جغرافیا و روابط انسانی، زمستان ۱٤۰٤، دوره۸، شماره٤، صص۱۰٦٦-۱۰۵۳

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 دریافت:۱٤۰٤/۱۰/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱٤۰٤/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱٤۰٤/۱۲/۲٤

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) به‌عنوان ابزارهای اصلی تحلیل و ارزیابی استفاده شده است. به‌منظور 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، ۰/۱٦۰ و ۰/۱٤۹ 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 ۲٤ کیلومترمربع (۲۹ درصد)، متوسط ۳۲/۵ کیلومترمربع (۳۹/۵ درصد)، کم ۱٤ 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

شاپا الکترونیکی:2645-3851 doi: 10.22034/gahr.2026.574953.2677

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[1] 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[2] ۲۰۱۲). پهنه هایی که حداکثر آسیب‌پذیری را در برابر سیل نشان می‌دهند، عمدتاً مناطق با تراکم بالای جمعیت، اراضی کشاورزی و مجاورت شبکه‌های زهکشی هستند که رواناب های ناشی از بارندگی های سنگین در این مناطق متمرکز می‌شود (دانکرز و همکاران[3] ۲۰۱٤). آکسوی و همکاران[4](۲۰۱٦) بیان می کنند 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 داده اند. 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.

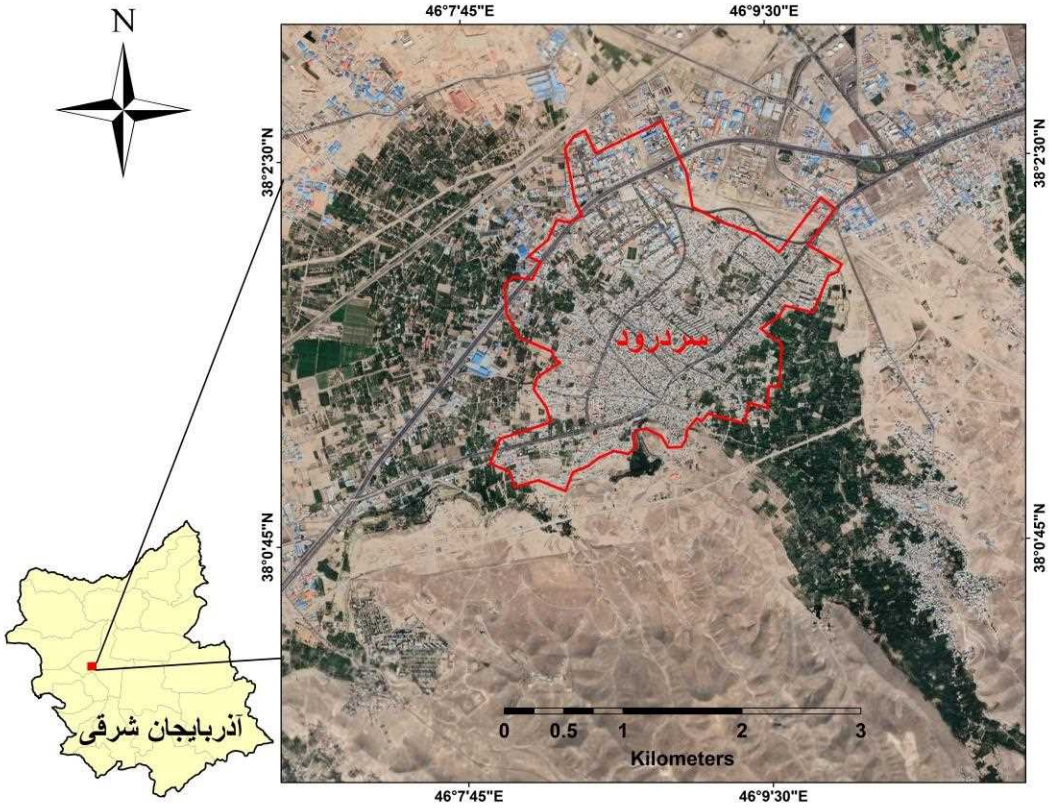
تحقیقات متعددی با استفاده از روش های تصمیم‌گیری چندمعیاره در رابطه با پهنه‌بندی خطر وقوع سیل انجام شده است. عابدینی و فتحی (۱۳۹٤) به پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز خیاو چای پرداختند. در این تحقیق از مدل ANP استفاده گردید. به‌منظور اجرای این مدل، از مجموعه‌ای از داده‌ها و شاخص‌های مؤثر بر وقوع سیلاب شامل بارش، کاربری اراضی، ویژگی‌های مورفولوژیک دامنه‌ها نظیر تحدب و تقعر، 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 سیل های منطقه دارند. نتایج نهایی نشان داد که ۲۱۰ کیلومترمربع از مساحت منطقه پتانسیل بالایی نسبت به وقوع سیل دارد. نورالدین موسی و همکاران (۱٤۰۲) در تحقیقی به بررسی روند توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی شهر سنندج به سمت پهنه های سیل خیز پرداختند. در این تحقیق از مدل رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک

[1] - Kourgialas and Karatzas
[2] - Diakakis et al
[3] - Dankers et al
[4] - Aksoy et al
[5]- 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 (۱٤۰۳) 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 چای متمرکز بوده و در مقابل، پهنه‌های با خطر کم‌تر در حاشیه شهر قرار دارند. عابدینی و همکاران (۱٤۰۳) خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز شفارود استان گیلان را با استفده 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 قسمت های 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 (۱٤۰٤) به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در حوضه آبریز آجی چای 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 داده اند. نتایج تحقیق نشان داد که ۳٤ درصد از مساحت منطقه در کلاس های 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 ٤٦ درجه و ۰٦ دقیقه تا ٤٦ 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 تکنیک های تصمیم‌گیری چندمعیاره محسوب می شود که در سال ۱۹۹۶ و توسط توماس ال ساعتی معرفی شده است. در این مدل ارتباطات بین عناصر مختلف به صورت وابستگی های خارجی و ارتباطات داخلی مشاهده می شود (ساعتی[6] ۱۹۸۰؛ ساعتی و وارگاس[7] 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 به‌صورت دوبه‌دو 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 به‌عنوان ابزاری استاندارد در روش‌های AHP و ANP شناخته می‌شود (جدول ۱).

[6] - Saaty
[7] - Saaty and Vargas

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

قضاوت شفاهی در مقایسات زوجی	مقدار عددی
کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر	۹
اهمیت خیلی قوی	۷
اهمیت یا مطلوبیت قوی	۵
کمی مطلوب‌تر یا کمی مهم‌تر	۳
اهمیت یا مطلوبیت یکسان	۱
اولویت بین فواصل	۲ – ٤ – ٦ – ۸

مرحله سوم: تشکیل ابرماتریس

مرحله چهارم: محاسبه بردار وزن نهایی.

پس از تعیین مقادیر عددی در ماتریس‌های مقایسه‌ی زوجی، بردار اهمیت داخلی استخراج می‌شود که نشان‌دهنده‌ی میزان اهمیت نسبی عناصر یا خوشه‌ها نسبت به یکدیگر است:

رابطه (۱)
$$AW = \lambda_{max}.$$

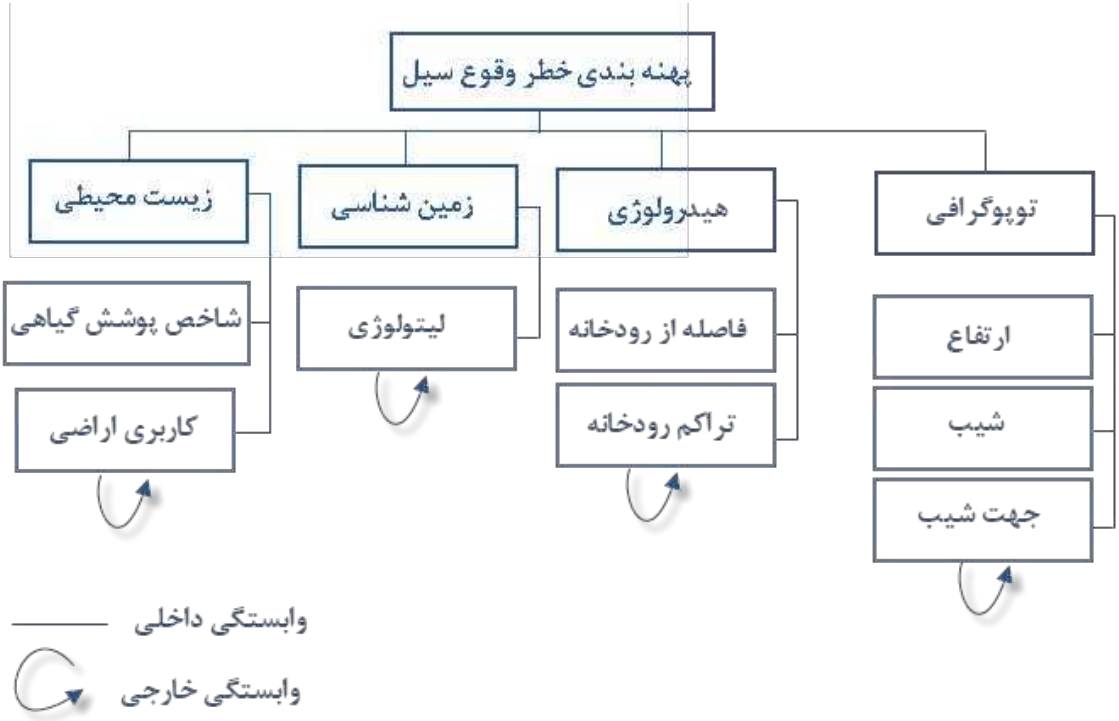
که در آن A؛ ماتریس مقایسه‌ی زوجی پارامترها، W؛ بردار ویژه (ضریب اهمیت) و λ_{max}؛ بزرگ‌ترین مقدار ویژه‌ی عددی است. تعیین صحت ماتریس‌های مقایسه‌ی زوجی با محاسبه‌ی نسبت سازگاری (CR) انجام می‌گیرد.

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

که در آن CI؛ نرخ سازگاری و n؛ تعداد مؤلفه‌های مورد مقایسه در ماتریس می‌باشد.

رابطه (۳)
$$CR = \frac{CI}{RI}$$

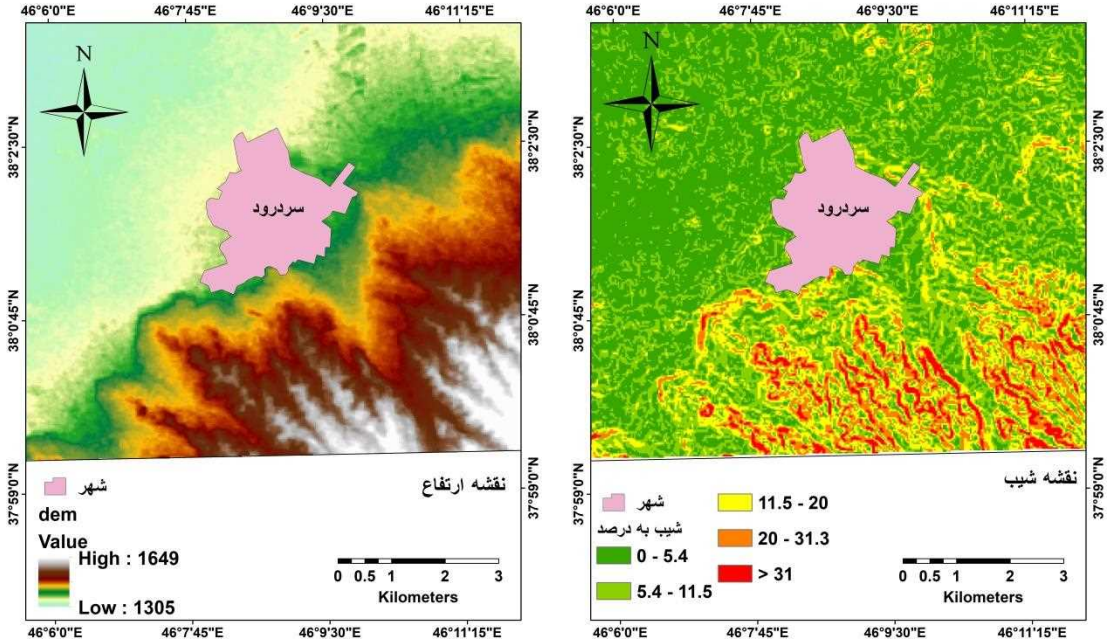
در رابطه بالا CR؛ نشان دهنده نسبت پایندگی یا نرخ سازگاری و RI؛ نشان دهنده شاخص تصادفی بوده که به تعداد معیارهای مورد مقایسه بستگی دارد. نتایج مقایسه‌های زوجی معیارها زمانی معتبر تلقی می‌شود که نرخ سازگاری به‌دست‌آمده کمتر از ۰/۱ باشد.



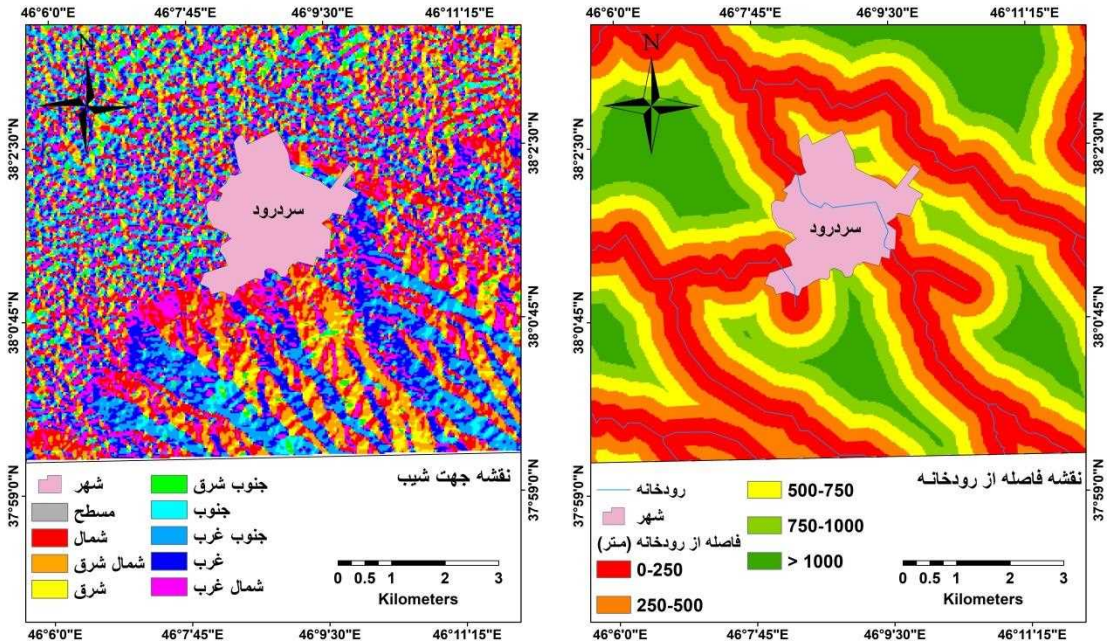
شکل ۲: مدل شبکه‌ای جهت پهنه‌بندی سیل

تهیه نقشه های مورد نیاز تحقیق

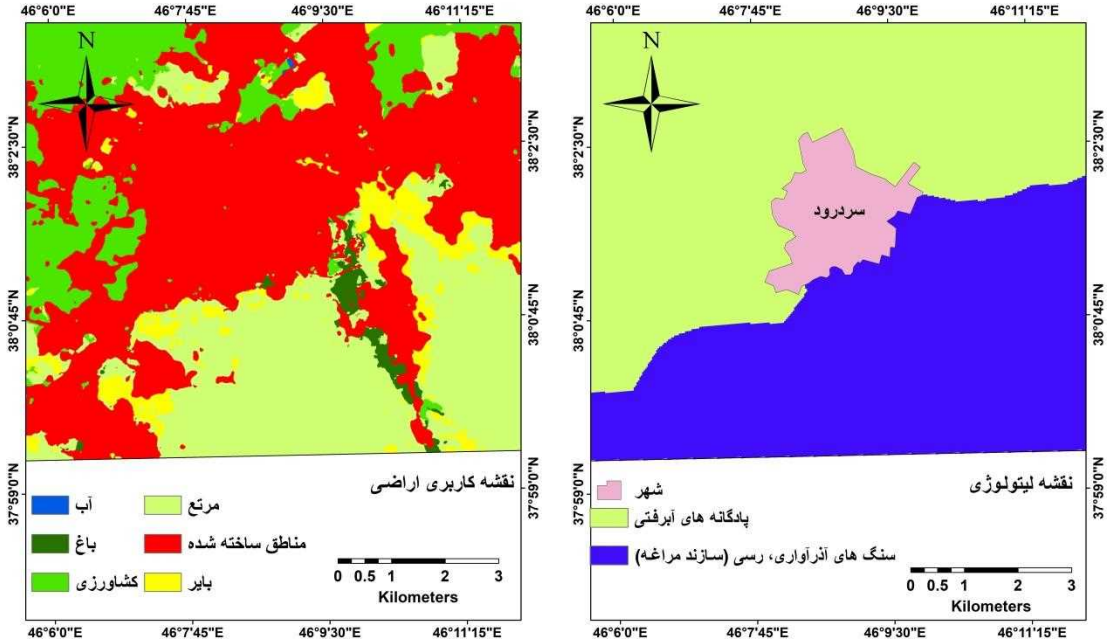
در این تحقیق، با هدف شناسایی و ارزیابی عوامل مؤثر بر وقوع سیل، ابتدا به بررسی جامع منابع علمی، مطالعات پیشین و پیشینه تحقیق مرتبط پرداخته شد. بر اساس نتایج حاصل از این بررسی‌ها، تعداد هشت معیار اصلی و اثرگذار که نقش تعیین‌کننده‌ای در بروز و گسترش سیلاب دارند، شناسایی و انتخاب گردید. این معیارها عبارت 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 ۲۰۲٤ منظور تهیه نقشه های شاخص پوشش گیاهی و کاربری اراضی استفاده شد. جهت استخراج پوشش گیاهی و کاربری های اراضی منطقه به ترتیب شاخص NDVI و الگوریتم حداکثر احتمال بر روی تصاویر ماهواره ای 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، به‌منظور 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.



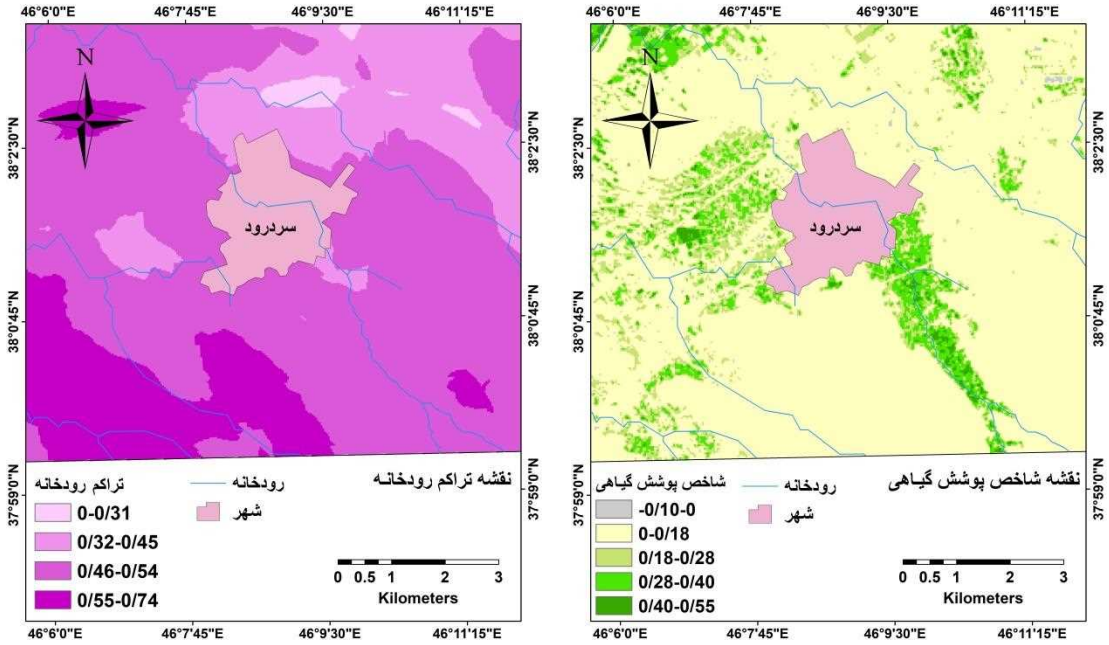
شکل ۳: نقشه های ارتفاع و شیب محدوده مورد مطالعه



شکل ٤: نقشه های جهت شیب و فاصله از رودخانه



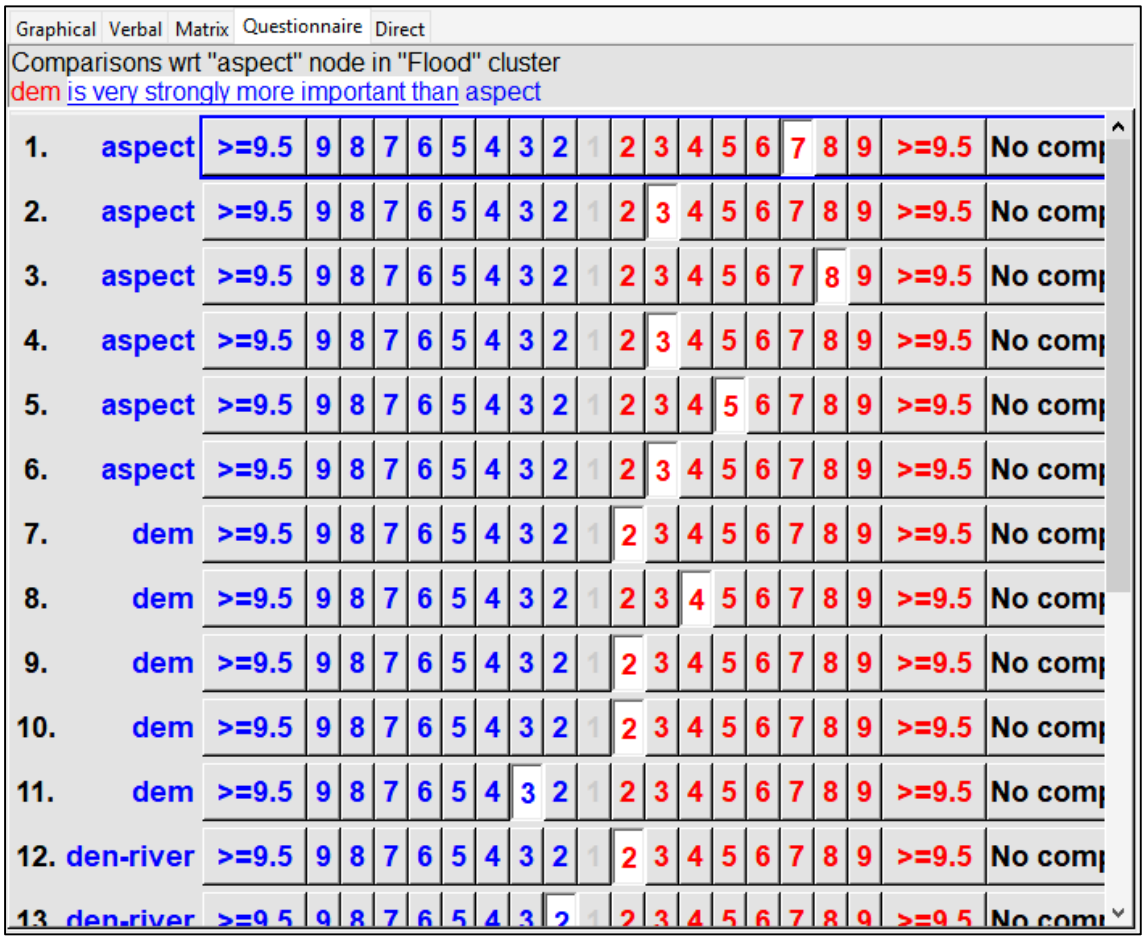
شکل ۵: نقشه های کاربری اراضی و لیتولوژی محدوده مورد مطالعه



شکل ٦: نقشه های تراکم رودخانه و شاخص پوشش گیاهی

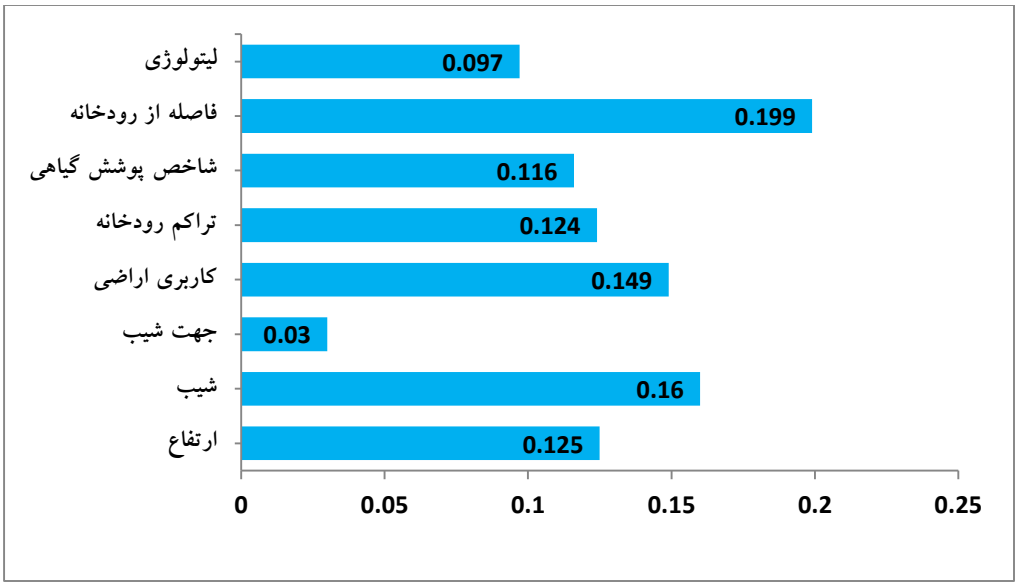
یافته های تحقیق

مقایسات زوجی معیارها و محاسبه وزن نهایی آن ها با استفاده از مدل ANP و در نرم‌افزار Super Decisions انجام شد. ماتریس دوبه‌دو 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 نقشه‌های هر یک از معیارها با استفاده از دستور Raster Calculator در محیط نرم‌افزار ArcGIS نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیل تهیه شد (شکل ۹).



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 comp
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 comp
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 comp
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 comp
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 comp
19. geo	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp
20. geo	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp
21. Landuse	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp

شکل ۷: مقایسات زوجی معیارها



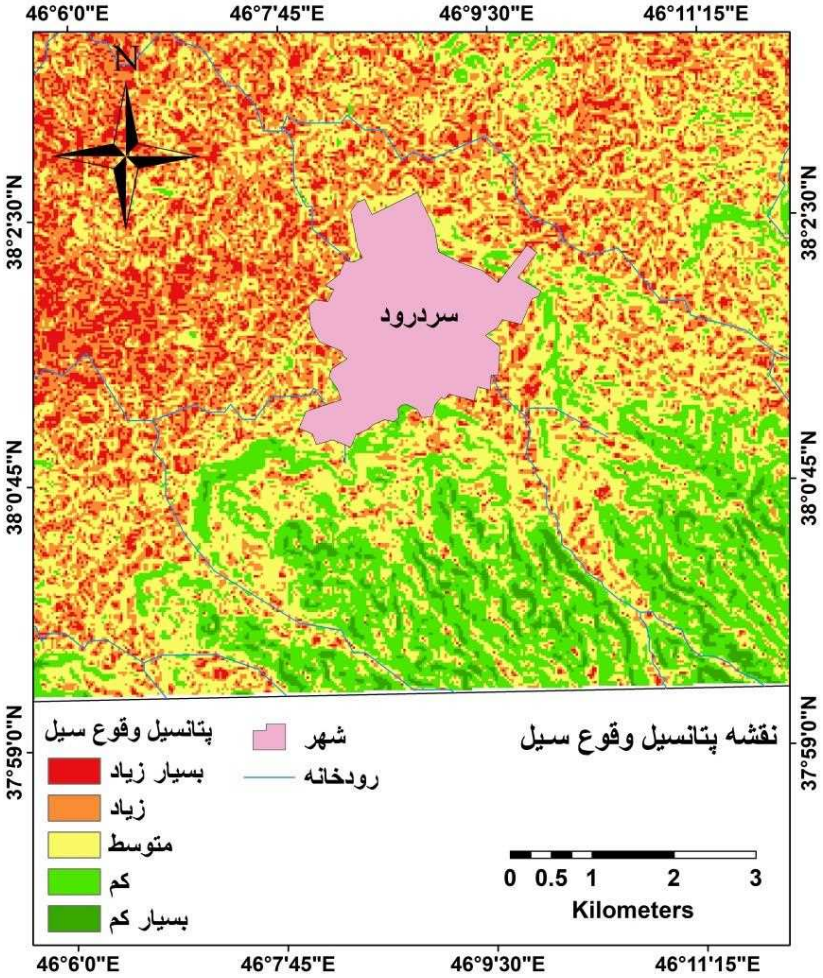
شکل ۸: وزن نهایی معیارها

نتایج حاصل از وزن‌دهی معیارها نشان می‌دهد که عوامل فاصله از رودخانه، شیب، کاربری اراضی و ارتفاع به‌ترتیب 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	۲٤	۲۹
متوسط	۳۲/۵	۳۹/۵
کم	۱٤	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 ۰/۱۹۹، 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 به‌دلیل 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 به‌سرعت 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، شماره۱، ۴۲-۲۷. doi:10.61882/jwmr.2024.1265

۲. رضائی‌مقدم، محمدحسین؛ حجازی، سیداسدالله؛ ولیزاده 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 شبکهٔ (ANP) و منطق فازی، مطالعه موردی: شهر مراغه، فصلنامه علمی پژوهش های بوم شناسی شهری، دوره ۱۵، شماره ۱، ۱۸۶-۱۷۱.

۴. عابدینی، موسی؛ بابایی اولم، طیبه؛ پاسبان، امیرحسام (۱۴۰۳)، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از مدل mffpi (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شفارود، استان گیلان)، جغرافیا و روابط انسانی،

دوره ۷، شماره ۱، ۸۲۱-۸۰۷.

۵. عابدینی، موسی؛ فتحی، محمدحسین (۱۳۹٤)، پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه (مطالعه موردی: حوضه آب‌خیز خیاو چای)، هیدروژئومورفولوژی، دوره ۲، شماره ۳، ۱۲۰-۹۹.

٦. 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، ٤۱۷-٤۰۳.

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، ۵۰۹-٤۹۷.

۸. نورالدین موسی، فاطمه؛ محمودی، رضا؛ امامی، کامیار (۱٤۰۲)، ارزیابی روند توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی به سمت مناطق سیل خیز (مطالعه موردی: شهر سنندج)، جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۵، شماره ٤، ٦٦٤-٦۵۳.

-٤

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.