مجله علوم جغرافیایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، دوره۱۹، شماره ۴۵، زمستان ۱۴۰۲، صص ۱۶۴-۱۴۸

ریز پهنه‌های خطر سیلاب در شهر اهواز با استفاده از AHP، GIS و منطق فازی

مهناز عامری

دانشجوی دکترا جغرافیا و برنامه ریزی شهری، گروه جغرافیا واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی لارستان، ایران

محمد ابراهیم عفیفی

دانشیار گروه جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی لارستان، ایران(نویسنده مسئول)

afifi.ebrahim6353@iaularestan.ac.ir

مرضیه موغلی

دانشیار گروه جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی لارستان، ایران

دریافت: ۱۴۰۲/۴/۳۰ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۳۱

چکیده

از فراوان‌ترین و خسارت‌بارترین مخاطرات محیطی، سیلاب می‌باشد که با تأثیر بر زندگی انسان، باعث آسیب‌های شدید اقتصادی در سراسر جهان شده‌است. به‌طور طبیعی سیلاب‌های ناشی از باران در مناطق گرم و معتدل و سیلاب‌های ناشی از ذوب برف در مناطق معتدل و سرد ایجاد می‌شوند و همین مسئله اهمیت موضوع کنترل سیلاب و کاهش خسارت‌های ناشی از آن را نمایان می‌نماید. هدف از پژوهش حاضر، شناسایی پهنه‌های خطر سیلاب در شهر اهواز است. در این پژوهش با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی، منطق فازی و تلفیق آن با امکانات سیستم اطلاعات جغرافیایی، پدیده سیلاب در شهر اهواز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. برای ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب از ۶ معیار تاثیرگذار در سیل‌خیزی شهر اهواز شامل ارتفاع، شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از پل، پوشش زمین و لیتولوژی استفاده شده‌است. بر اساس نتایج حاصل از پژوهش بخش زیادی از محدوده شهری اهواز دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی است. براساس نتایج حاصله، مناطق میانی شهر اهواز به دلیل نزدیکی به رودخانه کارون، داشتن شیب کم (کم‌تر از ۵ درصد)، ارتفاع کم و همچنین تراکم بالای نواحی سکونتگاهی، دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی است.

واژگان کلیدی: سیلاب‌شهری، مدیریت سیلاب، منطق فازی، مدل AHP ، شهر اهواز.

مقدمه

سیل یکی از مهمترین بلایای طبیعی جهان است که بیش از نیمی از آسیب‌های جهانی سیل در آسیا رخ می دهد(تینسانچالی[1]، ۲۰۱۲: ۲۵) در واقع سیلاب از مخرب‌ترین خطرهای طبیعی است که جبران آثار آن به‌خصوص در مناطق که مظاهر توسعه‌ی انسانی در آنجا به چشم می‌خورد، هزینه‌های زیادی را تحمیل می‌کند توسعه‌ی شهرنشینی، به‌ویژه در حاشیه رودخانه‌ها، بر خسارت‌های سیل در دهه‌های اخیر افزوده است. از این‌رو، آگاهی از میزان آسیب‌پذیری مناطق مختلف شهری و توجه به موضوع مدیریت سیلاب‌های شهری، حائز اهمیت است (قهرودی تالی و همکاران، ۱۳۹۵؛ فرخزاده و همکاران،۱۳۹۹). سیلاب‌ها نه تنها در کشورهای در حال توسعه بلکه در کشورهای توسعه یافته و پیشرفته نیز باعث ایجاد خسارات مالی و جانی شده و آمارها نیز گویای روند رو به رشد چنین حوادثی هستند. فعالیت‌های انسانی و عدم برنامه‌ریزی صحیح نیز باعث ایجاد و افزایش حجم دفعات وقوع و خسارات مالی و جانی ناشی از سیلاب شده‌است بنابراین لازم است قبل از گسترش بی‌رویه سکونتگاهها و تغییر کاربری اراضی در حوضه مطالعات مخاطرات سیل انجام شود. به‌عبارتی دیگر سیلاب از جمله مخاطرات طبیعی شناخته شده است که طبق گزارش جهانی برنامه عمران سازمان ملل در مورد خطر بلایای طبیعی، سیلاب، زلزله و خشکسالی بالاترین رتبه را از لحاظ خسارت مالی و جانی به همراه داشته است (عبدالعظیمی، ۱۳۹۹: ۱۳۸). یکی از دلایل رویداد سیل اختلاف ارتفاع توپوگرافیکی بین مناطق مختلف کشور است که به موجب آن رواناب از مناطق مرتفع در کمترین زمان به مناطق پست هدایت می‌شود. با توجه به فراوانی فزاینده آن در سال‌های اخیر یکی از مخاطرات طبیعی تهدیدکننده در مناطق شهری در سراسر جهان است. به‌منظور جلوگیری از وقوع سیل و کاهش پیامدهای آتی، مدیران شهری با هدف پیش‌بینی ویژگی‌های بارندگی از جمله شدت پیک، زمان رسیدن و مدت زمان، به ساکنان مناطق پرخطر هشدار داده و در هنگام پیش‌بینی سیلاب، باید اقدامات اضطراری را به‌کار گیرند(کی و همکاران[2]، ۲۰۲۰) همچنین می‌توان گفت سیل از جمله مخاطرات طبیعی است که دارای پیامدهای پیچیده مستقیم و غیرمستقیم جغرافیایی، اقتصادی، اجتماعی و اکولوژیکی است(مینیا[3]، ۲۰۱۳) رشد شهری برنامه‌ریزی نشده و مداخلات در روند جریان طبیعی آب معمولاً باعث افزایش خطر سیلاب‌های شهری می‌شود(داگلاس و همکاران، ۲۰۰۸) وقوع سیل علاوه بر اینکه تابع وقایع اقلیمی به‌ویژه مقدار، شدت، توزیع مکانی و زمانی بارندگی است، تحت تأثیر ویژگی‌های مختلف حوضه آبخیز مانند کاربری اراضی و دخالت انسان نیز است. افزایش سطوح نفوذ ناپذیر حوضه که ناشی از شهرسازی و احداث انواع سازه‌ها بر خاک‌های نفوذپذیر است، به‌طور طبیعی از میزان سطوح نفوذپذیر که قادر به جذب بخشی از بارندگی هستند، می‌کاهد (خالدی و همکاران، ۱۳۹۸). در واقع

[1] Tingsanchali
[2] Ke et al
[3] Minea

سیستم‌های سیل رودخانه‌ای بیشترین آسیب‌های طبیعی را بوجود می‌آورد که بر اساس آن اکثریت کشورهای جهان به‌طور مرتب تحت تأثیر قرار می‌گیرند. سیل بدلیل عوامل طبیعی یا ترکیبی از عوامل طبیعی و انسان ایجاد می‌شود خطر سیل همانند سایر مخاطرات می‌تواند به این صورت بیان شود (مخاطره یا ریسک خطر × آسیب پذیری) (یو و همکاران، ۲۰۲۲)

اصولاً در اکثر مناطق و به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک رودخانه‌ها و اراضی حواشی آن‌ها از اراضی وسوسه‌انگیز به‌شمار می‌روند و به‌خاطر نیاز شدید به آب، شهر به‌تدریج به سمت رودخانه کشیده می‌شود و اراضی جانبی آن را اشغال می‌کند. برنامه‌ریزان شهری باید تغییرات دوره‌ای رودخانه‌ها را مطالعه کنند؛ زیرا ممکن است یک رودخانه سال‌ها طغیان نکند و در دوره آرامش به سر ببرد و حتی مراکز مسکونی و صنعتی هم در حاشیه آن احداث شود ولی ناگهان دورهٔ طغیانی رودخانه شروع شود و خساراتی را به‌بار آورد. اصولاً رودخانه‌ها به لحاظ شرایط دینامیکی خود خطرات قابل توجهی را ممکن است به بار بیاورند و طغیان رودخانه‌ها بر کرانه‌ها هجوم می‌برند و بر اثر سرریز آب به داخل شهرها نفوذ می‌کنند که باعث مختل شدن فعالیت‌های روزمره مردم و وقوع خسارات سنگینی به شهرها می‌گردند. بنابراین در مواقع ایجاد سازه‌ها و تأسیسات و بناهای مسکونی باید به تمام خصوصیات رودخانه توجه داشت که در صورت عدم توجه به انجام مطالعات در این زمینه خسارات جبران ناپذیری رخ خواهد داد. (محمدنژاد و همکاران،۱۳۹۸: ۲۰۴)

کشور ایران یکی از بزرگترین مناطق سیل‌خیز در جهان است که در پنج دهه‌ی گذشته رشد ۲۵۰ درصدی خسارات ناشی از سیل کشور در موید این مدعاست (عباسی و همکاران، ۱۰۸:۱۳۹۶) ولی متأسفانه اکثر سیاست‌ها در کشور ایران برای برخورد با مشکلات آن می‌باشد و سپس نسبت به آن واکنش نشان داده می‌شود که این نحوه برخورد نادرست بوده و زیان‌های غیر قابل جبران به همراه دارد. یکی از مهم‌ترین وظایف مدیریت، تصمیم‌گیری است که مهمترین عنصر تصمیم‌گیری، اطلاعات مناسب است. اطلاعاتی که بتوان آینده را بهتر ترسیم نماید و منجر به تصمیم‌گیری بهتری خواهد شد. نقشه پهنه‌بندی پتانسیل خطر سیلاب یکی از ابزارهای مدیریت شهری است که در این روش مناطقی را که در زمان سیلاب بیشتر دچار آبگرفتگی می‌شوند را مشخص می‌کند. چنین روشی توانایی قابل ملاحظه‌ای جهت مدیریت سیلاب پیش از وقوع سیل و حتی مدیریت بحران در حین وقوع سیل و بازسازی پس از سیلاب در اختیار مدیران و کارشناسان مربوطه قرار می‌دهد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) از میان انواع مختلف تکنیک‌های MCDA برای به دست آوردن نقشه پتانسیل خطر سیلاب شهری در این مطالعه موردی انتخاب شد. این روش به طور گسترده برای حل مسایل چند معیاره استفاده می‌شود و کاربرد گسترده‌ای در تجزیه و تحلیل مخاطرات طبیعی دارد(دای و همکاران[1]، ۲۰۲۱، کولات و همکاران[2]، ۲۰۲۰). در همین راستا می‌توان گفت

[1] Dai et al
[2] Kolat et al

یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های شهرها در رویارویی با سیلاب‌های شهری، مدیریت آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب‌ها است که بهره‌گیری از مدل‌های کمی و کیفی و همچنین سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند به مدیریتی جامع منجر شود. همچنین روش تحلیل سلسله‌مراتبی در تلفیق با سیستم اطلاعات جغرافیایی یکی از انواع روش‌هایی است که با استفاده از آن جهت سنجش پهنه‌های در خطر سیلاب و به‌عنوان سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری سیلاب‌های شهری به‌کار گرفته شده است. شهر اهواز یکی از شهرهای جنوب غربی کشور است که از یک طرف به دلیل موقعیت جغرافیایی و رژیم بارندگی رگباری با شدت زیاد و مدت کم و از سویی دیگر، به دلیل رشد و توسعهٔ چشم‌گیر آن طی چند سال اخیر، با معضل بزرگی به نام سیلاب مواجه است. برای کنترل و مهار سیل در شهر اهواز، تا کنون نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب مورد توجه نبوده و در قالب طرح پژوهشی فعالیت چندانی صورت نگرفته است. بنابراین، برای پیش‌بینی دامنهٔ خسارت‌های ناشی از سیلاب و تدوین برنامه‌های کنترل و مهار سیلاب، تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل و آسیب‌پذیری سیلاب مهم و ضروری به نظر می‌رسد.

در زمینه سیلاب، پهنه‌بندی آن و مدل‌های بکار رفته در این زمینه تحقیقات داخلی و خارجی زیادی انجام شده‌است که در ادامه به بررسی جدیدترین مقالات پرداخته شده‌است: سهرابی و عفیفی(۱۴۰۲) در مقاله خود به پهنه‌بندی خطر زلزله در شهرستان بستک با استفاده از مدل FUZZY-AHP پرداخته‌اند که نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که توسعه فیزیکی شهر در طی دهه‌های گذشته تابع شرایط توپوگرافی بوده و مخاطرات و محدویت‌های ژئومورفولوژیکی بسیار زیادی در محدودهٔ مورد مطالعه وجود دارد؛ با توجه به نتایج تحقیق مکانیابی بهینه توسعه شهر پارامتر پمپ‌بنزین‌های مرکز شهر و زلزله به‌ترتیب بیشترین و کمترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند و مساحت بالایی از محدوده مطالعه در معرض خطر زیاد قرار دارد. کوزه‌گر کالجی و همکاران(۱۴۰۱) در مقاله خود به تحلیل فضایی آسیب‌پذیری کاربری های اراضی در برابر سیلاب شهر راز، استان خراسان شمالی پرداخته‌اند که نتایج پژوهش نشان داد، ۳۳ درصد از مساحت شهر راز در معرض آسیب‌پذیری زیاد ناشی از سیلاب قرار دارد که با توجه به کوچک بودن شهر و عدم وسعت سایر کاربری‌ها بیشترین آسیب‌پذیری مربوط به کاربری مسکونی است. این آسیب‌پذیری بیشتر به دلیل شیب زمین، کیفیت پایین ابنیه و همچنین عدم رعایت حریم رودخانه به‌عنوان مهم‌ترین علت در آسیب‌پذیری کاربری مسکونی است. عفیفی(۱۴۰۰) در مقاله خود به پهنه‌بندی مناطق مستعد توسعه شهری با تأکید بر محدودیت‌ها و مخاطرات ژئومورفولوژیکی پرداخته‌است که نتایج پژوهش وی نشان داد که توسعه فیزیکی شهرشیراز در طی دهه‌های گذشته تابع شرایط توپوگرافی بوده و مخاطرات و محدویت‌های ژئومورفولوژیکی بسیار زیادی در محدودهٔ مورد مطالعه وجود دارد؛ به‌طوری‌که جهت توسعه شهر مناسب نمی‌باشد و مناطق نامناسب از غرب شامل ارتفاعات دراک و از شمال غرب ارتفاعات بمو و محدوده رودخانه خشک به علت خطر سیل‌گیری و وجود گسل می‌باشد و تنها ۱۹ درصد از مساحت محدوده مورد مطالعه می‌باشد جهت

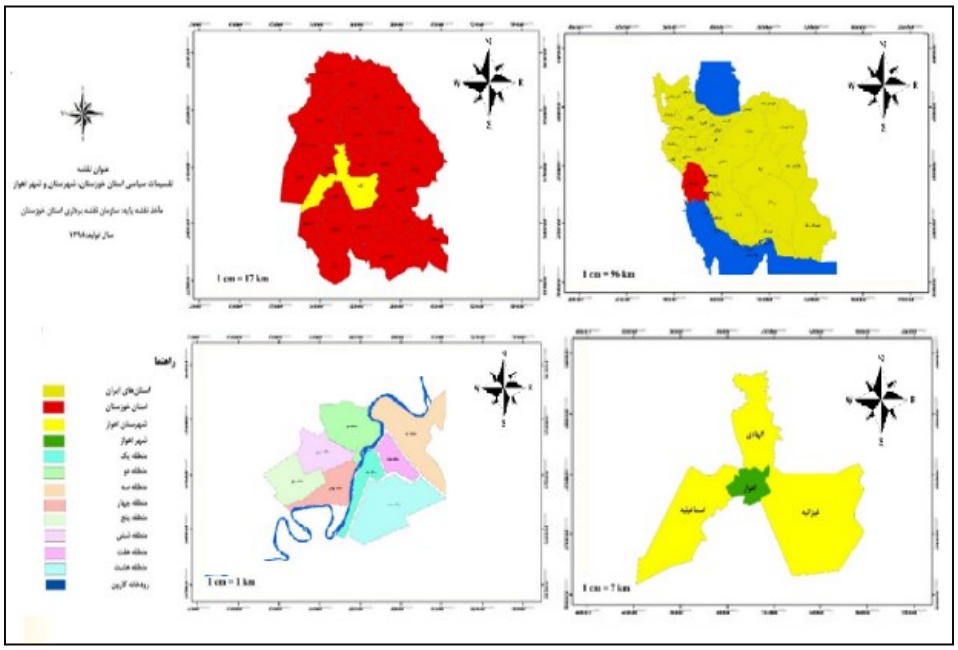
توسعه شهر مناسب بوده و همچنین با توجه به نتایج تحقیق مکانیابی بهینه توسعه شهر شیراز در جهت شرق می‌باشد. احمدی و همکاران(۱۴۰۰) در مقاله خود به شناسایی عوامل موثر بر آسیب‌پذیری سیلاب شهری بندرعباس با تاکید بر مدیریت رواناب شهری پرداخته‌اند که نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد تحلیل آسیب‌پذیری نشان داد که عامل تراکم جمعیت دارای بیش‌ترین اهمیت است و بخش‌های جنوبی و مرکزی این شهر و بلوک شهری شماره ۵، دارای آسیب‌پذیری بالاتری بوده و این بخش‌ها برای مدیریت رواناب شهری و آبگرفتگی در اولویت بالایی هستند. درفشی و همکاران (۱۳۹۹) در مقاله خود به ارائه‌ی الگویی در تحلیل و پهنه‌بندی سطح آسیب‌پذیری مناطق شهری در خطر سیلاب مناطق ۱۰ و ۲۲ شهر تهران پرداخته‌اند که نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که عامل تراکم جمعیت و تراکم شبکه‌ی آبراهه به ترتیب بیشترین و کم‌ترین وزن‌های معیار را در تهیه‌ی نقشه‌ی آسیب‌پذیری دارند. میزان آسیب‌پذیری برای دو منطقه‌ی ۱۰ و ۲۲ ، به ترتیب دو عدد ۸/ ۷ و ۶/ ۲ را نشان می‌دهد.حسام و همکاران (۱۳۹۸) در مقاله‌ی خود به بررسی پتانسیل‌سنجی خطر سیلاب شهری با رویکرد توسعه شهری ایمن ، شهر گنبدکاووس با روش تحلیل سلسله مراتبی AHP پرداخته‌اند که نتایج پژوهش وی نشان داد که قرارگیری این شهر در پهنه با پتانسیل خطر زیاد بوده همچنین نتایج حاصل و اتفاقات سیل اخیر حاکی از آسیب‌پذیری شهر گنبد ناشی از ریسک بیرونی سیلاب بوده‌است.سارما و همکاران (۲۰۲۰)، در مقاله به ارزیابی آسیب‌پذیری انسانی در برابر خطر سیل شهری با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخته‌اند نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که برای مقابله با پدیده سیل در شهرهای کشورهای در حال توسعه که فاقد منابع مالی هستند برنامه‌ریزی و شناسایی پهنه‌های در خطر شهرها ضروریست.کستاچه و همکاران (۲۰۲۰) ترکیبی جدید از فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی(FAHP) ، شاخص آنتروپی و ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی مناطق مستعد سیل در حوضه‌ی آبریز رومانی معرفی کردند. نتایج پژوهش آنان نشان داد همه‌ی مدل‌های هیبریدی عملکرد پیش‌بینی زیادی نسبت به مدل‌های مستقل دارند.فلونی و همکاران[1] (۲۰۱۹)، محدوده های سیل خیز منطقه ی آتیکا در یونان را با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در GIS شناسایی نمودند. آنها چارچوبی را پیشنهاد دادند که در آن عمدتاً داده‌هایی نظیر توپوگرافی پوشش زمین و مواردی از این دست در مطالعات مدنظر قرار گیرد.وانگ همکاران (۲۰۱۹) از روش‌های فرایند ارزیابی تصمیم‌گیری ساخته‌شده، فرایند تحلیلی شبکه، ترکیب خطی وزنی و تکنیک اعداد خشن فاصله به منظور تعیین مناطق حساس سیلاب در شهرستان شانگیو، چین استفاده کردند. نتایج پژوهش آنان نشان داد ترکیب روش فازی و روش ترکیب خطی وزنی برای مدلسازی سیلاب در منطقه‌ی مطالعه شده مؤثرتر است.اوما و تاتیشی (۲۰۱۴) با استفاده از روش تحلیل فرآیند سلسله مراتبی و سامانه GIS آسیب‌پذیری مناطق مستعد سیل‌خیزی پرداختند و نقشه مربوطه را در مقیاس شهری تهیه نمودند آن‌ها برای انجام این کار از لایه‌های

[1] Feloni et al.

اطلاعاتی توزیع، بارش، ارتفاع، شیب تراکم و شبکه زهکشی نوع خاک، پوشش اراضی و نوع کاربری بهره گرفتند بررسی منابع نشان می‌دهد که پژوهشگران در مناطق مختلف دنیا از روش‌های تصمیم‌گیری مختلف و GIS استفاده کرده‌اند.

معرفی محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شهر اهواز است، که از نظر جغرافیایی در ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی در جلگه‌ای با ارتفاع ۱۸ متر از سمت دریا قرار گرفته است وسعت شهر اهواز در محدوده قانونی شهری ۲۲۰ کیلومتر مربع است. این شهر دارای هشت منطقه است و بر اساس آمار سال ۱۳۹۵ شهر اهواز دارای ۱/۳۰۲/۵۹۱ نفر جمعیت بوده است (مرکز آمار،۱۳۹۵). شکل ۱ بیانگر محدوده جغرافیایی شهر اهواز می‌باشد.



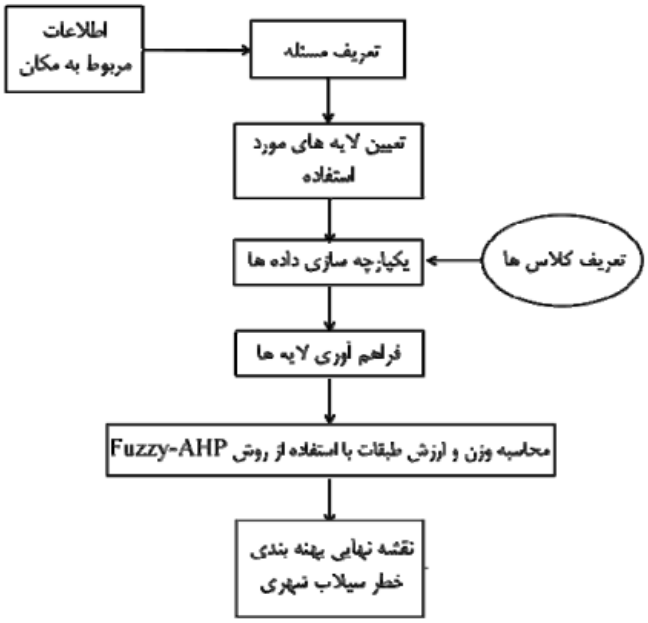
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهر اهواز.ترسیم کنندگان: نگارندگان، ۱۴۰۲

اقلیم شهر اهواز گرم و خشک است. مهم ترین منبع بارش در این شهر بادهای مرطوب مدیترانه‌ای و اطلسی‌اند که از سمت غرب و شمال شرقی می‌وزند. شهر اهواز به علت واقع شدن در مقر و شرایط خاص ژئومورفولوژیکی (از جمله وجود رودخانه کارون) از شهرهایی است که همواره در معرض خطر سیلاب قرار دارد از این‌رو ضرورت شناسایی مناطق پرخطر و اولویت‌دار در مواجهه با چنین پدیده‌ای و به‌عبارت دیگر پهنه‌بندی شهر از نظر میزان می‌شود.

روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر هدف‌گذاری کاربردی و از نظر روش‌شناسی به صورت توصیفی- تحلیلی است. برای

ریز پهنه بندی محدوده خطر سیلاب در شهر اهواز از مدل AHP که از بهترین روش‌ها در تصمیم گیری چند معیاره مکانی است استفاده شده‌است. این مدل با تلفیق امکانات GIS و داده‌های مختلف ابزار قدرتمندی در ریز پهنه‌بندی مخاطرات محیطی محسوب می‌شوند (محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۴). مراحل اجرای این تحقیق در شکل شماره (۲) ارائه شده‌است که شامل فراهم‌آوری داده‌های اولیه، آماده کردن آن‌ها در محیط GIS آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیل می‌شود.



شکل۲. روند نمای مراحل انجام تحقیق

- مدل رقومی ارتفاع (DEM) (با دقت ۱۰ متر سازمان نقشه برداری) کشور به منظور فراهم کردن لایه‌های تجمع جریان شیب و ارتفاع منطقه مورد مطالعه
- تصویر ماهواره های سنجنده TM ماهواره لندست. به منظور استخراج اراضی نفوذپذیر و نفوذناپذیر؛
- فایل رقومی شبکه آبراهه‌ها و زهکشی آب‌های سطحی در سطح شهر.
- در مرحله بعد وزن‌ها و ارزش‌های رتبه‌بندی به لایه‌ها

سه منبع اصلی داده به منظور فراهم کردن لایه های اطلاعاتی به شرح زیر استفاده شدند

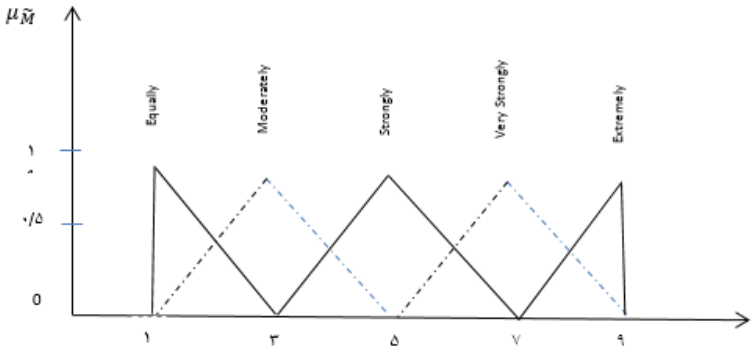
مراحل عملکردی و ساختار ریاضی مدل بکار رفته در پژوهش

براساس روش چانگ[1] تحلیل سلسله مراتبی فازی دارای مراحلی به شرح زیر است(عطایی، ۱۳۸۹: ۱۰۶):

مرحله اول: در این مرحله نمودار سلسله مراتبی ترسیم می‌شود.

[1] . Chang

مرحله دوم: در دومین مرحله اعداد فازی به منظور انجام مقایسه‌های زوجی تعریف می‌شوند. بر مبنای مطالعاتی که در این خصوص صورت گرفته است و نیز توصیه‌ای که چانگ ارائه می‌دهد، طیف فازی مورد استفاده در این پژوهش در قالب شکل شماره(۳) ارائه شده است



شکل شماره (۳) تابع عضویت فازی برای متغیرهای زبانی

مرحله سوم: در این مرحله ابتدا از تصمیم‌گیرندگان خواسته می‌شود تا عناصر هر سطح را نسبت به هم مقایسه نماید. گروه تصمیم‌گیرنده در این مرحله حدود ۳۰ نفر از کارشناسان امور شهری و مدیریت بحران بودند که از آن‌ها خواسته شد در زمینه شناسایی مهم‌ترین معیارهای سیل با توجه به اولویت آن‌ها و شرایط حال حاضر به اظهار نظر بپردازند. سپس جهت انجام تحلیل ها در محیط الگوریتم تحلیل سلسله مراتبی فازی به ترکیب و ادغام نظرات کارشناسان پرداخته شد. بر این اساس ماتریس مقایسه زوجی شکل می‌گیرد.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}$$

مرحله چهارم: در این مرحله مقدار S_i از طریق این رابطه محاسبه می شود:

$$S_i = \sum_{i=1}^{m} M_{gi}^{i} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{m} M_{gi}^{i} \right]^{-1}$$

که در این رابطه i شماره سطر و j شماره ستون است و :

$$\sum_{i=1}^{m} M_{gi}^{i} = \left(\sum_{i=1}^{m} l_i , \sum_{i=1}^{m} m_i , \sum_{i=1}^{m} u_i \right)$$

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{m} M_{gi}^{i} = \left(\sum_{i=1}^{n} l_i , \sum_{i=1}^{n} m_i , \sum_{i=1}^{n} u_i \right)$$

$$\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} M_{gi}^{i}\right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} l_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} u_i}\right)$$

مرحله پنجم: بزرگی دو عدد فازی $S_1 = (l_1, m_1, u_1)$ و $S_1 = (l_2, m_2, u_2)$ به این صورت تعریف می شود:

$$\begin{cases} 1 & \text{اگر } m_1 \geq m_2 \\ 0 & \text{اگر } u_2 \geq l_1 \\ \dfrac{l_2 - u_1}{(m_1 - u_1) - (m_2 - l_2)} & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

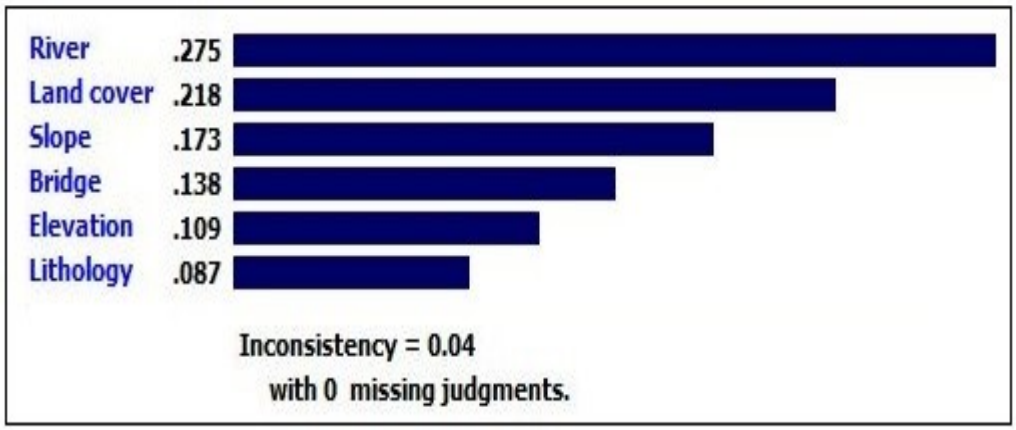
مرحله ششم: در این مرحله پس از محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس های مقایسه زوجی، بردار وزن نهایی بدست می‌آید. بردار وزن نهایی به صورت زیر بدست می‌آید:

$$w = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))$$

یافته‌های پژوهش

ارزیابی معیارهای شناسایی مکان‌های خطر سیلاب شهری

در پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی معیارهای تعیین شده از مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. این مدل با مقایسه زوجی بین معیارها بر اساس میزان اهمیت و تأثیر آن‌ها در ایجاد خطر سیلاب، معیارها را وزن‌دهی می‌کند برای این منظور معیارهای تعیین شده به صورت زوجی و سلسله مراتبی در قالب پرسشنامه تهیه شده و از ۲۵ نفر از کارشناسان و محققان مرتبط با سیلاب شهری تکمیل و در نهایت پس از محاسبه میانگین پرسشنامه‌ها، داده‌ها وارد نرم افزار ویژه مدل AHP نرم افزار Expert choice شده و وزن نهایی معیارها تعیین شده است (شکل۴).



شکل۴ : وزن نهایی لایه‌های اطلاعاتی بر اساس مدل AHP

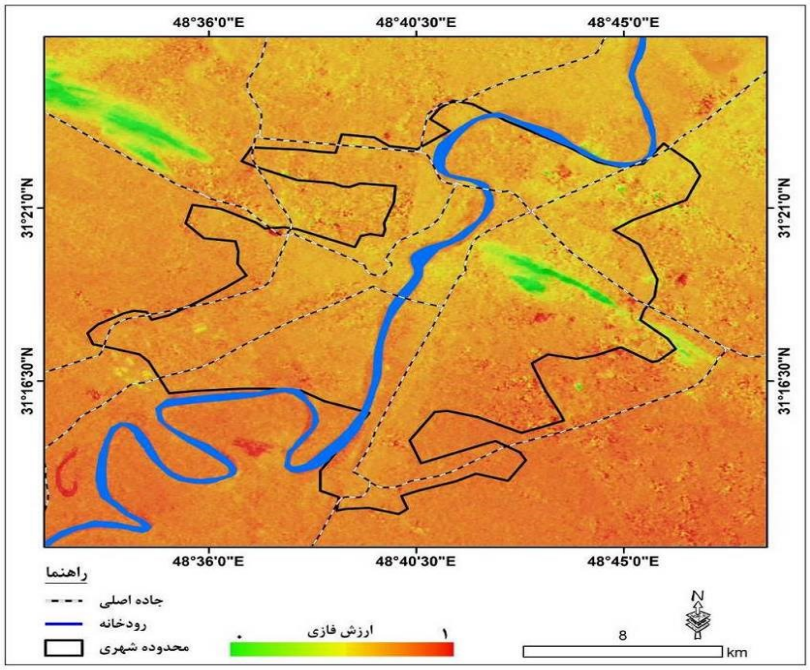
شکل شماره (۴) وزن نهایی معیارهای تاثیرگذار در شناسایی مکان‌های مستعد خطر سیل را نشان داده است. بر اساس این نتایج فاصله از رودخانه و پوشش زمین دارای بیشترین اهمیت و تاثیرگذاری می‌باشند. در نتایج ارزیابی شده معیارهای طبیعی شامل لیتولوژی و ارتفاع از ارزش و اهمیت کمتری برخوردار هستند.

تهیه لایه‌های اطلاعاتی برای مکان‌یابی خطر سیلاب شهری

پس از تعیین و ارزیابی معیارهای مکان‌یابی خطر، سیلاب در مرحله دوم لایه‌های اطلاعاتی برای هر یک از معیارهای خطر سیلاب در شهر اهواز و با توجه به شرایط این شهر تهیه شده است. این بخش شامل تهیه نقشه ها و لایه‌های اولیه شهر اهواز به ازای هر یک از معیارها و طبقه‌بندی لایه‌های اطلاعاتی اولیه بر مبنای میزان خطر سیل‌خیزی شهری اهواز با استفاده از روش منطق فازی در نرم افزار ARC GIS به‌منظور طبقه‌بندی و ارزیابی لایه‌ها از طریق منطق فازی می‌باشد.

لایه میزان ارتفاع

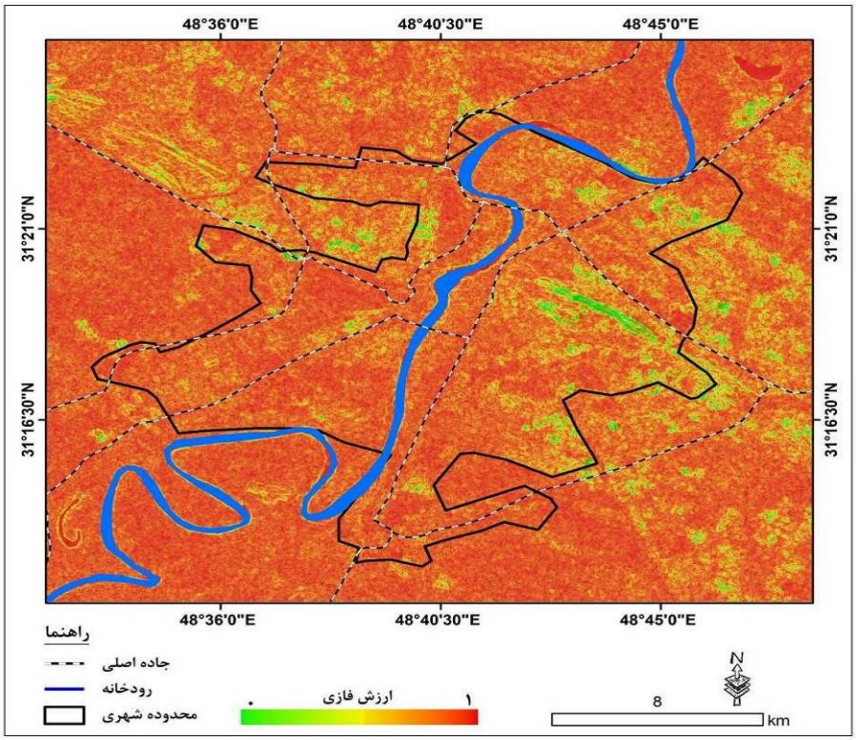
بررسی وضعیت ارتفاعی محدوده شهری و حاشیه شهری اهواز بیانگر این است که این محدوده بین ارتفاع ۱۳ تا ۸۹ متری از سطح دریا قرار دارد که در یک روند کلی، مناطق جنوبی آن داری ارتفاع کم‌تری است. با توجه به موارد مذکور، پس از تهیه لایه ارتفاعی منطقه مورد مطالعه، به مناطق کم ارتفاع، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق مرتفع، ارزش نزدیک به صفر داده شده‌است (شکل۵).



شکل ۵. نقشه فازی‌سازی شده ارتفاع منطقه مورد مطالعه

لایه میزان شیب

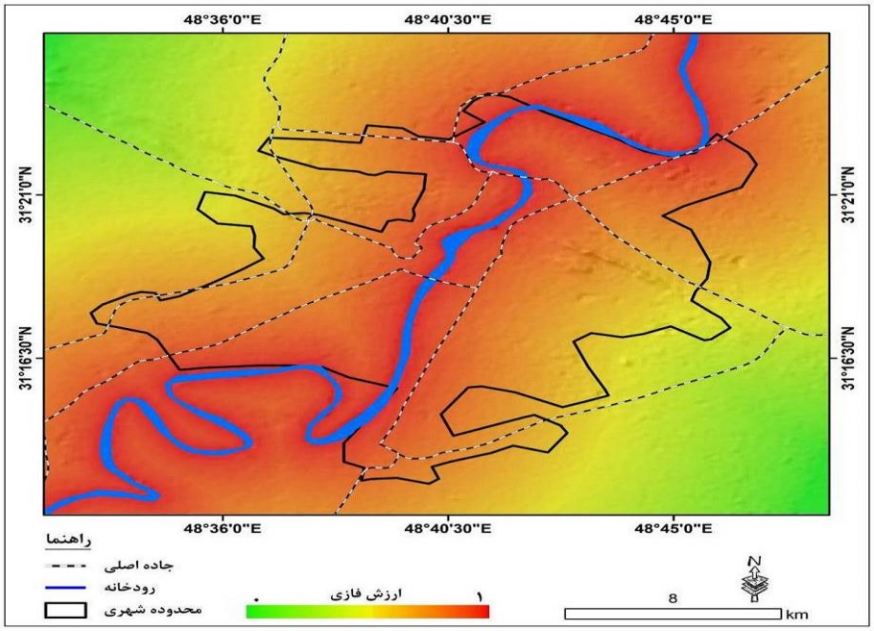
بررسی وضعیت شیب شهر اهواز بیانگر این است که بخش زیادی از وسعت این شهر را مناطق با شیب کم‌تر از ۵ درصد دربرگرفته است و همین مسئله یکی از دلایل پتانسیل بالای سیل‌خیزی آن است. با توجه به موارد مذکور، پس از تهیه لایه شیب منطقه مورد مطالعه، به‌منظور فازی‌سازی آن، به مناطق کم شیب، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق پرشیب، ارزش نزدیک به صفر داده شده است (شکل ۶)



شکل ۶. نقشه فازی‌سازی شده ارتفاع منطقه مورد مطالعه

لایه فاصله از رودخانه

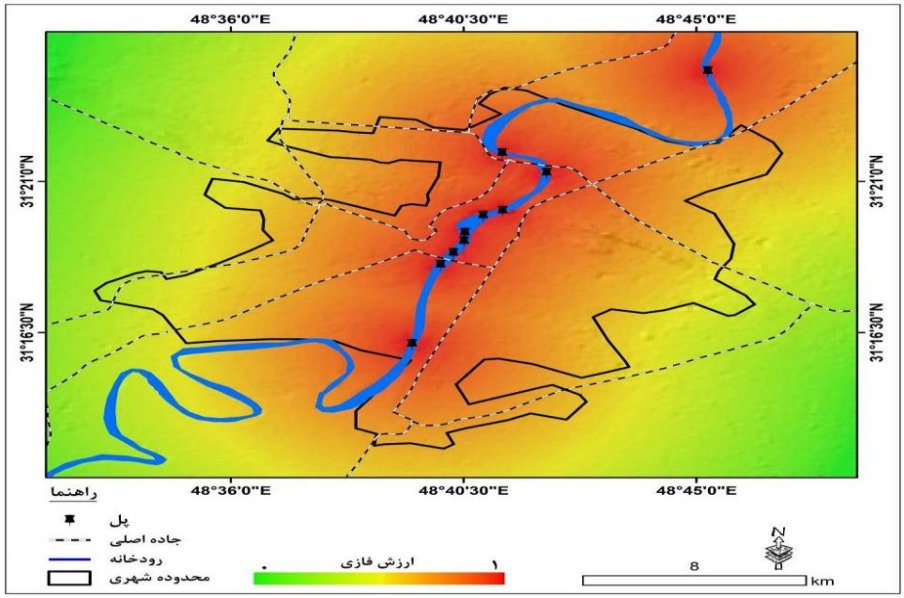
رودخانه کارون دارای پتانسیل سیل‌خیزی بالایی است. در شکل شماره (۷) نقشه فازی‌سازی شده رودخانه محدوده مطالعاتی نشان داده شده است که بر اساس آن به مناطق نزدیک به رودخانه، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق دور از رودخانه، ارزش نزدیک به صفر داده شده است.



شکل ۷. نقشه فازی‌سازی شده رودخانه منطقه مورد مطالعه

لایه پل‌های شهری

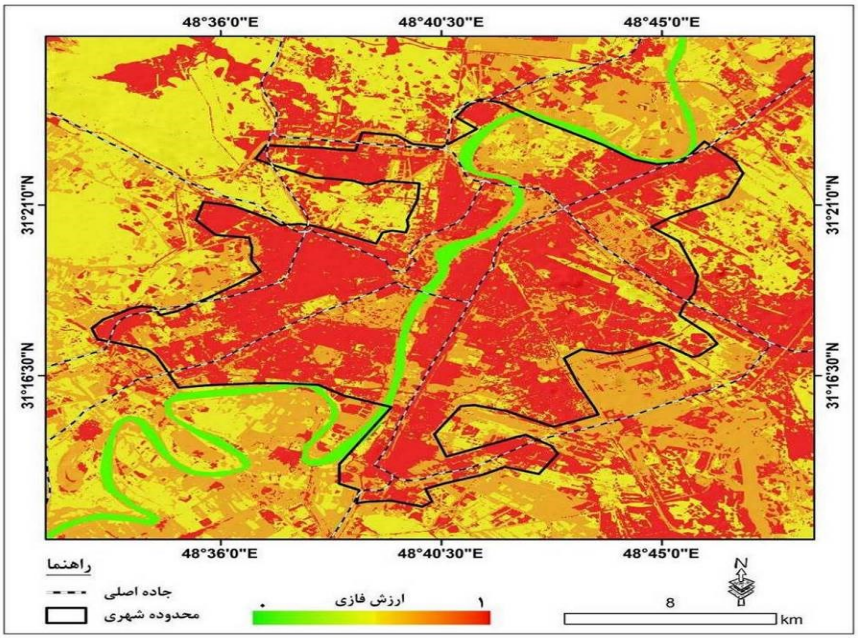
با توجه به این‌که در مناطق مجاور پل‌ها، معمولاً سرعت جریان کم می‌شود و تجمع آب زیاد، بنابراین مناطق مجاور پل‌ها دارای پتانسیل سیل‌خیزی بالایی هستند. در شکل شماره(۸) نقشه فازی‌سازی شده پل‌های محدوده مطالعاتی نشان داده شده‌است که بر اساس آن به مناطق نزدیک به پل، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق دور از پل، ارزش نزدیک به صفر داده شده‌است.



شکل ۸ نقشه فازی‌سازی شده پل‌های منطقه مورد مطالعه

لایه پوشش زمین

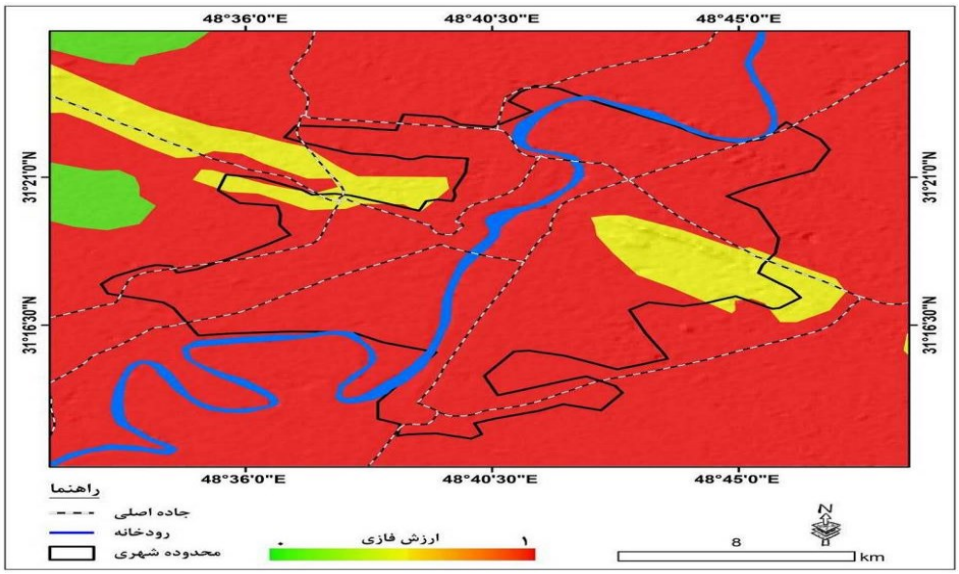
با توجه به این‌که هدف از این پژوهش، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر سیلاب است، بنابراین ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸، نقشه پوشش زمین در منطقه مورد مطالعه تهیه شده است. پس از تهیه نقشه پوشش زمین، بر اساس نظرات کارشناسان، به آن‌ها وزن داده شده است. برای این منظور، به مناطق سکونتگاهی ارزش ۰/۹، به اراضی کشاورزی ارزش ۰/۷، به مراتع و ارضی بایر ارزش ۰/۵ و به پهنه آبی ارزش ۰/۱ داده شده است (شکل ۹).



شکل۹. نقشه فازی‌سازی شده پوشش زمین منطقه مورد مطالعه

لایه لیتولوژی

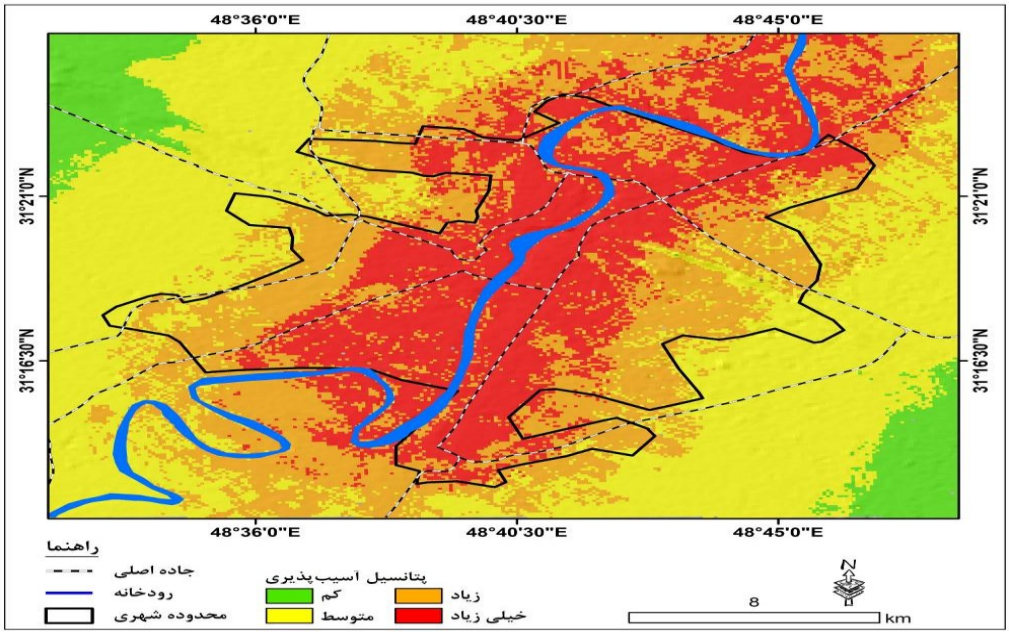
بررسی وضعیت لیتولوژی شهر اهواز نشان داده‌است که بخش زیادی از این محدوده را مواد آبرفتی دربرگرفته است که نسبت به تپه‌های ماسه‌ای و مناطق تشکیل شده از مارن و ژیپس دارای نفوذپذیری بیش‌تری هستند. با توجه به موارد مذکور، پس از تهیه لایه لیتولوژی منطقه مورد مطالعه، به‌منظور فازی‌سازی آن، به مناطق آبرفتی ارزش ۰/۵، به مناطق تشکیل شده از مارن و ژیپس ارزش ۰/۷ و به تپه‌های ماسه ای، ارزش ۰/۹ داده شده است (شکل ۱۰)



شکل ۱۰. نقشه فازی‌سازی شده لیتولوژی منطقه مورد مطالعه

تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

پس از فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی، وزن بدست آمده از طریق مدل AHP، بر روی لایه‌های اطلاعاتی اعمال شده است. پس از اعمال وزن هر لایه، لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از عملگر گامای فازی با هم ترکیب شده و در نهایت نقشه پتانسیل آسیب‌پذیری در برابر سیلاب در محدوده مطالعاتی تهیه شده است (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. نقشه پتانسیل آسیب‌پذیری شهر اهواز در برابر مخاطره سیلاب

بر اساس شکل(۱۱) تهیه شده، بخش‌های میانی شهر اهواز به دلیل نزدیکی به رودخانه کارون، ارتفاع و شیب کم و نوع پوشش زمین، دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی هستند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

شهر اهواز به‌دلیل وضعیت هیدرولوژی از جمله وسعت زیاد حوضه بالادست و داشتن رودخانه با دبی بالا همچنین به دلیل وضعیت توپوگرافی از جمله ارتفاع و شیب کم، دارای پتانسیل سیل‌خیزی بالایی است. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش با استفاده از مدل تلفیقی منطق فازی و AHP، به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر این شهر در برابر مخاطره سیلاب پرداخته شده است. نتایج این تحقیق نشان داده است که بخش زیادی از محدوده شهری اهواز دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی است. بر اساس نتایج حاصله، مناطق میانی شهر اهواز به دلیل نزدیکی به رودخانه کارون، داشتن شیب کم (کم‌تر از ۵ درصد)، ارتفاع کم و همچنین تراکم بالای نواحی سکونتگاهی، دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی است. با توجه به موارد مذکور، سیل از جمله مخاطراتی است که شهر اهواز را تهدید می‌کند، بنابراین لازم است تا اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای لازم جهت کنترل این مخاطره در شهر اهواز صورت گیرد. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق نشان داد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌توانند برای تخمین آسیب‌پذیری عناصر شهری و ارائه راهکارهای عملی در راستای کاهش آسیب‌پذیری کاربرد مطلوبی داشته باشند. این یافته با نتایج تحقیق سارما و همکاران (۲۰۲۰)، کستاچه و همکاران (۲۰۲۰)، احمدی و همکاران(۱۴۰۰)، درفشی و همکاران (۱۳۹۹)، حسام و همکاران (۱۳۹۸) مطابقت دارد تجزیه و تحلیل جامع آسیب‌پذیری سیل شهر اهواز اثبات کرد که بخش‌های میانی نزدیک به رودخته کارون آسیب پذیری سیل زیادی دارند که به دلیل تراکم جمعیت زیاد در این نواحی است و این بخش‌ها برای مدیریت رواناب شهری و پوشش گیاهی در اولویت بالایی هستند این یافته با نتایج پژوهش فلونی و همکاران (۲۰۱۹) ، اوما و تاتیشی (۲۰۱۴)، درفشی و همکاران (۱۳۹۹) و حسام و همکاران (۱۳۹۸) مطابقت دارد. از راهکارهای کاهش این آسیب پذیری بازسازی ساختمان‌هایی است که مقاومت کمی دارند و در مواقع رخداد سیلاب شهری ممکن است تخریب شوند یا آسیب جدی به آن‌ها وارد شود. بر اساس یافته‌های این ،تحقیق توزیع مکانی تراکم جمعیتی و تراکم شهری نامتوازن بود و این موضوع باید در برنامه های مدیریتی شهر اهواز لحاظ شود تا میزان تمرکز جمعیتی در مناطق دارای ریسک زیاد از جمله مناطق مسکونی اطراف رودخانه کارون کاهش یابد شناسایی مناطق شهری آسیب‌پذیر نسبت به سیل بر اساس فاکتورهای اقتصادی ،اجتماعی برای تدوین برنامه‌های مناسب برای کاهش سیلاب کافی نیست و باید در کنار آن به بررسی ریسک سیل در مناطق شهری و پهنه‌بندی آن پرداخته شود به این ترتیب پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی به تلفیق نتایج این دو فاکتور و تهیه نقشه پهنه‌بندی سیل پرداخته شود.

منابع

- احمدی، یوسف؛ بذرافشان، ام‌البنین؛ سلاجقه، علی؛ حلی ساز، ارشک؛ آذره، علی. (۱۴۰۰). شناسایی عوامل موثر بر آسیب‌پذیری سیلاب شهری بندرعباس با تاکید بر مدیریت رواناب شهری. اقتصاد و برنامه‌ریزی شهری, ۲(۳), ۲۳۶-۲۴۶.
- خالدی، ش.، قهرودی تالی، م. و فرهمند، ق.، (۱۳۹۸). سنجش و ارزیابی میزان تاب‌آوری مناطق شهری در برابر سیلاب‌های شهری(مطالعه موردی: شهر ارومیه)، فصلنامه توسعه پایدار محیط جغرافیایی: ۱(۲). ۱۵.
- درفشی، خه بات؛ عادلی، فاطمه؛ ملک محمدی, بهرام. (۱۳۹۹). ارائه ی الگویی در تحلیل و پهنه‌بندی سطح آسیب پذیری مناطق شهری در خطر سیلاب مطالعه‌ی موردی: مناطق ۱۰ و ۲۲ شهر تهران. مدیریت بحران، ۹(۱), ۱۶-۵.
- عباسی، حامد؛ شرفی، سیامک؛ مریانجی، زهره (۱۳۹۶) ، تحلیل فضایی مخاطرات ژئومورفیک تهدید کننده مجتمع های زیستی شهری در استان لرستان، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال چهارم، شماره ۲، صص ۱۲۵-۱۰۷.
- عبدالعظیمی، هادی, روشان, سید حسین, شمس‌نیا, سید امیر, شاهینی‌فر, حمیدرضا. (۱۳۹۹). شناسایی مناطق سیل‌خیز شهر شیراز با استفاده از TOPSIS-GIS. هیدروژئومورفولوژی, ۷(۲۵), ۱۳۹-۱۵۹.
- عفیفی, محمد ابراهیم. (۱۴۰۲). پهنه بندی مناطق مستعد توسعه شهری با تأکید بر محدودیت ها و مخاطرات ژئومورفولوژیکی (مطالعه موردی شهر شیراز). مخاطرات محیط طبیعی, ۱۲(۳۵), ۲۰-۱.
- قهرودی تالی, منیژه, مجیدی هروی, آنیتا, عبدلی, اسماعیل. (۱۳۹۵). آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب شهری (مطالعه موردی: تهران، درکه تا کن). جغرافیا و مخاطرات محیطی, ۵(۱), ۲۱-۳۶.
- کوزه‌گر کالجی، لطفعلی؛ رحمتی، نورالدین؛ اسماعیل‌زاده کواکی، علی. (۱۴۰۱). تحلیل فضایی آسیب‌پذیری کاربری‌های اراضی در برابر سیلاب (مطالعه موردی: شهر راز، استان خراسان شمالی). توسعه پایدار محیط جغرافیایی, ۴(۶)، ۱۴۴-۱۵۷.
- محمدنژاد, محمد, مختاری, لیلا, بهنیافر, ابوالفضل. (۱۳۹۸). پهنه بندی مخاطره سیلاب در حوضه رودخانه کلات (زیرحوضه منتهی به شهر کلات). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی, ۸(۳), ۲۲۱-۲۰۳.
- Dai, F.C., Lee, C.F. and Zhang, X.H., (2021). GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study. Engineering geology, 61(4), pp.257-271. 12.
- Douglas, I., Alam, K., Maghenda, M., Mcdonnell, Y., Mclean, L. and Campbell, J., 2008. Unjust waters: climate change, flood-in and the urban poor in Africa. Environment and Urbanization: 20(1), 187-205.
- Feloni, E., Mousadis, I., & Baltas, E. (2020). Flood vulnerability assessment using a GIS-based multi-criteria approach—The case of Attica region. *Journal of Flood Risk Management*, 13, 1-15.
- Ke, Q., Tian, X., Bricker, J., Tian, Z., Guan, G., Cai, H. and Liu, J., (2020). Urban pluvial flooding prediction by machine learning approaches–a case study of Shenzhen city, China. Advances in Water Resources, 145, 103719.
- Kolat, C., Doyuran, V., Ayday, C. and Süzen, M.L., (2020). Preparation of a geotechnical micro zonation model using geographical information systems based on multicriteria decision analysis. Engineering geology, 87(3), pp.241-255.

- Minea, G., 2013. Assessment of the flash flood potential of Basca river catchment (Romania) based on physiographic factors. Open Geosciences, 5(3), 344-353.
- Ouma, Y. O., & Tateishi, R. (2014). Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment. *Water*, 6(6), 1515-1545.
- Radmehr, A., & Araghinejad, S. (2015). Flood vulnerability analysis by fuzzy spatial multi criteria decision making. Water resources management, 29(12), 4427-4445.
- Sarmah, T., Das, S., Narendr, A. and Aithal, B.H., (2020). Assessing human vulnerability to urban flood hazard using the analytic hierarchy process and geographic information system. International Journal of Disaster Risk Reduction, 50, 101659.
- Tingsanchali.T (2012), Urban flood disaster management, Elsevier, Procedia Engineering 32, pp 25-37.
- Yue, Jun (2022). Urban Rivers: A Landscape Ecological Perspective, Hydrology Current Research, Volume 3, Issue 1, 1-6.