل، ابتدا به بررسی جامع منابع علمی، مطالعات پیشین و پیشینه تحقیق مرتبط پرداخته شد. بر اساس نتایج حاصل از این بررسی‌ها، تعداد هشت معیار اصلی و اثرگذار که نقش تعیین‌کننده‌ای در بروز و گسترش سیلاب دارند، شناسایی و انتخاب گردید. این معیارها عبارت بودند از: ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، تراکم رودخانه، شاخص پوشش گیاهی، کاربری اراضی و لیتولوژی. از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI-TIRS مربوط به سال ۲۰۲۴ منظور تهیه نقشه‌های شاخص پوشش گیاهی و کاربری اراضی استفاده شد. جهت استخراج پوشش گیاهی و کاربری اراضی منطقه به ترتیب شاخص NDVI و الگوریتم حداکثر احتمال بر روی تصاویر ماهواره‌ای در نرم افزار ENVI اجرا شدند. نقشه‌های شیب، جهت شیب و طبقات ارتفاعی منطقه بر پایه مدل رقومی ارتفاع (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر تهیه و تولید شدند. بدین منظور، داده‌های ارتفاعی منطقه پس از انجام مراحل پیش‌پردازش لازم، در محیط نرم‌افزار ArcGIS مورد تحلیل قرار گرفتند و شاخص‌های توپوگرافی مورد نظر از آن‌ها استخراج شد. همچنین، به منظور بررسی ویژگی‌های هیدرولوژیکی منطقه، شبکه زهکشی منطقه با بهره‌گیری از لایه DEM و با استفاده از ابزارهای تحلیلی هیدرولوژی موجود در نرم‌افزار ArcGIS شناسایی و ترسیم گردید که این داده‌ها مبنای تحلیل‌های بعدی قرار گرفت.



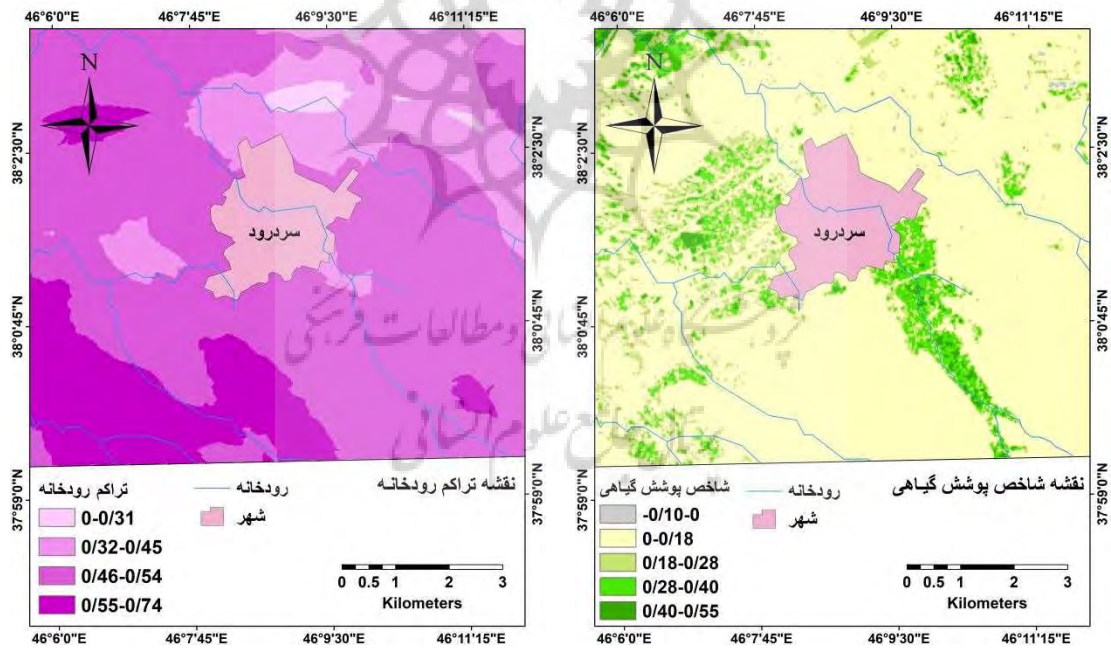
شکل ۳: نقشه های ارتفاع و شیب محدوده مورد مطالعه



شکل ۴: نقشه های جهت شیب و فاصله از رودخانه



شکل ۵: نقشه های کاربری اراضی و لیتولوژی محدوده مورد مطالعه



شکل ۶: نقشه های تراکم رودخانه و شاخص پوشش گیاهی

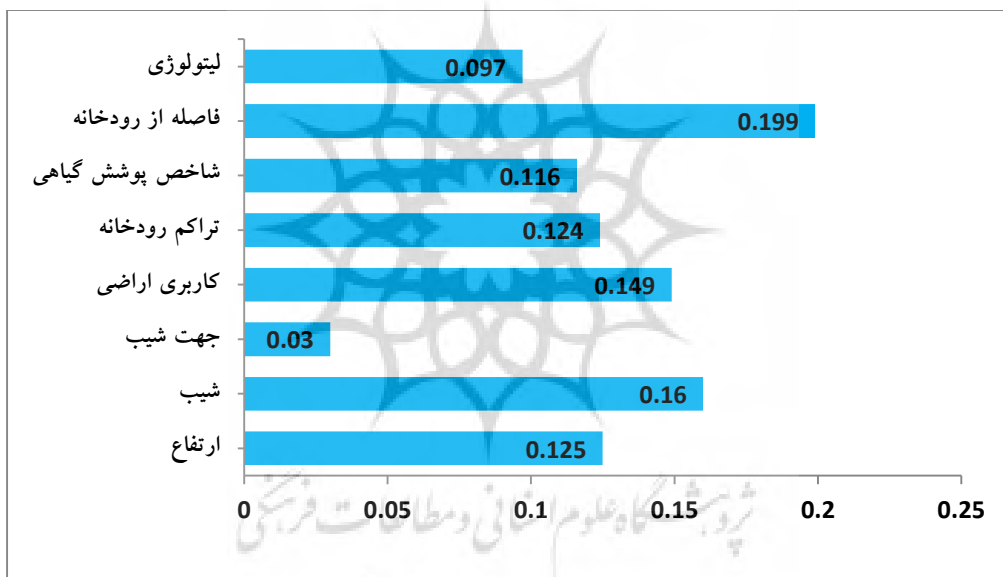
یافته های تحقیق

مقایسات زوجی معیارها و محاسبه وزن نهایی آن ها با استفاده از مدل ANP و در نرم افزار Super Decisions انجام شد. ماتریس دوبه دو مقایسات زوجی معیارها که در نرم افزار تکمیل شده در شکل ۷ ارائه شده است. وزن نهایی و نرخ سازگاری معیارهای نیز در شکل ۸ ارائه شده است. نرخ سازگاری مقایسات زوجی معیارها برابر با ۰/۰۹۳ بوده که نشان دهنده درستی مقایسات زوجی می باشد. در ادامه با تلفیق نقشه های هر یک از معیارها با استفاده از دستور Raster Calculator در محیط نرم افزار ArcGIS نقشه پهنه بندی خطر وقوع سیل تهیه شد (شکل ۹).

		Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct															
		Comparisons wrt "aspect" node in "Flood" cluster																			
		dem is very strongly more important than aspect																			
1.	aspect	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp
2.	aspect	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp
3.	aspect	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp
4.	aspect	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp
5.	aspect	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp
6.	aspect	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp
7.	dem	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp
8.	dem	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp
9.	dem	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp
10.	dem	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp
11.	dem	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp
12.	den-river	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp
13.	den-river	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp

14. den-river	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No com
15. den-river	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No com
16. dis-river	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No com
17. dis-river	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No com
18. dis-river	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No com
19. geo	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No com
20. geo	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No com
21. Landuse	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No com

شکل ۷: مقایسات زوجی معیارها



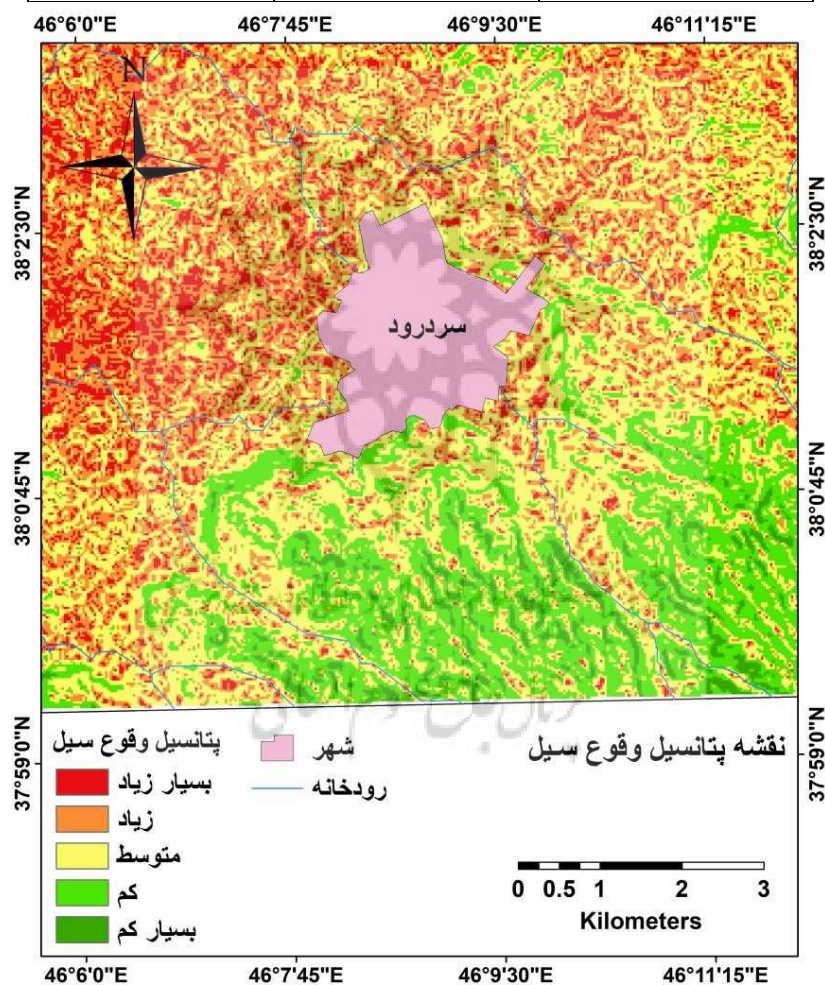
شکل ۸: وزن نهایی معیارها

نتایج حاصل از وزن‌دهی معیارها نشان می‌دهد که عوامل فاصله از رودخانه، شیب، کاربری اراضی و ارتفاع به ترتیب با ضرایب وزنی ۰/۱۹۹، ۰/۱۶۰، ۰/۱۴۹ و ۰/۱۲۵ بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. این امر بیانگر نقش مؤثر و تعیین‌کننده این معیارها در بروز سیلاب‌های منطقه مورد مطالعه است. در مقابل، معیارهای جهت شیب و لیتولوژی با ضرایب وزنی ۰/۰۳ و ۰/۰۹۷ کمترین میزان وزن را داشته و تأثیر کمتری در وقوع سیلاب نشان می‌دهند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، نقشه نهایی پتانسیل وقوع سیل در پنج طبقه شامل خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم تهیه شد. مساحت هر یک از این طبقات خطر در جدول (۲) ارائه شده است. مطابق نتایج این جدول، بیشترین مساحت محدوده مورد مطالعه از نظر خطر وقوع سیلاب به طبقه خطر متوسط اختصاص دارد که با مساحت ۳۲/۵

کیلومترمربع، حدود ۳۹/۵ درصد از کل مساحت منطقه را شامل می‌شود. همچنین، حدود ۱۰ کیلومترمربع معادل ۱۲ درصد از مساحت منطقه در طبقه خطر بسیار زیاد از نظر پتانسیل وقوع سیلاب قرار گرفته است.

جدول ۲: مساحت هر یک از پهنه‌های خطر

طبقات خطر	مساحت (کیلومترمربع)	درصد مساحت
بسیار زیاد	۱۰	۱۲
زیاد	۲۴	۲۹
متوسط	۳۲/۵	۳۹/۵
کم	۱۴	۱۷
بسیار کم	۲	۲/۵



شکل ۹: نقشه پتانسیل وقوع سیل با مدل ANP

نتیجه گیری

تحقیق حاضر با هدف پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در محدوده شهری سردرود واقع در استان آذربایجان شرقی با رویکرد آمایشی انجام شد. به همین منظور از مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای استفاده گردید. معیارهای مورد استفاده در تحقیق عبارت بودند از ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، تراکم رودخانه، شاخص پوشش گیاهی، کاربری اراضی و لیتولوژی. جهت وزن‌دهی معیارها از نرم‌افزار Super Decisions استفاده شد. معیارهای فاصله از رودخانه، شیب، کاربری اراضی و ارتفاع به ترتیب با ضرایب ۰/۱۶۰، ۰/۱۴۹ و ۰/۱۲۵ بیشترین وزن را در مدل ANP داشته‌اند. در ادامه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در منطقه در پنج کلاس با خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم تهیه گردید. محاسبه مساحت هر یک از این طبقات نشان داد که طبقه بسیار زیاد با ۱۰ کیلومترمربع (۱۲ درصد)، زیاد ۲۴ کیلومترمربع (۲۹ درصد)، متوسط ۳۲/۵ کیلومترمربع (۳۹/۵ درصد)، کم ۱۴ کیلومترمربع (۱۷ درصد) و بسیار کم ۲ کیلومترمربع (۲/۵ درصد) از کل مساحت منطقه را پوشش می‌دهند. نتایج حاصل از بررسی‌ها بیانگر آن است که مناطق واقع در مجاورت رودخانه‌ها به دلیل ویژگی‌های طبیعی و شرایط هیدرولوژیکی خاص خود، از استعداد و پتانسیل بالاتری برای وقوع سیلاب برخوردارند. این وضعیت نشان می‌دهد که هرگونه افزایش بارندگی یا تغییر در الگوی جریان آب می‌تواند به سرعت منجر به بروز سیل در این نواحی شود. بر همین اساس، با رویکرد آمایشی ضروری است مدیران و برنامه‌ریزان منطقه در قالب طرح‌های جامع آمایش سرزمین، محدودیت‌های توسعه در پهنه‌های پرخطر را اعمال کرده و کاربری‌های سازگار با محیط را جایگزین کنند. اقدامات پیشگیرانه، مدیریت هوشمندانه کاربری اراضی و کنترل ساخت‌وساز در حریم رودخانه‌ها می‌تواند به کاهش چشمگیر خطرات سیلاب و خسارات ناشی از آن بینجامد. یافته‌های این پژوهش با نتایج محققانی همچون رضائی مقدم و رحیم‌پور (۱۴۰۲) و رضائی مقدم و رحیم‌پور (۱۴۰۴) همخوانی دارد.

منابع

۱. رضائی مقدم، محمدحسین؛ رحیم‌پور (۱۴۰۴)، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در حوضه آبریز آجی چای با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره و روش آماری SI، پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز، سال ۱۶، شماره ۱، ۲۷-۴۲. doi:10.61882/jwmr.2024.1265
۲. رضائی مقدم، محمدحسین؛ حجازی، سیداسدالله؛ ولزاده کامران، خلیل؛ رحیم‌پور، توحید (۱۳۹۹). بررسی حساسیت سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز با استفاده از شاخص‌های هیدروژئومورفیک (مطالعه موردی: حوضه آبریز الندچای، شمال غرب ایران). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۹، شماره ۲، ۱۹۵-۲۱۴.
۳. سامی، ابراهیم؛ عبادی، مریم (۱۴۰۳)، پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از تحلیل شبکه (ANP) و منطق فازی، مطالعه موردی: شهر مراغه، فصلنامه علمی پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، دوره ۱۵، شماره ۱، ۱۷۱-۱۸۶.
۴. عابدینی، موسی؛ بابایی اولم، طیبه؛ پاسبان، امیرحسام (۱۴۰۳)، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از مدل mffpi (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سفارود، استان گیلان)، جغرافیا و روابط انسانی،

دوره ۷، شماره ۱، ۸۰۷-۸۲۱.

۵. عابدینی، موسی؛ فتحی، محمدحسین (۱۳۹۴)، پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه (مطالعه موردی: حوضه آب‌خیز خیاو چای)، هیدروژئومورفولوژی، دوره ۲، شماره ۳، ۹۹-۱۲۰.
۶. قاسمیان، هما؛ نجفی، اسماعیل (۱۳۹۸)، پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در شهرستان کوه‌دشت با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی و فازی، جغرافیا و روابط انسانی، سال دوم، شماره ۳، ۴۰۳-۴۱۷.
۷. مختاری، داود؛ رضائی مقدم، محمدحسین؛ رحیم‌پور، توحید؛ معزز، سمیه (۱۳۹۹)، تهیه نقشه خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز گمناب چای با استفاده از مدل ANP و تکنیک GIS، اکوهیدرولوژی، دوره ۷، شماره ۲، ۴۹۷-۵۰۹.
۸. نورالدین موسی، فاطمه؛ محمودی، رضا؛ امامی، کامیار (۱۴۰۲)، ارزیابی روند توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی به سمت مناطق سیل خیز (مطالعه موردی: شهر سندرگ)، جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۵، شماره ۴، ۶۶۴-۶۵۳.

-۴

9. Aksoy, H., Kirca, V.S.O., Burgan, H.I., & Kellecioglu, D. (2016). Hydrological and hydraulic models for determination of flood-prone and flood inundation areas. The 7th International Water Resources Management Conference of ICWRS, 373, 137–141. DOI: 10.5194/piahs-373-137-2016
10. Dankers, R., Arnell, N.W., Clark, D.B., Falloon, P.D., Fekete, B.M., Gosling, S.N., Heinke, J., Kim, H., Masaki, Y., Satoh, Y., Stacke, T., Wada, Y., Wisser, D. (2014). First look at changes in flood hazard in the inter-sectoral impact model intercomparison project ensemble. Proc. Natl. Acad. Sci, 111, 3257–3261.
11. Diakakis, M., Mavroulis, S. & Deligiannakis, G. (2012). Floods in Greece, a statistical and spatial approach. Nat. Hazards, 62, 485–500. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0090-z>
12. Kourgialas, N.N. & Karatzas, G.P. (2011). Flood management and a GIS modelling method to assess flood- hazard areas—a case study. Hydrological Sciences Journal, 56(2), 212–225. doi: <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.555836>
13. Mokhtari, D. , Rezaei Moghaddam, M. H. , Rahimpour, T. and Moazzez, S. (2020). Preparing the Risk Map of Flood Occurrence in the Ghomnab Chai Basin Using ANP Model and GIS Technique. Journal of Ecohydrology, 7(2), 497-509. doi: 10.22059/ije.2020.298759.1298
14. Rezaei Moghaddam M H, Rahimpour T. (2025). Evaluation and Zoning of Flood Hazard in the Aji Chai Basin Using the Multi-Criteria Decision-Making Technique and a Statistical Method (SI). J Watershed Manage Res. 16(1), 27-42. doi:10.61882/jwmr.2024.1265
15. Rezaei Moghaddam, M. H. and Rahimpour, T. (2024). Preparation of flood hazard potential map using two methods: Frequency Ratio and Statistical Index (Case study: Aji

- Chai Basin). *Environmental Management Hazards*, 10(4), 291-308. doi: 10.22059/jhsci.2024.369163.803
16. Rezaei Moghaddam, M. H. and Rahimpour, T. (2025). Site Selection Assessment of Azar Abadeghan Khoy Cement Factory in terms of Flood Hazards Using MEREC Model. *Environmental Management Hazards*, 12(2), 135-152. doi: 10.22059/jhsci.2025.398196.886
 17. Saaty, T.L. (1980): The Analytic Hierarchy Process, New York: McGraw Hill, 287 p.
 18. Saaty, T.L. (1999): Fundamentals of the Analytic Network Process, Proceedings of International Symposium on Analytical Hierarchy Process, August 12-14, Kobe, Japan.
 19. Saaty, T.L. Vargas, L.G. (2006): Decision Making with the Analytic Network Process, New York: Springer Science, 363 p.

