

ORIGINAL ARTICLE

Urban Flood Hazard Zoning Using Fuzzy-Analytic Network Process (ANP) , Case study: Maragheh City

Ebrahim Sami^{1*}, Maryam Ebadi²

1. Assistant professor,
Department of Geography
and Urban Planning,
University of Maragheh,
Maragheh, Iran.

2. Msc, Department of
Urbanism, Urmia University,
Urmia, Iran.

Correspondence

Ebrahim Sami

Email:

e.sami1361@gmail.com

How to cite

Sami, E., Ebadi, M. (2024).
Urban Flood Hazard Zoning
Using Fuzzy-Analytic Network
Process (ANP), Case study:
Maragheh City. *Urban Ecological
Research*, 15(1), 171-186.

ABSTRACT

The purpose of this study is to zone flood risk in the city of Maragheh due to floods caused by the inundating of the Sufi Chai River. The criteria being used included the distance from the river, distance from drainage lines, population density, residential density, slope, DEM, aspect, and land use. Based on the experts' opinion and knowledge of the area, the layers were weighted by Network Analysis Process (ANP) method using Super Decisions software. According to the coefficients obtained in the ANP model, the waterway factor with a coefficient of 0.75 score had the highest value and the land use factor with a coefficient of 0.09 had the lowest value for creating floods, and then all layers were fuzzy in GIS and with weight hanging the layers and combining them by gamma method, the final flood zoning plan was prepared. Based on the results, areas with very high flood risk were in the city center along the Sufi Chai River with an area of 3.126 ha. They are located in areas 1, 2 and 3 and districts with low flood risk in the outskirts of the city having an area of 13.595 ha in areas 5 and 7, respectively. The results from integration of ANP and Fuzzy models, as approved in previous studies, indicate their high efficiency in identifying the areas with high flood risk. Therefore, it is essential to consider the zoning layers in planning processes, particularly risk assessment.

KEY WORDS

Zoning Flood, ANP, Fuzzy, Maragheh City.



DOI: <https://doi.org/10.30473/grup.2024.55316.2554>

«مقاله پژوهشی»

پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از تحلیل شبکه (ANP) و منطق فازی مطالعه موردی: شهر مراغه

ابراهیم سامی^{۱*}، مریم عبادی^۲

چکیده

هدف از این پژوهش پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر مراغه به دلیل سیلاب ناشی از طغیان رودخانه صوفی چای می‌باشد که برای این منظور از لایه‌های اطلاعاتی شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از آبراهه، فاصله از رودخانه، کاربری زمین، تراکم ساختمانی و تراکم جمعیتی استفاده شده است. براساس نظر کارشناسان و شناخت منطقه، وزن‌دهی لایه‌ها به روش تحلیل شبکه (ANP) با استفاده از نرم‌افزار سوپردسیژن انجام شد. با توجه به ضرایب به‌دست آمده در مدل ANP عامل آبراهه با ضریب ۰/۷۵ بیش‌ترین ارزش و عامل کاربری اراضی با ضریب ۰/۰۸۹۵ کم‌ترین ارزش را برای ایجاد سیل به خود اختصاص داد و سپس تمامی لایه‌ها در محیط GIS فازی سازی شده و در نهایت با وزن‌دار کردن لایه‌ها و تلفیق آن‌ها به روش گاما، نقشه نهایی پهنه‌بندی سیلاب تهیه گردید. نتایج نشان می‌دهد، پهنه‌های با خطر سیل‌گیری خیلی زیاد در مرکز شهر حاشیه رودخانه صوفی چای با مساحت ۳/۱۲۶ هکتار به ترتیب در نواحی ۱، ۲ و ۳ و پهنه‌های با خطر سیل‌گیری کم در حاشیه شهر با مساحت ۱۳/۵۹۸ هکتار در نواحی ۵ و ۷ واقع گردیده‌اند. نتایج حاصل از تلفیق مدل‌های ANP و Fuzzy در تائید مطالعات پیشین، حاکی از کارایی بالای آن‌ها در تعیین مناطق با ریسک بالای سیلاب می‌باشد و ضرورت دارد در فرایند برنامه‌ریزی و آمایش به‌ویژه ارزیابی خطر این سطوح پهنه‌بندی شده مدنظر قرار گرفته شود.

واژه‌های کلیدی

پهنه‌بندی سیلاب، ANP، Fuzzy، شهر مراغه.

۱. استادیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.
۲. کارشناسی ارشد، گروه شهرسازی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

نویسنده مسئول: ابراهیم سامی

رایانامه: Sayyad_e.sami1361@gmail.com

استناد به این مقاله:

سامی، ابراهیم و 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، ۱۵(۱)، ۱۷۱-۱۸۶.

<https://grup.journals.pnu.ac.ir/>

مقدمه

روبارویی با بحران‌های محیط شهری یکی از موضوعاتی است که بیش‌تر شهرها با آن روبرو هستند. ویژگی‌ها و شرایط حاکم بر فضای شهری و تراکم سرمایه‌گذاری‌های محیطی، توجه به برنامه ریزی مناسب پیرامون مصونیت شهرها را ضروری ساخته است (UNDRO, 1978). در سراسر جهان شهرها در حال حاضر به دلیل تغییرات آب‌وهوا و توسعه مداوم کاربری اراضی شهری با تغییرات چشمگیری فیزیکی و اقلیمی، مشکلات شدید زیست‌محیطی و اکولوژیکی با خطرات متعدد محیطی روبرو هستند (رحیمی، ۱۳۹۳: ۱۰۰؛ Fahy et al, 2019: 4).

سیلاب از مخرب‌ترین خطرهای طبیعی است که جبران آثار آن به خصوص در مناطقی که مظاهر توسعه انسانی در آنجا به چشم می‌خورد (مانند شهرها)، هزینه‌های زیادی را تحمیل می‌کند (صالحی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۷۹). بلایای جهانی در دو دهه گذشته بین سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۵ افزایش یافته است. بیش‌ترین آن مربوط به بلای طبیعی است که سیل شایع‌ترین خطر طبیعی در جهان به‌طور منظم در بیش‌تر کشورها اتفاق افتاده است. در بسیاری از مناطق به دلیل توسعه اقتصادی و اجتماعی شهرها و فشار بر کاربری اراضی و تغییرات آب‌وهوای جهانی شدت سیلاب‌ها به دلیل بارندگی‌های شدید رواناب تولید شده بیش‌تر و زمان تمرکز کم‌تر امکان تخلیه مقدار زیاد آب شرایط تخلیه رودخانه‌ها را با مشکل مواجه می‌کند که موجب خساراتی جبران ناپذیر می‌شود (Park and Won, 2019: 2; Zhou et al, 2019: 1363).

روند افزایش سیل در پنج دهه گذشته نشان‌دهنده افزایش تعداد وقوع سیل در دهه هشتاد نسبت به دهه چهل حدود ۱۰ برابر شده که ۹۰۰ درصد افزایش داشته است (امیر احمدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۸). در اروپا نیز یک سوم از هزینه‌های بلایای طبیعی ناشی از وقوع سیل است (Abebe et al, 2018: 3) که در دو دهه گذشته مخرب‌ترین سیلاب‌های آن مانند ایتالیا، فرانسه و سوئیس در سال ۲۰۰۰، در آلپ فوقانی و دانوب در سال ۲۰۰۲ و ۲۰۱۳، در امتداد پایین دانوب در سال ۲۰۰۶، در انگلستان در سال ۲۰۰۷، در لهستان در سال ۲۰۱۰ و در منطقه آدریاتیک در سال ۲۰۱۴، در سال ۲۰۱۱ در کپنهاگ و در آلمان و فرانسه در سال ۲۰۱۶ سیلاب شدید شهری رخ داده است (Kron et al, 2019: 197). در ایران نیز به دلیل شرایط اقلیمی، سیلاب‌ها از رخدادهای مکرر و آسیب بار محسوب می‌شوند. روند رو به رشد رخداد سیل در سال‌های اخیر حاکی از آن است که بیش‌تر مناطق کشور در معرض تهاجم سیلاب قرار دارند. بر اساس مطالعات انجام شده سالانه نزدیک به چهل سیل بزرگ و کوچک در نقاط مختلف کشور روی می‌دهد. بررسی سیلاب‌های شهری تاریخی

نشان می‌دهد که شهرهای ساری، تهران، شوشتر و شیراز سیلاب‌های عظیمی را تجربه کرده‌اند (کرم و درخشان، ۱۳۹۱: ۳۸). شمال شرق ایران بعضی اوقات تحت تأثیر بارش‌های شدید قرار گرفته و در نهایت منجر به سیل و در پی آن بروز خسارات مالی و حتی جانی می‌شود (صفریان زنگیر و همکاران، ۱۳۹۸: ۹۰).

مطالعات مختلف دلالت بر این موضوع دارد که عدم توجه به حریم سیل‌ها و رودخانه‌ها باعث ایجاد یک رشد نمایی در فراوانی وقوع سیلاب و میزان خسارات وارده گردیده است. تشدید سیر صعودی خسارات سیل در دو دهه گذشته سبب شده که آرزوی دیرینه درباره حل قطعی مسئله سیل و رواناب‌ها جای خود را به واقع‌گرایی و درک این واقعیت دهد که همیشه نمی‌توان در مهار سیلاب‌ها موفق بود. بلکه باید کوشید تا پیامدهای زیانبار و مخرب آن را کاهش داد (نصری، ۱۳۸۸: ۶۷). در این میان مناطق شهری بیش‌ترین پتانسیل خطرپذیری از سیل را دارا می‌باشند. با توجه به اینکه حفاظت کامل از خطر سیلاب امکان پذیر نمی‌باشد، زیستن در کنار سیلاب و اعمال سیاست‌های جدید در خصوص مدیریت کاربری اراضی و توسعه مناطق مسکونی حریم رودخانه به منظور کاهش اثرات تخریب آن امری ضروری است (طاهری بهبهانی و همکاران، ۱۳۷۵: ۴). یکی از روش‌های مدیریتی مواجهه با سیل و کاهش آثار زیانبار آن، شناخت مناطق سیل‌خیز و پهنه‌بندی سیلاب می‌باشد. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی عبارت است از تعیین و توصیف مناطق دارای پتانسیل از نظر رواناب‌های سطحی است. این عمل بر اساس مشابهت خصوصیات مناطق مورد بررسی صورت گرفته و از این طریق امکانات استفاده از پتانسیل هر زون مشخص و ارزیابی می‌شود (اصغری سراسکانرود و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۳۲).

نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب به منزله ابزاری در برنامه‌ریزی مسیر توسعه آینده شهر و شناخت نواحی برای توسعه زیرساخت‌های تخلیه و زهکشی سیلاب می‌تواند مؤثر باشد (صالحی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۸۲). مکان‌یابی بهترین مناطق پخش سیلاب به دو ابزار مهم نیاز دارد (الف) روشی که وزن یا اهمیت هر کدام از معیارها را در پخش سیلاب نشان دهد. (ب) ابزاری که بتواند با انجام تحلیل‌های مکانی مناسب اهمیت هر معیار را در هر مکان (با مختصات معین) مشخص کند (کرمی مقدم و درانی‌نژاد، ۱۳۹۲: ۲).

شهر مراغه با توجه به موقعیت جغرافیایی خود، در مسیر سیلاب قرار دارد. ازجمله عوامل مؤثر وجود رودخانه صوفی چای در وسط شهر که شهر در هر دو ساحل آن گسترش قابل‌توجهی داشته است و رعایت نکردن ضوابط شهرسازی، مسدود و یا تغییر

مطالعات بسیاری از طرح‌های مختلف توسعه و بهره‌برداری از منابع آب را تشکیل می‌دهد (نگارش و همکاران، ۱۳۹۳: ۸۲). برای جلوگیری از افزایش حجم زیاد رواناب‌های سطحی راهکارهای شبکه‌های باران، چاه‌های جذبی، کفپوش‌های نفوذ پذیر، باغچه‌های زیستی و همچنین از مخازن نگهداشت در محل‌های اصلی جهت کنترل آب مازاد استفاده می‌شود (هاشمی منفرد و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۲۰)؛ بنابراین افزایش شدت سیلاب‌ها در شهرها سبب شده که استراتژی‌های متعددی در مدیریت سیلاب‌های شهری تدوین گردد (قهروردی تالی، ۱۳۸۸: ۱۶۸). مانند نقشه‌های پهنه‌بندی که برای پیشگیری، محافظت و آمادگی در هنگام وقوع سیل جهت جلوگیری از ساخت خانه‌ها و صنایع در مناطق مستعد و با تطبیق تحولات حال و آینده استفاده می‌شود (Gersonius et al, 2013: 269).

کاربردهای نقشه‌های پهنه‌بندی در مدیریت سیلاب عبارت‌اند از ۱. تعیین حریم و بستر رودخانه‌ها ۲. مطالعه و توجیه اقتصادی طرح‌های عمرانی ۳. پیش‌بینی، هشدار و عملیات امداد و نجات ۴. بیمه سیل (اصغری سراسکانرود و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۳۲). از دیگر کاربردهای مهم این نوع نقشه‌ها استفاده از آن‌ها در حق بیمه خطر است که برای بهینه‌سازی کاربری زمین‌ها و برنامه‌های بیمه‌ای نیاز به نقشه‌های پهنه‌بندی سیل دارند که میزان حق بیمه از هر نوع بلای طبیعی متأثر از شدت و ضعف آن است. از نقشه‌های پهنه‌بندی برای مقاوم‌سازی سازه‌های در برابر خطر، اجتناب از مناطق تحت خطر استفاده می‌شود بنابراین مبنای مهمی برای مدیریت بلایای طبیعی هستند (دهقانی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۴۲).

پیشینه پژوهش

یمانی و همکاران (۱۳۹۱)، در مطالعه‌ای با عنوان «ارزیابی مدل منطق فازی در مقایسه با سایر مدل‌های مفهومی در پهنه‌بندی سیل‌خیزی با تأکید بر ویژگی‌های ژئومورفولوژیک» به بررسی عوامل مؤثر در وقوع سیل در منطقه دوزوزان پرداخت. او از جمله عوامل شیب، لیتولوژی، اشکال ناهمواری (تیپ‌های فیزیوگرافی)، نوع خاک، CN و وضعیت پوشش گیاهی را با استفاده از مدل‌های منطق فازی، بولین و شاخص‌های همپوشانی در قالب لایه‌های اطلاعاتی، بر اساس شدت و ضعف تأثیرگذاری عوامل پهنه‌ها بررسی کرده است. نتایج نهایی حاصل از مدل‌های مختلف نشان می‌دهد که مدل فازی گاما شاخص‌ترین ابزار مفهومی برای تعیین پهنه‌های در معرض سیل‌خیزی در منطقه بوده است.

صالحی و همکاران (۱۳۹۲)، در مطالعه‌ای با عنوان

مسیر مسیل‌ها به دلیل توسعه شهر و ... با آب‌گرفتگی معابر و کند شدن انتقال جریان رواناب در موقع بارندگی در نتیجه باعث تغییر شرایط هیدروئولوژیکی شده است. پهنه‌بندی خطر سیلاب با هدف به کارگیری در برنامه‌ریزی و مدیریت در کنترل و مهار سیل تاکنون در شهر مراغه مورد توجه نبوده و در قالب طرح تحقیقاتی و حتی مطالعاتی فعالیت چندانی در این زمینه انجام نگرفته است. لذا به منظور پیش‌بینی دامنه خسارات ناشی از سیلاب در شرایط مختلف اقتصادی و اجتماعی، برنامه‌های کنترل و مهار سیلاب لازم است به شناسایی مناطق مستعد سیل‌خیزی در شهر مراغه پرداخته شود.

مبانی نظری

سیل طغیان آب رودخانه و سرریز شده آن در زمین‌های مجاور یا جریان آب شدید از مناطق با ارتفاع زیاد به پایین دست است که باعث خسارات، تلفات و جانی، سیستم‌های معیشت، دارایی‌های اقتصادی می‌شود (Mohamed, 2019: 1) که یکی از پدیده‌های پیچیده و مخرب طبیعی است که هر ساله خسارات فراوانی را به دنبال دارد (حمصی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱). توسعه فیزیکی نامناسب شهر بر روی مسیل‌های قدیمی مسیر را برای جریان آب سطحی شهر مسدود می‌کند که سبب می‌شود هنگام بارندگی روان آب حاصل از ارتفاعات اطراف به صورت سیل وارد بافت کالبدی شهر شده و خسارات زیادی به بار آورد (احمدزاده و همکاران، ۱۳۹۴: ۲ و ۳). در واقع تحولات هیدروئولوژیکی ناشی از شهرسازی و نحوه کاربر اراضی حوضه شهری را می‌توان افزایش حجم رواناب، افزایش دبی پیک، کاهش زمان رسیدن به دبی اوج و در نهایت تغییرات کیفی آب است که باعث ایجاد سیلاب شهری می‌گردد (یزدانی و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۴).

سیلاب شهری، حجم آبی است که خارج از ظرفیت زهکشی شهر می‌باشد (قهروردی تالی، ۱۳۸۸: ۱۶۷). زیرساخت‌های جمع‌آوری سیلاب در شهرها را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: دسته اول شبکه‌های جمع‌آوری سیلاب سطحی شامل مسیرهای زهکشی، جوی‌های کنار جاده‌ای و کانال‌ها و دسته دوم سامان‌دهی هدایت سیلاب زیرسطحی شامل تأسیسات انتقال که تونل‌ها، ورودی‌ها و خروجی‌های آب به تونل‌ها از این دسته هستند. از آنجا که زیرساخت‌های جمع‌آوری سیلاب می‌تواند سبب تشکیل جریان‌های مصنوعی بر سطح زمین شود که کاملاً مخالف جریان طبیعی آب است، پیچیدگی بیش‌تری به تحلیل‌های هیدروئولوژیکی شبکه مینا اضافه می‌گردد (جعفری و آل‌شیخ، ۱۳۹۳: ۴۳).

برآورد رواناب حاصل از بارش‌های جوی، پایه و مبنای

می‌دهد که بیش‌ترین خطر سیلاب در بخش جنوبی شهر حاشیه کانال آب قرار دارد.

دی سلوا^۲ و همکاران (۲۰۱۸)، در مطالعه‌ای با عنوان «مقابله با سیلاب بارانی با نقشه‌های اولیه در مقیاس شهری با استفاده از GIS» به ارزیابی نقشه‌های خطر سیلاب‌های بارانی در مناطق شهری بر اساس شاخص‌های مناطق مستعد سیلاب بارانی (مورفولوژی و تعداد دوره‌های سیل روی داده) و مناطق دارای پتانسیل سیلاب بارانی و اثرات آن بر روی جوامع انسانی، زیست‌محیطی، میراث فرهنگی و فعالیت‌های اقتصادی در محیط GIS پرداخت. نقشه‌های پتانسیل خطر در مقیاس شهری برای تشخیص مناطق در معرض خطر و اولویت‌بندی برنامه‌ها و مدیریت کمک می‌کنند.

کنانی^۳ و همکاران (۲۰۱۹)، در مطالعه‌ای با عنوان «رویکرد جدید برای ارزیابی حساسیت به سیلاب در مناطق براساس تصمیم‌گیری چندمعیاره و GIS» با استفاده از (GIS)، منطق فازی و تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) از پنج شاخص: ژئوفیزیک، ژئومورفولوژیکی، هواشناسی، هیدرولوژیکی و جغرافیایی مناطق حساس به سیل را در استان کردستان مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داده که حدود ۸۵٪ از منطقه در منطقه حساس به سیل بسیار زیاد قرار دارند.

پارک^۴ و همکاران (۲۰۱۹)، در مطالعه‌ای با عنوان «تجزیه و تحلیل شاخص‌های کاربری ساختمان با پهنه‌بندی خطر براساس ارزیابی خطر سیلاب شهری» به بررسی آسیب‌پذیری کاربری-های شهری در مقابل سیلاب با استفاده از مشخصات ساختمانی و عوامل محیطی پرداخته است که مناطق شهری به چهار منطقه: سبز، زرد، نارنجی و قرمز تقسیم شده که مناطق مسکونی و صنعتی جزء مناطق سبز مناطق صنعتی جزء مناطق قرمز و نارنجی واقع شده است. این مطالعه می‌تواند برای استفاده از مناطق تجاری و مسکونی در آینده مفید باشد و همچنین می‌تواند اطلاعاتی از مناسب بودن محل ساختمان‌ها، وضعیت توزیع و استفاده آن‌ها ارائه کند.

زهنگ و همکاران (۲۰۲۰)، در مطالعه‌ای با عنوان «ارزیابی چارچوب واکنش به سیلاب شهری مطالعه موردی در سه جامعه» به بررسی مقاومت جوامع در مقابل سیلاب با استفاده از روش دلفی فازی و فرایند تحلیل شبکه با استفاده از هفت شاخص (امکانات عمومی، ساختار فضایی کاربری زمین، سازمان‌های مدیریت سیل، قابلیت عملیات نجات، پیش‌بینی آب

«پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از GIS و فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی» به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری تهران با استفاده از پنج عامل فاصله از شبکه زهکشی، تجمع جریان، شیب، ارتفاع و اراضی ساخته شده و نشده با روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی پرداخته است. نتیجه نهایی نشان می‌دهد که آبراهه‌ها و حریم آن‌ها، نواحی مرکزی و جنوب شهر بیش‌ترین پتانسیل سیل‌خیزی را دارند.

محمود زاده و همکاران (۱۳۹۶)، در مطالعه‌ای با عنوان «کاربرد تکنیک‌های دورسنجی و GIS برای پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر ارومیه با رویکرد تحلیل چندمعیاره» برای پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهری ارومیه از روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) و تحلیل‌های چندمعیاره فازی استفاده کرده است. وی برای پهنه‌بندی خطر سیلاب از لایه‌هایی ضریب رواناب، تراکم مسکونی، تراکم جمعیت، فاصله از رودخانه، ضریب CN، کاربری زمین، شیب، فضای باز و قدمت ابنیه و برای تراکم پوشش گیاهی از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ استفاده کرده است. نقشه خطر سیل نشان می‌دهد ۲۲/۳۱ درصد در پهنه خطر خیلی زیاد، ۲۹/۰۸ درصد در پهنه خطر زیاد، ۲۶/۴۵ درصد در پهنه متوسط، ۱۷/۵۲ درصد در پهنه خطر کم و ۴/۶۴ درصد در پهنه خطر خیلی کم از لحاظ سیل قرار گرفته است و مناطق مرکزی بیش‌ترین خطر را نسبت به سایر مناطق دارد.

هزاره و باخرزی قزالحصار (۱۳۹۷)، در مطالعه‌ای با عنوان «پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری در منطقه ۹ شهرداری مشهد» برای پهنه‌بندی خطر سیلاب شهر مشهد از شش عامل فاصله از رودخانه، ارتفاع، مسیل، تراکم جمعیتی، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی استفاده کرده است. وزن‌دهی داده‌ها بر اساس مدل AHP و در محیط GIS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است نتایج نشان می‌دهد که ۷۴٪ از مساحت منطقه در محدوده با خطر کم و خیلی کم و ۲۶٪ در پهنه متوسط تا خیلی زیاد قرار گرفته است.

فراندز و لوتز^۱ (۲۰۱۰)، در مطالعه‌ای با عنوان «منطقه بندی مناطق خطر سیلاب شهری در استان توکومان آرژانتین با استفاده از GIS و تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمتغیره» به منطقه بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمتغیره پرداخته است و از پنج پارامتر فاصله از کانال‌ها، نقشه شیب، نقشه ارتفاع، آب زیرزمینی و نقشه محدوده شهر برای تجزیه و تحلیل و وزن‌دهی استفاده کرده است. نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب نشان

2. Di Salvo
3. Kanani
4. Park

1. Fernández and Lutz

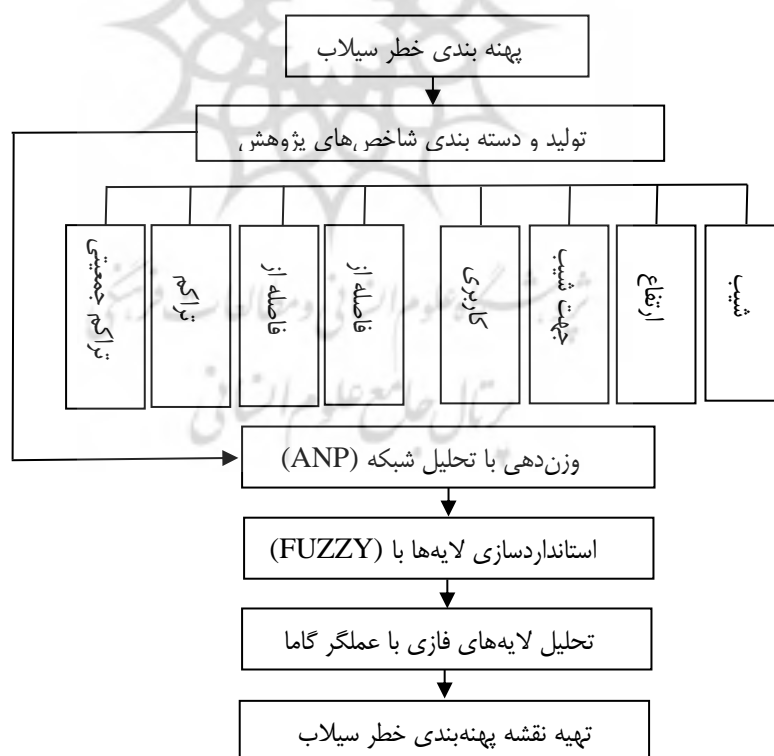
وزن‌دار شده و سپس لایه‌های مورد نظر در نرم‌افزار GIS تهیه، طبقه‌بندی، فازی سازی و وزن‌دار شده و در نهایت نقشه‌ی پهنه‌بندی سیلاب تهیه گردیده است.

نقشه‌های معیار شامل: تراکم جمعیت، تراکم ساختمانی، شیب جهت شیب، ارتفاع، رودخانه، کاربری اراضی و مسیل در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید که نقشه ارتفاع از روی منحنی میزان منطقه ۱۰ متری و شیب و جهت شیب از روی نقشه ارتفاع به‌دست آمد. نقشه کاربری اراضی محدوده مطالعاتی با استفاده از ابزار Maximum likelihood در محیط نرم‌افزار Envi با استفاده از تصاویر ماهواره landsat8 تهیه شد. نقشه آبراه‌ها از نقشه توپوگرافی و نقشه فاصله از خطوط آبراه در محیط ArcGIS با استفاده از تابع Distant Education از توابع Spatial Analyst tools تهیه و به ۵ کلاس طبقه‌بندی گردید. پس از زمین مرجع کردن لایه‌های مورد نیاز توسط توابع عضویت فازی به نقشه‌های فازی شده تبدیل شدند. در نهایت از عملگر جمع و ضرب و گامای فازی برای تلفیق و مدل‌سازی استفاده شده و نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب تهیه گردید شکل ۱، مدل مفهومی پژوهش را براساس میانی نظری نشان می‌دهد.

و هوایی، آسیب‌پذیری جمعیت و توانمندی فردی) بر سه جامعه (محلّه تازه تأسیس شده، قدیمی و روستای مستعد سیل) با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده از پرسشنامه، مصاحبه و تحقیقات میدانی پرداخته است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد محلّه تازه تأسیس شده با میانگین ۲/۱۳ درصد بیش‌ترین مقاومت سیل جامعه در برابر سیل شهری دارد و پس از آن محلّه قدیمی با ۱/۸ و در آخر روستا با ۰/۹۱ در برابر سیل شهری قرار دارد.

روش انجام پژوهش

این پژوهش از نظر هدف از نوع کاربردی - توسعه‌ای و از لحاظ روش انجام تحقیق، توصیفی-تحلیلی است و از دو روش کتابخانه‌ای و میدانی استفاده گردیده است. در این پژوهش ابتدا عوامل مؤثر در پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و نظر کارشناسان شناسایی گردید. در مرحله بعد اهمیت هریک از معیارها براساس نظر ۲۰ نفر از کارشناسان از طریق پرسشنامه مشخص شد. برای تحلیل داده‌های پرسشنامه از مدل تحلیل شبکه ANP استفاده گردید ابتدا اطلاعات وارد نرم‌افزار Super Decisions گردید و ماتریس‌های ناموزون،

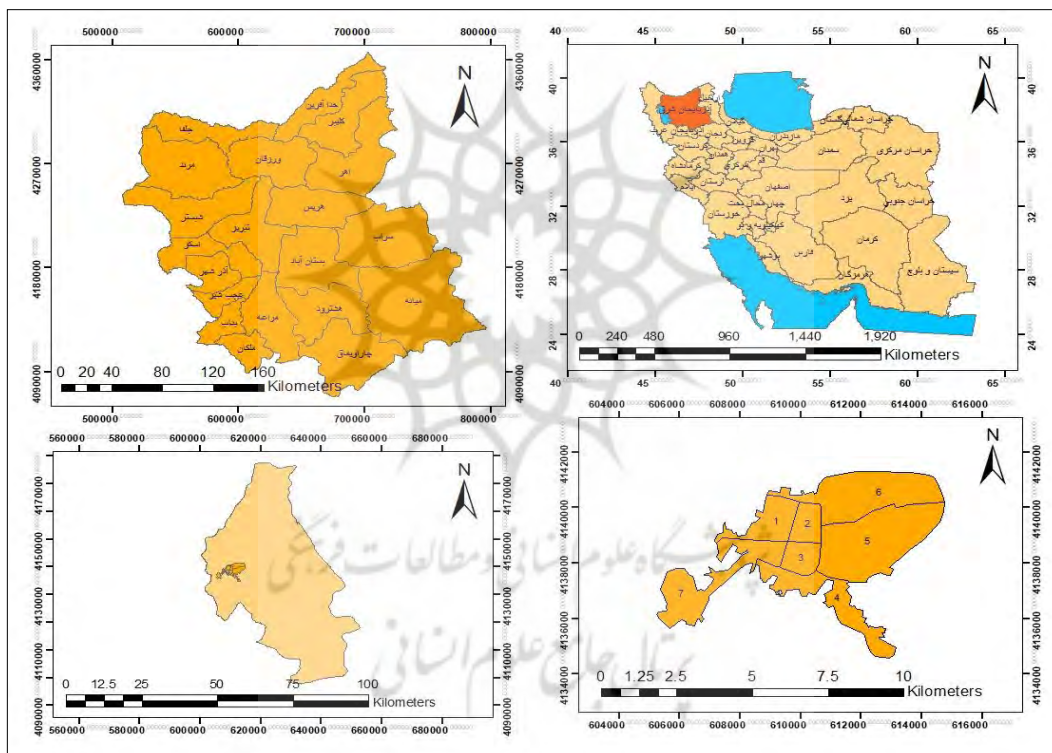


شکل ۱. نمودار روش پژوهش

دهستان و ۱۶۶ آبادی دارای سکنه می‌باشد. شهرهای مراغه و خراجو نقاط شهری این شهرستان هستند که شهر مراغه به‌عنوان مهم‌ترین نقطه شهری و مرکز شهرستان محسوب می‌شود. شهر در کنار رودخانه صوفی چای واقع گردیده و از شمال به کوه‌های قشلاق و آشان و از جنوب به باغات ورجوی، از شرق به باغات و مزارع از غرب به کوه رصد محدود می‌گردد. این شهر در ۳۷ درجه و ۲۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی واقع شده است و ارتفاع آن از سطح دریا حدود ۱۳۹۰ متر می‌باشد. مسیر راه آهن تهران - تبریز از مجاورت این شهر عبور می‌کند (مهندسین مشاور نقش محیط، ۱۳۹۰، ۹)، شکل ۲، موقعیت جغرافیایی شهر مراغه را نشان می‌دهد.

محدوده مورد مطالعه

شهرستان مراغه با مختصات جغرافیایی ۴۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی در جنوب غرب استان آذربایجان شرقی واقع است و یکی از ۲۰ شهرستان این استان محسوب می‌شود. مساحت آن در حدود ۴۱۴۶/۳ کیلومتر مربع است که حدود ۸/۸ درصد از کل مساحت استان را در بر می‌گیرد. شهرستان مراغه از شمال به شهرستان تبریز، از شرق به شهرستان‌های بستان‌آباد، هشترود و چارویماق، از غرب به شهرستان‌های اسکو، عجب‌شیر، بناب و ملکان و از جنوب به استان آذربایجان غربی محدود می‌گردد. شهرستان مراغه دارای دو بخش مرکزی و خراجو است که شامل دو شهر، شش



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی شهر مراغه

افزایش دقت کار در به‌دست آوردن بردار اهمیت معیارها و سوپرماتریس‌ها از نرم‌افزار Super Decision استفاده شده است که در آن با وارد کردن ماتریس‌های مقایسات زوجی، به ترتیب سوپرماتریس ناموزون اولیه (جدول ۱) سوپرماتریس موزون اولیه (جدول ۲) و سوپرماتریس حد (جدول ۳) به دست آمد. در محله اول به تعیین دسته‌ها و وابستگی بین آن‌ها پرداخته می‌شود. نمای این ساختار در شکل ۳، نشان داده شده است.

یافته‌ها

برای تعیین و انتخاب نیرو محرکه‌های اثرگذار بر سیلاب محدود، ضمن بررسی و مطالعه مستندات علمی و معتبر و در نظر گرفتن شرایط منطقه، از نظرسنجی کارشناسان اجرایی و صاحب‌نظران دانشگاهی استفاده گردید. در مدل فرآیند تحلیل شبکه با در نظر گرفتن ارتباط شبکه‌ای موجود بین خوشه‌ها و زیر معیارها و نیز ارتباط درونی آن‌ها با هم ماتریس‌های مربوط به مقایسات زوجی تهیه گردید. با توجه به حجم بالای محاسبات و مقایسات بین عناصر شبکه و برای راحتی و

شبکه‌ای این است که این تأثیرات را نیز در نظر بگیرد. براساس جدول ۳، در ابر ماتریس حدی همه اعداد و ارزش‌های ماتریس وزنی، در یک عدد ثابت به توان رسانده می‌شود و این کار آن قدر ادامه پیدا می‌کند تا یک ضریب یکسان برای هر عنصر و گزینه ایجاد شود.

محاسبه بردار وزنی عمومی یا سوپرماتریس حدی
در هنگام رسم شبکه‌ای از عناصر و دسته‌ها بعضی از تأثیرها به صورت مستقیم و آشکار بوده و به صورت مستقیم رسم می‌شوند. ولی برخی از تأثیرهای پنهان، در شبکه‌ای از وابستگی‌ها وجود دارد که به خاطر عدم وجود ارتباط مستقیم رسم نمی‌شوند؛ بنابراین از قابلیت‌های بسیار مهم روش تحلیل

جدول ۳. محاسبه بردار وزنی عمومی یا سوپرماتریس حدی برای هریک از خوشه‌ها و معیارهای موثر بر پهنه‌بندی سیلاب

متغیرها	انسانی		توپولوژی		هیدرولوژی			
	تراکم جمعیتی	تراکم ساختمانی	کاربری اراضی	ارتفاع	شیب	شیب	آبراهه	رودخانه
انسانی	تراکم جمعیتی	۰/۳۹۰۳	۰/۳۹۰۳	۰/۳۹۰۳	۰/۳۹۰۳	۰/۳۹۰۳	۰/۳۹۰۳	۰/۳۹۰۳
	تراکم ساختمانی	۰/۲۹۵۳	۰/۲۹۵۳	۰/۲۹۵۳	۰/۲۹۵۳	۰/۲۹۵۳	۰/۲۹۵۳	۰/۲۹۵۳
	کاربری اراضی	۰/۰۶۷۵	۰/۰۶۷۵	۰/۰۶۷۵	۰/۰۶۷۵	۰/۰۶۷۵	۰/۰۶۷۵	۰/۰۶۷۵
توپولوژی	ارتفاع	۰/۱۰۰۶	۰/۱۰۰۶	۰/۱۰۰۶	۰/۱۰۰۶	۰/۱۰۰۶	۰/۱۰۰۶	۰/۱۰۰۶
	جهت شیب	۰/۰۱۹۹	۰/۰۱۹۹	۰/۰۱۹۹	۰/۰۱۹۹	۰/۰۱۹۹	۰/۰۱۹۹	۰/۰۱۹۹
	شیب	۰/۰۶۳۴	۰/۰۶۳۴	۰/۰۶۳۴	۰/۰۶۳۴	۰/۰۶۳۴	۰/۰۶۳۴	۰/۰۶۳۴
هیدرولوژی	آبراهه	۰/۰۴۷۲	۰/۰۴۷۲	۰/۰۴۷۲	۰/۰۴۷۲	۰/۰۴۷۲	۰/۰۴۷۲	۰/۰۴۷۲
	رودخانه	۰/۰۱۵۷	۰/۰۱۵۷	۰/۰۱۵۷	۰/۰۱۵۷	۰/۰۱۵۷	۰/۰۱۵۷	۰/۰۱۵۷

ضریب عناصر و گزینه‌ها در ابر ماتریس حدی توسط ضریب خوشه‌ها می‌باشد.

ماتریس خوشه‌ها
جدول ۴، آخرین مرحله برای تعیین ارزش و ضریب نهایی عناصر گزینه، محاسبه نتایج ماتریس خوشه‌ها و نرمال‌سازی

جدول ۴. محاسبه ماتریس خوشه‌ها

هدف	انسانی	توپولوژی	هیدرولوژی
هدف	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
انسانی	۰/۳۳۳۳	۰/۷۵۳۱	۰/۷۵۳۱
توپولوژی	۰/۳۳۳۳	۰/۱۸۳۹	۰/۱۸۳۹
هیدرولوژی	۰/۳۳۳۳	۰/۰۶۲۹	۰/۰۶۲۹

سه معیار با عنوان آبراهه (۰/۷۵۰۰)، ارتفاع (۰/۵۴۶۹) و تراکم جمعیتی (۰/۵۱۸۲) به ترتیبی که ذکر شد، بیش‌ترین اهمیت و در نتیجه بیش‌ترین تأثیر را در پهنه‌بندی سیلاب خواهند داشت.

با به دست آمدن سوپرماتریس‌های ناموزون، موزون و حدی، در نهایت وزن هریک از زیر معیارها به دست آمد که در واقع ضریب تأثیر هریک از معیارها را در سیل‌خیزی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر این اساس جدول ۵، اهمیت نهایی

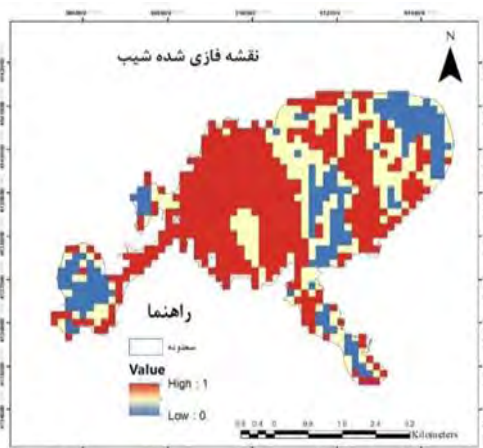
جدول ۵. وزن نهایی هریک از معیارها موثر بر پهنه‌بندی سیلاب

معیار	وزن معیار	معیار	وزن معیار
تراکم جمعیتی	۰/۵۱۸۲	شیب	۰/۳۴۴۵
تراکم ساختمانی	۰/۳۹۲۱	جهت شیب	۰/۱۰۸۵
کاربری اراضی	۰/۰۸۹۵	آبراهه	۰/۷۵۰۰
ارتفاع	۰/۵۴۶۹	رودخانه	۰/۲۵۰۰

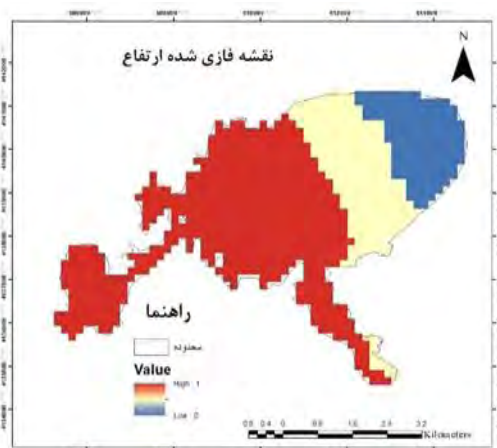
پس از آماده‌سازی و تهیه لایه‌های اطلاعاتی، کلاس‌های هر معیار با استفاده از توابع عضویت فازی سازی گردید. شکل‌های ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ نقشه فازی شده هریک از معیارها را نشان می‌دهد.

آماده‌سازی داده‌ها

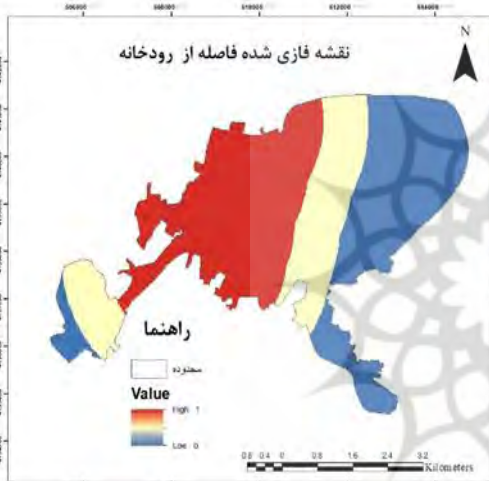
در این مرحله از پژوهش، پردازش و تحلیل داده‌ها با توجه به پارامترهای تراکم جمعیت، تراکم ساختمانی، شیب جهت شیب، ارتفاع، رودخانه، کاربری اراضی و آبراهه صورت گرفته است.



شکل ۵. نقشه فازی شیب



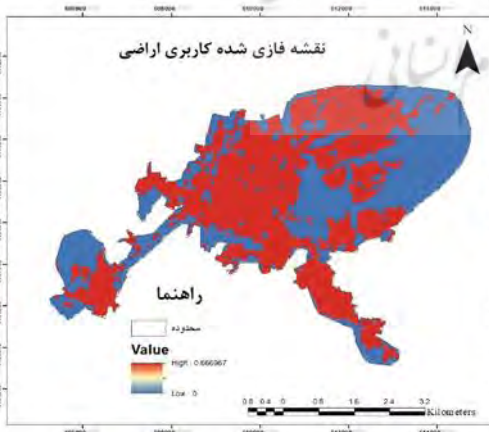
شکل ۴. نقشه فازی ارتفاع



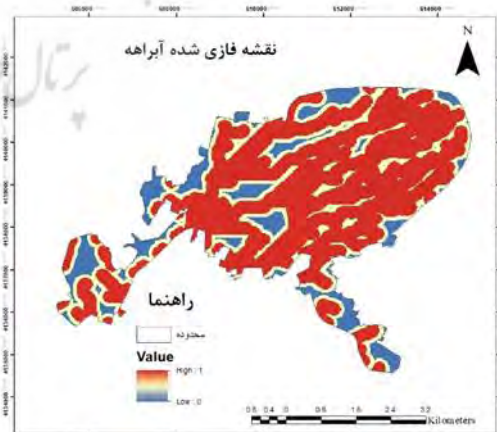
شکل ۷. نقشه فازی فاصله از رودخانه



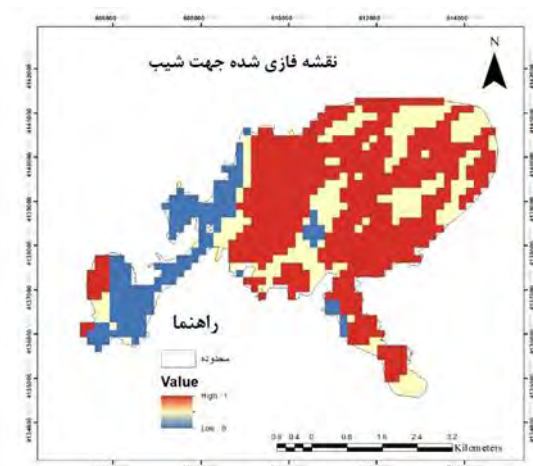
شکل ۶. نقشه فازی تراکم ساختمانی



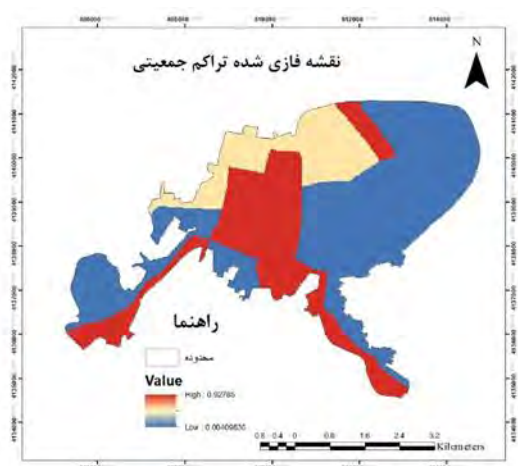
شکل ۹. نقشه فازی کاربری اراضی



شکل ۸. نقشه فازی آبراهه



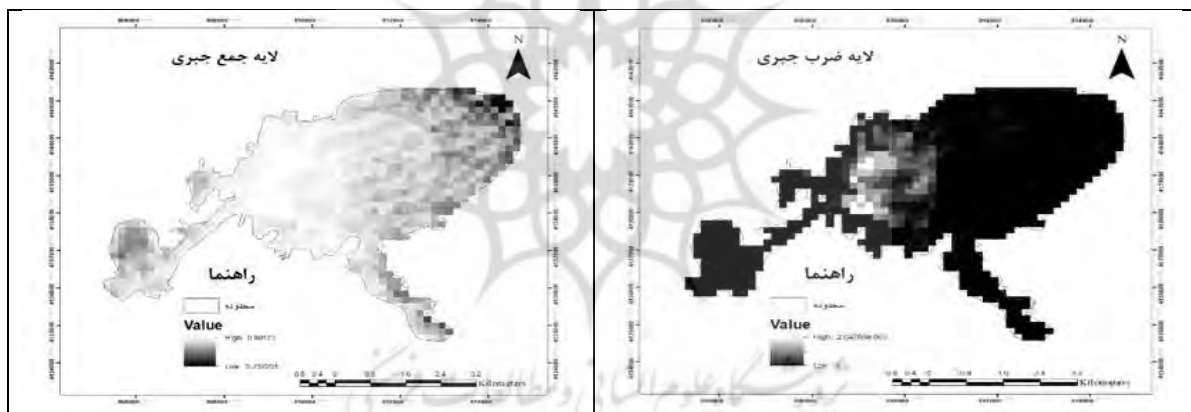
شکل ۱۱. نقشه فازی جهت شیب



شکل ۱۰. نقشه فازی تراکم جمعیتی

داده شده است که نقشه حاصل از عملگر جمع فازی در مقایسه با نقشه به دست آمده به وسیله عملگر ضرب فازی سطوح با خطر زیاد سیلاب، مساحت بیش‌تری دارند.

بعد از فازی‌سازی و ضرب وزن‌ها در لایه‌های فازی شده عملگرهای ضرب و جمع بر روی لایه‌های فازی شده اجرا می‌شود. مقایسه نقشه‌های جمع و ضرب در شکل ۱۲، نشان



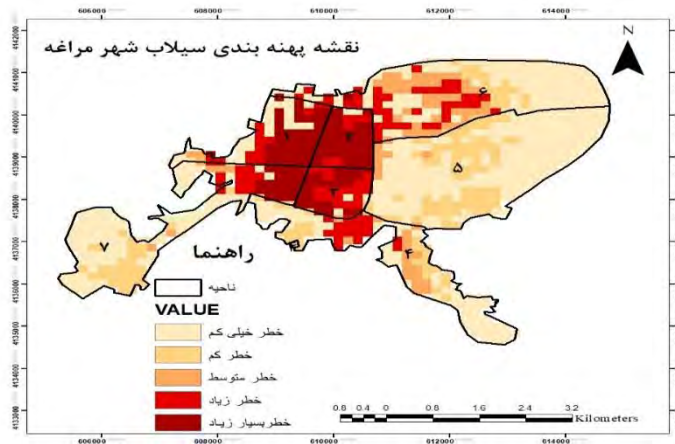
شکل ۱۲. نقشه‌های حاصل از ضرب و جمع فازی

بسیار کم ۱۳/۵۹۵ هکتار می‌باشد. همچنین با توجه به اطلاعات شکل ۱۴، پهنه‌های با خطر سیل‌خیزی بسیار زیاد در مرکز شهر مراغه نواحی ۱ و ۲ و ۳ با تراکم جمعیتی و ساختمانی بالا در حاشیه رودخانه صوفی چای و در مناطق منطبق بر مسیرهای عبوری از شهر قرار دارند و مناطق با خطر کم و بسیار کم در محدوده حاشیه‌ای شهر واقع گردیده‌اند.

در نهایت نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سیلاب و تعدیل نقشه‌های به دست آمده براساس عملگرهای جمع جبری و ضرب جبری، از عملگر گامای ۰/۹ در محیط ArcGIS 10.2 استفاده و به پنج کلاس طبقه‌بندی شده است. جدول ۶ نشان می‌دهد که مناطقی با خطر بسیار زیاد ۳/۱۲۶ هکتار، مناطقی با خطر زیاد ۳/۴۴ هکتار، مناطقی با خطر متوسط ۲/۱۸۰ هکتار، مناطقی با خطر کم ۴/۲۱۶ هکتار و مناطقی با خطر

جدول ۶. مساحت پهنه‌های خطرپذیر سیلاب محدوده مورد مطالعه

ردیف	طبقه‌ی خطرپذیری	مساحت برحسب هکتار	درصد
۱	خطر بسیار زیاد	۳/۱۲۶	۱۱/۷۷
۲	خطر زیاد	۳/۴۴	۱۲/۹۵
۳	خطر متوسط	۲/۱۸۰	۸/۲۱
۴	خطر کم	۴/۲۱۶	۱۵/۸۸
۵	خطر بسیار کم	۱۳/۵۹۵	۵۱/۱۹



شکل ۱۳. نقشه پهنه‌بندی سیلاب شهر مراغه

مدل ارائه شده در این پژوهش با توجه به در نظر گرفتن وابستگی درونی و بیرونی و جلوگیری از تأثیر مستقیم نظر کارشناسان قابلیت مناسی را در پهنه‌بندی سیلاب دارا می‌باشد. نتایج مطالعات محققانی چون صالحی و همکاران (۱۳۹۲)، محمودزاده و همکاران (۱۳۹۶) و هزاره و همکاران (۱۳۹۷)، تأکید بر مناسب بودن تحلیل فازی و مدل‌های تصمیم‌گیری در پهنه وقوع سیلاب دارند. با توجه به نتایج پژوهش تقریباً ۳۳ درصد منطقه در محدوده خطر متوسط به بالا قرار گرفته است و این تهدید جدی برای ساکنان این نواحی تلقی می‌شود و لازمه توجه جدی تصمیم‌گیرندگان و برنامه‌ریزان محیطی است.

راهکارها

- ✓ با توجه به یافته‌های تحقیق، راهکارهای زیر پیشنهاد می‌شود:
- ✓ جلوگیری از گسترش و نفوذ شهرنشینی در مناطق سیل‌خیز به دلیل واقع شدن و نزدیکی رودخانه و نواحی سیل‌خیز به سکونتگاه‌های انسانی؛
- ✓ تدوین برنامه‌های کنترل و مهار سیلاب برای مناطقی که احتمال ریسک بالای سیلاب دارند؛
- ✓ ممانعت از تغییر کاربری و تخریب مراتع در محدوده و حوضه رودخانه صوفی چای؛
- ✓ از آنجا که بیش‌تر تحقیقات کشور در حال حاضر بر مبنای روش‌های آکادمیک صورت می‌گیرد، بهره‌مندی از مدل معرفی شده در این تحقیق برای کمک به تصمیم‌سازی و تدوین برنامه‌های مدیریت ریسک سیلاب.

بحث و نتیجه‌گیری

تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب گامی مهم در مدیریت و جلوگیری از سیل‌خیزی در مناطق آسیب دیده است. نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب، دانشی را در مورد عوامل مؤثر بر وقوع سیل و علل آن، ارائه می‌دهد. بدیهی است چنین اطلاعاتی می‌تواند در مدیریت ریسک و کاهش خسارت آن مفید باشد. به همین منظور پژوهش حاضر به منظور پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از روش تحلیل شبکه و روش فازی در شهر مراغه انجام گرفت. در این راستا، ابتدا فاکتورهای مؤثر در سیلاب شناسایی و در محیط نرم‌افزار Super Decision وزن هر کدام از فاکتورها مشخص گردید. سپس وزن‌های به‌دست آمده لایه‌های فازی شده در محیط Arc Map اعمال و نقشه نهایی پهنه‌بندی سیلاب به‌دست آمد. در این پژوهش سه معیار با عنوان آبراهه، ارتفاع و تراکم جمعیتی به ترتیبی که ذکر شد، بیش‌ترین اهمیت را به خود اختصاص دادند. بررسی نتایج نشان داد که ۳۲/۹۳ درصد منطقه مورد مطالعه داری خطر متوسط به بالا هستند. عمده مناطق با خطر زیاد سیلاب در مرکز شهر مراغه نواحی ۱ و ۲ و ۳ با تراکم جمعیتی و ساختمانی بالا در حاشیه رودخانه صوفی چای و در مناطق منطبق بر مسیرهای عبوری از شهر قرار دارند و مساحت ۲/۱۸۰ هکتار از محدوده با خطر متوسط در ناحیه ۶ و ۴ که توسعه جدید شهر به این قسمت است. مساحت محدوده با خطر کم ۴/۲۱۶ هکتار و در محدوده با خطر بسیار کم ۱۳/۵۹۵ که مربوط به نواحی ۵ و ۷ در حاشیه شهر واقع شده است.

References

- Abebe, Y. A., Ghorbani, A., Nikolic, I., Vojinovic, Z., & Sanchez. A. (2018). A coupled flood-agent-institution modelling (CLAIM) framework for urban flood risk management. *Environmental Modelling and Software*, 111, 483-492.

- Ahmadzadeh, H., Saeedabadi, R & Nouri, E. (2014). A Study and Zoning of the Areas Prone to Flooding with an Emphasis on Urban Floods (Case Study: City of Maku). *Journal of Hydrogeomorphology*, 2, 1-23. (In Persian)
- Amir Ahmadi, A., Behniafar, A., & Ebrahimi, M. (2019). Micro zoning of flood risk in Sabzevar city in the direction of sustainable urban development. *Journal of Urban Planning and Research*, 4(7), 17-32. (In Persian)
- Asghari Saraskanroud, f., Pirouzi, E & Zainali, B. (2014). Flood risk zoning in As Laghan Chai watershed using Vicor model. *Quantitative Geomorphology Research*, 3, 245-231. (In Persian)
- Dehghani, M., Abbas Nejad, A., & Negaresh, H. (2015). Assessment of Flood Hazard and its Zoning in Baft Plain (South East Part of Iran). *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 20, 141-152. (In Persian)
- Di Salvo, C., Pennica, F., Ciotoli, G., & Cavinato, G.P. (2018). A GIS-based procedure for preliminary mapping of pluvial flood risk at metropolitan scale. *Environmental Modelling and Software*, 107, 64-84.
- Fahy, B., Brenneman, E., Chang, H., & Shandas, V. (2019). Spatial analysis of urban flooding and extreme heat hazard potential in Portland. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 39, 101-117.
- Fernández, D.S., & Lutz, M. A. (2010). Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Engineering Geology*, 111, 90-98
- gahrvardi Tali, M. (2008). Application of integrated urban flood model in large cities (case study: northeast of Tehran). *Geography and regional planning*, 178-167. (In Persian)
- Gersonius, B., Zevenbergen, C., & van Herk, S. (2013). Managing flood risk in the urban environment: linking spatial planning, Risk assessment. *communication and policy*, 263-275.
- Hashemi Monfared, S.A., Azizian, G., Derakhshan Alamdar, P. & Raispour, J. (2017). Investigating of the Existing Urban Drainage Systems for the Passage of Floods and the Possibility of Its Modification Using SWMM5 (Case Study: Darab county). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 15, 219-236. (In Persian)
- Hezara, V., & Bakharzai Ghazalhasar, M. (2017). Urban flood risk zoning in zone 9 of Mashhad. *Geography and Human Relationships*, 1(2), 1140-1158. (In Persian)
- Homsy, M., Ong, M. & Salahi Esfahani, G. (2011). The effect of land use change on flood zoning: a case study of villages in Azran Kashan watershed. *The third national conference on comprehensive management of water resources*, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian)
- Jafari, H., & Al-Sheikh, A. (2013). Developing an Urban Inundation Simulation Model by Considering Storm water Infrastructures. *Emergency Management*, 7(42), 41-50. (In Persian)
- Kanani-Sadat, Y., Arabsheibani, R., Karimipour, F., & Nasserri, M. (2019). A New Approach to Flood Susceptibility Assessment in Data-Scarce and Ungauged Regions Based on GIS-based Hybrid Multi Criteria Decision-Making Method. *Journal of Hydrology*, 572, 17-31
- Karam, A., & Derakhshan, F. (2011). Flood zoning, flood estimation and efficiency evaluation of surface water disposal channels in urban basins (case study: Abshuran basin in Kermanshah). *Natural Geography*, 16, 37-54. (In Persian)
- Karmi Moghadam, S. & Duraninejad, M. (2012). Zoning of suitable areas for flood spreading in Sarvostan plain using hierarchical analysis and Boolean method in GIS environment. *The 6th National Conference on Watershed Management and Water and Soil Resources Management*. (In Persian)
- Krona, W., Eichner, J., & Kundzewicz, Z. W. (2019). Reduction of flood risk in Europe Reflections from a reinsurance perspective. *Journal of Hydrology*, 576, 197-209
- Mahmoudzadeh, H., Yari, F. & Vahedi, A. (2016). The Application of Remote sensing and GIS Techniques for Flood Risk Zoning Multi Criteria Approach, Urmia, Iran. *Physical Geography Research*, 4, 730-719. (In Persian)
- Mohamed, S.A. (2019). Application of satellite image processing and GIS-Spatial modeling for mapping urban areas prone to flash floods in Qena governorate, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 158, 1-15.

- Nasri, M. (2008). Investigating the floods and the network of canals affecting the city of Zavareh and paying attention to it in urban planning. *Geographical Perspective*, 2, 1-12. (In Persian)
- Negaresh, H., Tavousi, T. & Mehdi Nasab, M. (2013). Modeling production runoff in the of basin river kashkan by statistical models. *Urban Ecological Research*, 6, 81-91. (In Persian)
- Park, K., & Won, J. h. (2019). Analysis on distribution characteristics of building use with risk zone classification based on urban flood risk assessment. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 38, 1-10.
- Rahimi, A. (2014). Modeling of Tabriz Expansion in 2031 using Land Transformation model. *Urban Ecological Research*, 5(2), 99-110. (In persian)
- Safrian Zengir, V., Zenali, B., & Jafarzadeh Aliabad, L. (2018). Assessment of synoptic conditions of occurrence of flood-induced rainfall in Khalkhal city with a perimeter environmental approach during the time period 2016- 1987. *Urban Ecological Research*, 1(19), 104-89. (In Persian)
- Salehi, I., Rafiei, Y., Farzad Behtash, M., & Agha Babaei, M. (2012). Urban Flood Hazard Zonation Using GIS and Fuzzy-AHP Analysis (Case study: Tehran city). *Journal of Environmental Studies*, 3, 179-188. (In Persian)
- Taheri Behbahani, M., & Bozorgzadeh, M. (1996). *Urban floods*. Tehran: Publications of Iran Urban Planning and Architecture Studies and Research Center. (In Persian)
- UNDRO. (1978). *Disaster Prevention and Mitigation: A Compendium of Current Knowledge*. Hydrological Aspects, United Nations Disaster Relief Organization, New York: United Nations.
- Yamani, M., Davarzani, Z., & Dadarsi, A. (2013). Evaluation of Fuzzy Logic Relative to other Conceptual Models in Zoning of Flooding with Emphasis on Geomorphological Aspects Case study: Davarzan Basin. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 5, 121-134. (In Persian)
- Yazdani, M., Ghasemi, M., Saleki Maliki, M., & Afkhami, F. (2016). Micro-zoning of vulnerability of cities against flood risk, case study: Tabriz city. *Journal of Rescue and Relief*, 36, 33-44. (In Persian)
- Zhong, M., Lin, K., Tang, G., Zhang, Q., Hong, Y., & Chen, X. (2020). A Framework to Evaluate Community Resilience to Urban Floods: A Case Study in Three Communities. *Sustainability*, 12(4), 1-21.
- Zhou, Y., Shen, D., Huang, N., Guo, Y., Zhang, T., & Zhang, Y. (2019). Urban flood risk assessment using storm characteristic parameters sensitive to catchment-specific drainage system. *Science of the Total Environment*, 659, 1362-1369
- احمدزاده، حسن؛ سعیدآبادی، رشید و نوری، الهه (۱۳۹۴). بررسی و پهنه‌بندی مناطق مستعد به وقوع سیل با تأکید بر سیلاب‌های شهری موردی: شهر ماکو. *مجله هیدروژئومورفولوژی*، ۲، ۱-۲۳.
- اصغری سراسکانرود، صیاد؛ پیروزی، الناز و زینالی، بتول (۱۳۹۴). پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبخیز آق لاقان چای با استفاده از مدل ویکور. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۳، ۲۴۵-۲۳۱
- امیر احمدی، ابوالقاسم؛ بهنیاافر، ابوالفضل و ابراهیمی، مجید (۱۳۹۰). ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر سبزوار در راستای توسعه پایدار شهری. *مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری*، ۴(۷)، ۳۲-۱۷.
- جعفری، هانیه و آل شیخ، علی‌اصغر (۱۳۹۳). توسعه روشی برای شبیه‌سازی آب‌گرفتگی‌های شهری منطبق بر زیرساخت‌های جمع‌آوری سیلاب. *فصل‌نامه مدیریت بحران*، ۷(۴۲)، ۴۱-۵۰.
- حمصی، ملیحه؛ اونق، مجید و صلاحی اصفهانی، گیتی (۱۳۹۱). اثر تغییر کاربری اراضی بر پهنه‌بندی سیل: مطالعه موردی روستاهای حوضه آبخیز آزران کاشان. *سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری*.
- دهقانی، مژگان؛ عباس نژاد، احمد و نگارش، حسین (۱۳۹۵). بررسی خطر سیل و پهنه‌بندی آن در دشت بافت، جنوب شرقی ایران. *جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای*، ۲۰، ۱۴۱-۱۵۲.
- رحیمی، اکبر (۱۳۹۳). مدل‌سازی توسعه تبریز در سال ۱۴۱۰ با استفاده از LTM. *پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری*، ۵(۲)، ۹۹-۱۱۰.
- صالحی، اسماعیل؛ رفیعی، یوسف؛ فرزاد بهتاش، محمدرضا و آقا بابایی، محمدتقی (۱۳۹۲). پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از GIS و فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: تهران). *محیط‌شناسی*، ۳، ۱۷۹-۱۸۸.

- صفریان زنگبیر، وحید؛ زینالی، بتول و جعفرزاده علی‌آبادی، لیلا (۱۳۹۸). ارزیابی شرایط همدیدی وقوع بارش‌های منجر به سیلاب در شهرستان خلخال، با رویکرد محیطی به گردشی در بازه زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۵. *فصلنامه علمی پژوهشی بوم‌شناسی شهری*، ۱(۱۹)، ۸۹-۱۰۴.
- طاهری بهبهانی، محمد طاهر و بزرگ‌زاده، مصطفی (۱۳۷۵). *سیلاب‌های شهری*. تهران: انتشارات مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران.
- قهروردی تالی، منیژه (۱۳۸۸). کاربرد مدل یکپارچه سیلاب شهری در کلان شهرها (مطالعه موردی: شمال شرق تهران). *جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، ۱۶۷-۱۷۸.
- کرم، امیر، درخشان، فرزانه (۱۳۹۱). پهنه‌بندی سیل‌خیزی برآورد سیلاب و ارزیابی کارایی کانال‌های دفع آب‌های سطحی در حوضه‌های شهری (مطالعه موردی: حوضه آبشوران در کرمانشاه). *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، ۱۶، ۳۷-۵۴.
- کرمی مقدم، شیرین و درانی نژاد، محمدصادق (۱۳۹۲). پهنه‌بندی مناطق مناسب جهت پخش سیلاب در دشت سروستان با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و روش بولین در محیط GIS. *ششمین همایش ملی آب‌خیزداری و مدیریت منابع آب و خاک*.
- محمود زاده، حسن؛ یاری، فاطمه و واحدی، علی (۱۳۹۶). کاربرد تکنیک‌های دورسنجی و GIS برای پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر ارومیه با رویکرد تحلیل چند معیاره. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴، ۷۳۰-۷۱۹.
- مهندسین مشاور نقش محیط (۱۳۹۰). *طرح جامع شهر مراغه*.
- نصری، مسعود (۱۳۸۸). بررسی سیلاب‌ها و شبکه مسیل‌های تأثیرگذار بر شهر زواره و توجه به آن در برنامه‌ریزی شهری. *فصلنامه جغرافیایی چشم‌انداز*، ۲، ۱۲-۱.
- نگارش، حسین؛ طاوسی، تقی و مهدی نسب، مهدی (۱۳۹۳). مدل‌سازی تولید رواناب حوضه آبریز رودخانه کشکان بر اساس روش‌های آماری. *دو فصلنامه پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری*، ۶، ۸۱-۹۱.
- هاشمی منفرد، سید آرمان؛ عزیزیان، غلامرضا؛ درخشان علمدار، پژمان و رئیس پور، جلیل (۱۳۹۷). بررسی کفایت سیستم زهکشی در مناطق شهری جهت عبور سیلاب و امکان اصلاح آن به کمک مدل SWMM5 مطالعه موردی: شهرستان داراب. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۵، ۲۱۹-۲۳۶.
- هزاره، وحید و باخرزی قزالحصار، سید محمد (۱۳۹۷). پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری در منطقه ۹ شهرداری مشهد. *جغرافیا و روابط انسانی*، ۱(۲)، ۱۱۴۰-۱۱۵۸.
- یزدانی، محمدحسن؛ قاسمی، معصومه؛ سالکی ملکی، محمدعلی و افخمی، فاطمه (۱۳۹۶). ریز پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهرها در مقابل خطر سیلاب مطالعه موردی: شهر تبریز. *فصلنامه امداد و نجات*، ۳۶، ۳۳-۴۴.
- یمانی، مجتبی؛ داورزنی، زهرا و دادرسی، ابوالقاسم (۱۳۹۱). ارزیابی مدل منطق‌فازی در مقایسه با سایر مدل‌های مفهومی در پهنه‌بندی سیل‌خیزی با تأکید بر ویژگی‌های ژئومورفولوژیک مورد شناسی: حوضه داورزن. *جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای*، ۵، ۱۲۱-۱۳۴.