

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و چهارم، تابستان ۱۳۹۹

صص ۶۰-۴۳

DOI: <https://dx.doi.org/10.22067/geo.v9i2.86110>

مقاله پژوهشی

ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از مدل ترکیبی AHP-FUZZY با تأکید بر امنیت شهری  
(مطالعه موردی: منطقه یک کلان‌شهر تهران)

اسماعیل نجفی - استادیار دانشکده علوم زمین، گروه جغرافیای دانشگاه دامغان  
مرتضی کریمی کردآبادی<sup>۱</sup> - دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه جامع امام حسین (ع)

تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۳/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۳

### چکیده

سیلاب یکی از مخاطراتی است که هر سال خسارات مالی و جانی فراوانی را در جهان و ایران به دنبال دارد. کلان‌شهر تهران به عنوان پایتخت کشور ما و بزرگ‌ترین هسته جمعیتی، دارای اهمیت اقتصادی، اجتماعی و سیاسی زیادی است که توسعه، امنیت و پایداری شهری آن نیازمند توجه بسیار است. رویکرد انجام تحقیق توصیفی-تحلیلی، با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و مشاهدات میدانی و مدل ترکیبی AHP-FUZZY است که با به‌کارگیری نرم‌افزارهای ARC GIS و Expert Choice، نقشه پهنه‌بندی خطر سیل در منطقه یک تهران تهیه شده است. هدف از انجام این پژوهش شناسایی پهنه‌های دارای خطر سیل و تأثیر آن بر امنیت منطقه یک کلان‌شهر تهران است. نتایج نشان می‌دهد پهنه‌های خطر خیلی کم، خطر کم و متوسط در شمال و مرکز محدوده مورد مطالعه قرار دارند و پهنه‌های خطر خیلی زیاد و زیاد، منطبق بر نقاط خروجی حوضه‌ها و در محدوده شهری منطقه قرار دارند. با توجه به نقشه نهایی به دست آمده از پهنه‌بندی سیلاب و در راستای توسعه و امنیت شهری باید از ساخت‌وساز در محدوده‌های با خطر بسیار زیاد و زیاد و حریم مسیل‌ها و رود-دره‌های متعدد در منطقه یک تهران ممانعت به عمل آید. **کلیدواژه‌ها:** ارزیابی و پهنه‌بندی، خطر سیل، امنیت، مدل ترکیبی AHP-FUZZY، شهرداری منطقه یک تهران.

## ۱- مقدمه

کلان‌شهرهای امروزی، در نقاط مختلف دنیا به دلایل متعدد همواره در معرض آسیب ناشی از مخاطرات طبیعی قرار دارند. این مخاطرات که آسیب‌های جانی و مالی فراوانی را با خود به همراه دارند، نیازمند پیشگیری‌ها و اقدامات فوری هستند. بر مبنای برنامه استراتژیک بین‌المللی کاهش بلایای سازمان ملل متحد<sup>۱</sup>، کلیه مخاطرات دو منشأ متفاوت دارند: الف: مخاطرات طبیعی، ب: مخاطرات ناشی از فناوری یا مخاطرات ناشی از فعالیت انسان (سازمان پور و موسیوند، ۱۳۸۹) به نقل از (موس و پاترانکول<sup>۲</sup>، ۲۰۰۶: ۳۹۶). سوانح و مخاطرات طبیعی بخشی از طبیعت زیست هستند که در اثر ساخت‌وساز بی‌رویه انسان‌ها و هجوم افراد به مناطق پرخطر و نادیده گرفتن حریم‌های طبیعی، موجب بروز و تبدیل آن‌ها به بحران‌های فاجعه‌آمیز انسانی و اقتصادی شده است. یکی از عمده‌ترین مسائل و مشکلاتی که بیشتر کلان‌شهرهای جهان با آن دست به گریبان‌اند، مخاطرات طبیعی است. مخاطرات طبیعی و ژئومورفولوژیک، به ویژه سیل همواره سکونتگاه‌های بشر و جان انسان‌ها را تهدید می‌کند و در مدت کوتاهی می‌تواند خسارات و تلفات بسیار گسترده‌ای برجای بگذارد و در تداوم آن باعث ایجاد ناامنی در مناطق مختلف گردد. سیلاب از جمله بلایای طبیعی شناخته شده است که طبق گزارش جهانی برنامه عمران سازمان ملل در مورد خطر بلایای طبیعی، همراه با زلزله و خشکسالی بالاترین رتبه را از لحاظ خسارت مالی و جانی به همراه دارد (بهشتی راد و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۲). آنچه بر اهمیت وقوع رخداد سیل می‌افزاید، قرار گرفتن مراکز انسانی و شهری نظیر شهر تهران در محدوده‌های سیلابی است، وجود چنین مراکزی در محدوده حوضه‌های سیلابی علاوه بر این که موجب افزایش تولید رواناب می‌گردد، افزایش خسارات جانی و مالی را نیز به دلیل تراکم بالای جمعیت و تأسیسات به همراه دارد (طاهری بهبهانی و بزرگ‌زاده، ۱۳۷۵: ۴).

سیل یکی از مخاطرات طبیعی کلان‌شهر تهران است که قادر است با عملکرد تخریبی خود آثار زیر بنایی را بر جایی بگذارد و بی‌تردید ناپایداری‌های ناشی از عملکرد این عامل طبیعی در ابعاد امنیتی - انتظامی می‌تواند مشکلات زیادی را برای مدیران مربوطه ایجاد نماید. رشد و توسعه مناطق شهری آثار نامطلوبی در هیدرولوژی حوضه‌های آبریز بر جای گذاشته است. به‌طور مشخص از پیامدهای توسعه ناموزون فضاهای شهری و افزایش سطوح آسفالت و سیمانی، تشدید سیلاب‌ها، افزایش آلودگی در قسمت‌های پایاب، کاهش جریان‌ات پایه و کاهش تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی شهرها است. عوامل مختلفی باعث وقوع سیلاب و آب‌گرفتگی در مناطق شهری می‌شوند که مهم‌ترین آن‌ها؛ عوامل اقلیمی، عوامل هیدرولوژیکی، توسعه شهرنشینی و گسترش مراکز مسکونی و صنعتی، تغییر کاربری اراضی، دخل و تصرف غیر مجاز در بستر و حریم رودخانه‌ها، ساخت‌وسازهای بی‌رویه و مداوم و بدون ضابطه در خط القعرها، کوهپایه‌ها و مسیل‌ها، طراحی و اجرای غیر اصولی سازه‌های تقاطعی رودخانه، عدم وجود سیستم

1 International Strategy for Disaster Reduction  
2 and Pathranakul Mose

فاضلاب شهری و دیگر عوامل انسانی است (ملکی نژاد و اکرامی، ۱۳۸۹ به نقل از سازمان هواشناسی جهانی، ۲۰۰۸). علاوه بر موارد ذکر شده، علل سیل گیری شهرها دو منشأ، درون شهری (نامناسب بودن سیستم جمع آوری، عدم کشش (ظرفیت) سیلاب رودها و نامناسب بودن سیستم تخلیه آب) و برون شهری (طغیان رودخانه یا سیل، ناکافی بودن ظرفیت انتقال برای عبور سیلاب های متعارف، تشدید طغیان ها به دلیل کاربری های نامناسب در سطح حوضه آبریز و عدم مراعات طبقه بندی در حریم رودخانه ها) است (پور موسوی، ۱۳۸۴: ۱۷۷).

شهر تهران با وسعتی در حدود ۷۰۰۰ هزار هکتار، یکی از بزرگ ترین شهرهای جهان است، که دارای عوارض و مشخصات ویژه ای است. سیستم زهکشی، هدایت و جمع آوری آب های سطحی تهران دارای پیچیدگی هایی است که بیشتر ناشی از توسعه ناهمگون شهر و بدون توجه به معیارهای جامع شهرسازی بوده است. افزایش سطوح نفوذناپذیر در نتیجه توسعه شهری، رژیم هیدرولوژیک منطقه را تغییر داده که باعث تشدید سیلاب های شهری گردیده است و همین امر موجب شده تا در سال های گذشته شاهد اصلاح زهکش های اصلی شهر تهران در اثر عدم ظرفیت هیدرولیکی آن باشیم (شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۱۳۹۰). از جمله رخداد های سیلاب در شهر تهران می توان به سیلاب ۷ مرداد ۱۳۳۳ معروف به سیل امامزاده داوود اشاره کرد که با خسارات جانی فراوان همراه بوده است. سیلاب ۴ مرداد ۱۳۶۶ که در مناطق شمیران و مناطق شمالی تهران رخ داد، تعداد زیادی از ساکنین منطقه جان خود را از دست دادند (قنوتی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۲۲ به نقل از قربانی و همکاران، ۱۳۸۶: ۲). از موارد دیگر می توان به آب گرفتگی متروی تهران در اثر بارش های اواخر فروردین ماه ۱۳۹۱ اشاره کرد. (در حوضه آبریز مربوط به ناحیه وقوع حادثه (حوضه آبریز کن) برآورد تقریبی میانگین بارش باران در روزهای جمعه، شنبه، یکشنبه به ترتیب ۹،۲۷ و ۶ میلی متر (در مجموع ۴۲ میلی متر) بوده است که به طور متوسط می توان برای روزهای وقوع حادثه بارش را به میزان ۱۳،۶ میلی متر منظور نمود (خبرآنلاین، ۱۳۹۱). در واقع به دنبال این بارش باران و طغیان رودخانه کن، دیواره مسیل کنار ایستگاه مترو اکباتان شکسته و آب وارد این ایستگاه و سه ایستگاه دیگر خط ۴ شده که همین امر مسدود شدن این ایستگاه ها و ترافیک سنگین در مسیر انقلاب - آزادی را ایجاد کرده است.

کلان شهر تهران و منطقه یک آن، به دلیل وجود رود-دره ها و مسیل های متعدد دارای مخاطرات و محدودیت های ژئومورفولوژیک ناشی از سیلاب است. در این پژوهش با رویکرد توصیفی - تحلیلی، به ارزیابی و پهنه بندی مخاطره سیل در منطقه یک کلان شهر تهران پرداخته شده است. در زمینه پیشینه پژوهش در سطح جهان و ایران می توان به موارد زیر اشاره کرد:

فرانسیسکو و همکاران (۱۹۸۸<sup>۱</sup>) به منظور اتصال سیستم GIS با مدل های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی مناطق تحت تأثیر سیل رودخانه ها را بر روی نقشه ترسیم کردند. آن ها از GIS به عنوان ابزاری قدرتمند برای تکمیل و

1 Francisco and et al

تحلیل داده‌ها در مدیریت دشت‌های سیلابی یاد کردند. چن و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۱)، روش تحلیل خوشه‌ای فازی و شاخص‌های مساحت تحت تأثیر قرار گرفته، تعداد تلفات جانی، تعداد خانه‌های ویران شده و میزان خسارات اقتصادی مستقیم را در طبقه‌بندی خطر سیلاب در ۳۰ استان چین به‌کار برده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که روش تحلیل خوشه‌ای فازی روشی مناسب برای طبقه‌بندی خطر سیلاب است.

جیا و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۹)، پژوهشی را با عنوان پهنه‌بندی خطر سیل بر اساس فرایند تحلیلی سلسله‌مراتبی و مجموعه متغیرهای فازی انجام داده‌اند و در نهایت مناطق در معرض بیش‌ترین خطر سیل را نام برده‌اند. رحمتی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۹) در مقاله‌ای به بررسی پهنه‌بندی خطر سیل در منطقه یاسوج، ایران، با استفاده از GIS و تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاری پرداخته است، نتایج نشان داد که تکنیک AHP برای پیش‌بینی دقیق و قابل اعتماد برای میزان سیل نویدبخش است؛ بنابراین استفاده از AHP و GIS برای ارزیابی پتانسیل خطر سیل، به‌ویژه در مناطق بدون داده مناسب است. یودینگ و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۹)، در پژوهشی به ارزیابی خطر سیلاب با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و فازی (مطالعه موردی: بانگ رکام در تایلند) پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که مناطق بسیار خطرناک سیل در نزدیکی شبکه زهکشی یافت شده است. همچنین فاکتورهای تأثیرگذار مهم در معرض خطر سیلاب به ترتیب شامل؛ انباشت جریان، ارتفاع و نفوذ آب خاک (همان وزن)، فاصله از شبکه زهکشی، متوسط باران سالانه، تراکم زهکشی، کاربری زمین و شیب بوده است.

آل شیخ و همکاران (۱۳۸۱) از مدل‌های منطق بولین، شاخص همپوشانی و منطق فازی جهت تعیین مکان مناسب برای پخش سیلاب در حوضه آبخیز سمل استفاده نموده‌اند، نتایج حاصل از مقایسه نقشه‌های نهایی با عرصه‌های کنترلی نشان داده است که عملگرهای گامای ۰٫۱ و گامای ۰٫۲ و ضرب جبری از مدل منطق فازی بهترین مدل‌های تلفیق هستند. صراطی (۱۳۸۵) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود به مدل‌سازی و پهنه‌بندی سیل‌خیزی مناطق شهری در وب (منطقه مورد مطالعه: شمال تهران (دریوند) پرداخته است. حسین زاده و همکاران (۱۳۸۶) در مقاله‌ای به بررسی تأثیر گسترش شهر مشهد بر الگوی زهکشی طبیعی و تشدید سیلاب‌های شهری را مطالعه کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که اثرات مستقیم و غیرمستقیم شهر بر الگوی زهکشی طبیعی در محدوده گسترش شهر موجب تشدید سیل‌خیزی در این شهر گردیده است.

قهرودی (۱۳۸۶) به مدیریت سیلاب‌های شهری با طراحی "پایگاه داده" در شهر نور استان مازندران پرداخته است و به این نتیجه رسیده است که مدیریت سیلاب‌های شهری بدون ساختار یکپارچه از داده‌های مکانی امکان‌پذیر

1 Chen and et al

2 Jia and et al

3 Rahmati and et al

4 Yodying and et al

5 Geodatabase

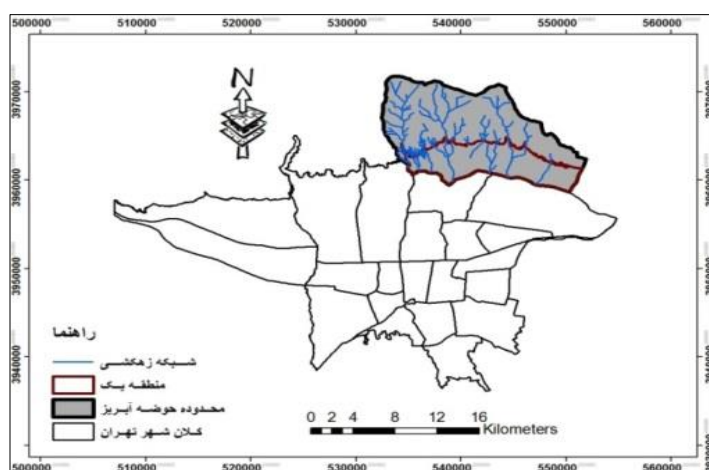
نیست. ساعد (۱۳۸۷) در پایان نامه خود به پهنه بندی خطر سیل خیزی در شهر سنندج پرداخته است که با همپوشانی لایه های مربوط به خطر سیل، در نهایت میزان خطر سیل را برای هر یک از کاربری ها محاسبه کرده است. صفاری و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله ای به ارزیابی آسیب پذیری مناطق شهری در برابر خطر سیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی (مطالعه موردی: منطقه ۳ تهران) پرداخته اند. نتایج تحقیق نشان می دهد که منطقه ۳ تهران مستعد خطرات ناشی از سیل است و رعایت نکردن حریم مسیل، کم بودن مقاومت ساختمان ها، ضریب رواناب بالا در مناطق مسکونی، تراکم و تعداد طبقات بالا و کم عرض بودن شبکه ارتباطی بیشترین اهمیت در آسیب پذیری منطقه را دارد و بیش از ۱۲ درصد از منطقه مورد مطالعه کاملاً آسیب پذیر است. قنواتی و همکاران (۱۳۹۱) به ارزیابی و پهنه بندی خطر رخداد سیلاب در حوضه فرحزاد (تهران) با استفاده از مدل فازی پرداخته اند. نتیجه پژوهش و نقشه نهایی پهنه بندی خطر سیل گیری نشان دهنده انطباق نواحی با خطر بسیار بالا در پایین دست حوضه بر دره اصلی فرحزاد است.

موسوی و همکاران (۱۳۹۵) در مقاله ای به بررسی ارزیابی و پهنه بندی خطر سیل خیزی با استفاده از منطق فازی TOPSIS در محیط GIS در حوضه آبخیز شهر باغملک پرداخته اند. نتایج برگرفته شده از نقشه پهنه بندی، نشان داد که ۱۷،۸۶ درصد از محدوده در طبقه با خطر بسیار بالا، ۲۴،۱۵ درصد در پهنه با خطر بالا قرار دارد. حمیدی و همکاران (۱۳۹۵)، پژوهشی را با عنوان تهیه نقشه خطر پذیری سیلاب در حوضه آبخیز شهری نور با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی انجام داده اند. نتایج حاصل از روش AHP نشان داد که ۱۰ درصد مساحت با سابقه رخداد سیل در کلاس های خیلی زیاد و زیاد واقع شده است و همچنین نتایج تابع عضویت گوسی بیشتر با گزارش های حاصل از وقایع رخداد سیل پیشین همخوانی دارد. خالدی و همکاران (۱۳۹۶)، ریز پهنه بندی و مقایسه ریسک سیلاب شهری با استفاده از مدل های تلفیقی عملگرهای فازی Arc GIS و تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: شهر ارومیه) پرداخته اند؛ بر اساس نتایج مدل Fuzzy AHP به کار رفته این در پژوهش، از کل مساحت شهر حدود ۱۱ درصد دارای پتانسیل بالای سیل خیزی است و این مساحت به طور دقیق تر و مشخص شده در سایر مناطق شهری گسترده شده است. محمودزاده و باکویی (۱۳۹۷)، در مقاله ای به پهنه بندی سیلاب با استفاده از تحلیل فازی در مورد شهر ساری پرداختند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که خطر سیل در مرکز و جنوب شهر از بیشترین مقدار برخوردار بوده است. شایسته و عابدیان (۱۳۹۸)، در پژوهشی به بررسی آثار تغییر کاربری اراضی حوضه آبریز زیارت در دوره زمانی ۲۱ ساله و در فاصله زمانی ۱۳۹۴-۱۳۷۳ بر عمق و حجم رواناب پرداخته اند.

## ۲- منطقه مورد مطالعه

شهر تهران در ۵۱ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است و ارتفاع آن از سطح آب های آزاد بین ۱۸۰۰ متر در شمال تا ۱۲۰۰ متر در مرکز

و ۱۰۵۰ متر در جنوب متغیر است. تهران در بین دو وادی کوه و کویر و در دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز گسترده شده است. از جنوب به کوه‌های ری و بی‌بی‌شهربانو و دشت‌های هموار شهریار و ورامین و از شمال توسط کوهستان محصور شده است (موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی، ۱۳۸۷). منطقه یک شهرداری تهران با مساحت ۳۶۰۴ هکتار، شمالی‌ترین منطقه تهران به شمار می‌رود به طوری که مرز شمالی آن بر مرز شمال تهران (خطوط ارتفاعی ۱۸۰۰ متر) منطبق است. این منطقه از غرب توسط رود - دره درکه با منطقه ۲، از جنوب توسط بزرگراه چمران، مدرس و صدر با منطقه ۳ و از جنوب شرقی توسط بزرگراه ازگل با منطقه ۴ شهرداری تهران هم مرز است. کاربری عمده در منطقه یک مسکونی است و حضور کاربری‌های فرامنطقه‌ای و فراشه‌ری به ویژه کاربری‌های دیپلماتیک و گردشگری در منطقه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و جمعیت آن همواره در حال افزایش است (مهندسین مشاور بافت شهر، ۱۳۸۴: ۲). این منطقه از عوارض طبیعی چون رود- دره، تپه و کوه‌هایی برخوردار است که از جهات گوناگون اسباب عدم توسعه و امنیت و یا در مواردی توسعه را فراهم آورده است شکل (۱).



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

### ۳- مواد و روش‌ها

رویکرد انجام تحقیق توصیفی-تحلیلی، با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای (Google Earth) و با به‌کارگیری نرم‌افزار GIS و مدل ترکیبی (AHP-FUZZY) انجام گرفته و در نهایت نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سیل در منطقه یک شهر تهران به دست آورده شد. معیارهای به کار گرفته شده جهت ارزیابی و پهنه‌بندی شامل، بارش، زمین‌شناسی (لیتولوژی)، فاصله از آبراه‌ها، شیب، ارتفاع و

کاربری اراضی در سطح منطقه است. برای انجام این پژوهش پس از شناسایی معیارهای مؤثر در رخداد سیل، اقدام به انجام مقایسات زوجی با استفاده از نرم افزار Expert Choice گردید. سپس به آماده سازی و مقیاس سازی و رستری کردن لایه‌ها و معیارها جهت فازی سازی آن‌ها با استفاده از توابع فازی نموده‌ایم. از میان این معیارها، ارتفاع و شیب از مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه استخراج شده‌اند مستقیماً ماهیت رستری داشته و نیازی به انجام رستری کردن نداشته‌اند. معیارهای کاربری اراضی و زمین‌شناسی چون به صورت برداری (وکتوری) هستند، در جدول اعداد توصیفی فیلدی تحت عنوان وزن فازی درست کرده و طبق آن رستری شده‌اند. معیار فاصله از شبکه زهکشی با استفاده از دستور (Euclidean Distance) به لایه رستری تبدیل شد. معیار بارش هم با استفاده از دستور درون‌یابی IDW به دست آمد که خود این لایه رستری است. در ادامه فرآیند فازی سازی هر کدام از لایه‌ها به صورت واضح تشریح شده است.

#### ۴- بحث و نتایج

پهنه‌بندی از جمله تحلیل‌های مکانی است که تأثیر فراوانی در کاهش هزینه‌های ایجاد و راه‌اندازی فعالیت‌های مختلف دارد به همین دلیل یکی از مراحل مهم و اثرگذار در پروژه‌های اجرایی به‌شمار می‌رود. برای اجرای یک پهنه‌بندی موفق، لازم است کلیه عوامل مؤثر در سطح منطقه مطالعاتی بررسی شود و پهنه‌های مناسب در قالب خروجی فرآیند پهنه‌بندی در اختیار مدیران و تصمیم‌گیرندگان نهایی قرار گیرد تا این افراد نیز بر اساس سیاست‌های موجود و اولویت‌های هریک از نتایج، گزینه‌های مناسب را انتخاب می‌کنند. تئوری مجموعه‌های فازی و منطق فازی به عنوان نظریه‌ای ریاضی برای مدل‌سازی و صورت‌بندی ریاضی ابهام و عدم دقت موجود در فرآیندهای شناختی انسانی ابزارهای بسیار کارآمد و مفیدی برای این منظور به‌شمار می‌رود (لوتسما<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵: ۶۶).

این نظریه که نخستین بار توسط پروفیسور لطفی زاده دانشمند ایرانی‌الاصل دانشگاه کالیفرنیا در سال ۱۹۶۵ مطرح شد، حوزه‌های بسیار از علوم مختلف و به ویژه دانش برنامه‌ریزی شهری و شهرسازی را فرا گرفته است (امینی فسخودی، ۱۳۸۴: ۴۱). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)<sup>۲</sup> یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری چندگانه است. این فرآیند یکی از روش‌های ارزیابی و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاری است که کاربرد وسیعی در علوم زمین و برنامه‌ریزی فضا و محیط دارد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در دهه‌ی ۷۰ میلادی به وسیله ساتی<sup>۳</sup> ابداع شد (ساتی، ۱۹۸۰)، بعدها به وسیله سایر محققین در ارزیابی‌ها و برنامه‌ریزی‌ها مورد استفاده قرار گرفت (کرم و محمدی، ۱۳۸۸: ۶۰). این تکنیک امکان فرموله کردن مسأله را به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسأله دارد (قدسی پور، ۱۳۸۵: ۵).

1 Lootsma

2 Analytic Hierarchy Process

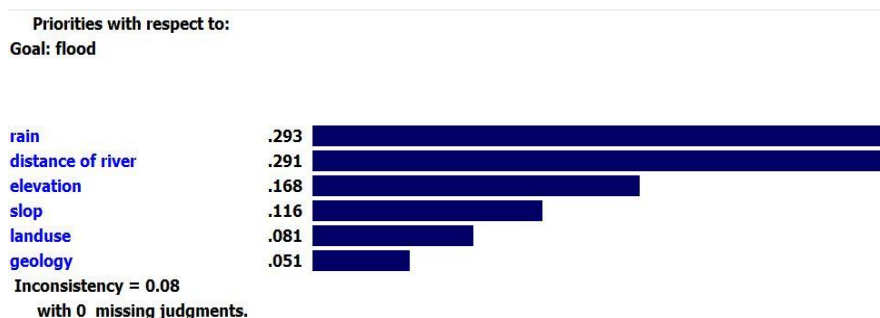
3 Saaty

در این پژوهش، بررسی و شناسایی عوامل مؤثر بر پهنه‌های مخاطره‌آمیز سیل و انتخاب روشی مناسب و مبتنی بر یافته‌ها و ابزار علمی، مورد توجه قرار گرفته و از سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان ابزاری توانمند در مدیریت و تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی استفاده شده است. سپس ضمن انتخاب و شناسایی معیارهای مناسب برای ارزیابی خطر سیل در منطقه یک کلان‌شهر تهران در راستای توسعه و امنیت شهری از ترکیب دو مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و منطق فازی استفاده گردید. مراحل این دو مدل به شرح زیر است: ۱- تعیین معیارها و زیر معیارهای پهنه‌بندی خطر سیل در منطقه یک؛ ۲- ارزش‌دهی به معیارها؛ ۳- ساخت لایه‌های اطلاعاتی برای معیارها؛ ۴- بهینه‌سازی (استانداردسازی یا فازی سازی) لایه‌های اطلاعاتی بر اساس منطق فازی؛ ۵- اعمال وزن نهایی به معیارها و ترکیب با لایه‌های فازی شده؛ ۶- پهنه‌بندی نهایی خطر سیل در منطقه یک کلان‌شهر تهران که نهایی گردید.

بر اساس مطالعات و پژوهش‌های صورت گرفته در مورد سیل خیزی، عوامل بسیاری در سیل‌خیزی دخیل هستند. بر اساس نظر کارشناسان این مخاطره و با توجه ویژگی‌های منطقه یک شهرداری تهران مهم‌ترین عواملی که زمینه بروز سیل در این منطقه را فراهم می‌کنند شامل، بارش، کاربری اراضی، شیب، ارتفاع، فاصله از شبکه زهکشی و زمین‌شناسی (لیتولوژی) هستند.

با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با استفاده از مقایسه‌های زوجی (از طریق تکمیل کردن تعداد ۱۰ پرسشنامه توسط خبرگان و کارشناسان) و تحلیل آن به کمک نرم‌افزار Expert Choice (انتخاب خبره) وزن نهایی هر یک از اجزای عناصر مؤثر در پهنه‌بندی خطر سیل در منطقه یک شهر تهران شناسایی گردید و در ادامه آمده‌اند، شکل (۲) و جدول (۱). استفاده از مدل فازی در کارهای پهنه‌بندی بر مبنای تحلیل‌های رستری (شبکه‌ای) است، لذا می‌بایست هر پیکسل در هر معیار با توجه تابع ایده‌آل ارزش عضویتی از صفر تا یک را به خود بگیرد. برای معیارهای پهنه‌بندی خطر سیل در منطقه یک از تابع فازی خطی (افزایشی و کاهش‌ی) (Linear) استفاده شده است. فازی سازی لایه‌های پهنه‌بندی خطر سیل، با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS10 و از مسیر زیر در محیط این نرم‌افزار انجام شده است:

Arc Map>Spatial analyst>overly> fuzzy membership> linear



شکل ۲- وزن نهایی به دست آمده برای شاخص‌های پهنه‌بندی مخاطرات سیل در منطقه یک شهر تهران

جدول ۱- مقایسات زوجی برای شاخص‌های پهنه‌بندی مخاطرات سیل در منطقه یک شهر تهران

	distance of	elevation	slop	landuse	geology	rain
distance of river		3.0	3.0	3.0	4.0	1.0
elevation			2.0	3.0	4.0	2.0
slop				3.0	3.0	5.0
landuse					3.0	3.0
geology						3.0
rain	Incon: 0.08					

۴-۱- فازی سازی لایه بارش: برای فازی سازی لایه هم بارش منطقه مورد مطالعه استفاده شده است (میانگین بارش در محدوده مورد مطالعه ۵۵۰ میلی‌متر و حداکثر بارش ۸۰۰ میلی‌متر است) و براساس اینکه با افزایش میزان بارش، میزان سیل‌خیزی بیشتر می‌شود، نوع تابع برای فازی سازی آن خطی افزایشی است که اطلاعات و نقشه فازی آن در شکل (۳) آمده است طبق آن هر چه از جنوب به سمت شمال پیش برویم بر میزان خطر سیل افزوده می‌گردد و امتیاز فازی سازی آن نیز بیشتر و نزدیک یک است.

۴-۲- فازی سازی لایه ارتفاع: برای فازی سازی لایه ارتفاع، بر اساس اینکه با افزایش میزان ارتفاع میزان سیل‌خیزی کمتر می‌شود، زیرا که بیش‌ترین رواناب و دبی در خط‌القعرها، نقاط خروجی حوضه‌ها و مناطق کم ارتفاع و شهری آسفالت‌شده وقوع می‌گردد و نوع تابع برای فازی سازی آن خطی کاهشی است، که اطلاعات و نقشه فازی آن در شکل (۴) آمده است. طبق این شکل مناطق کم ارتفاع و شهری دارای بیش‌ترین امتیاز و خطر سیل است و هرچه از شمال منطقه به سمت جنوب حرکت کنیم میزان سیل‌خیزی بیشتر می‌گردد.

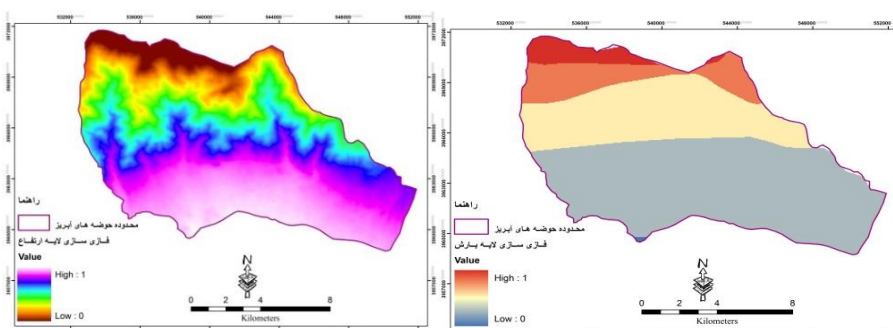
۴-۳- فازی سازی لایه شیب: برای فازی سازی لایه شیب، با توجه به اینکه با افزایش میزان شیب، میزان سیل‌خیزی کمتر می‌شود، زیرا که به دلیل شیب زیاد دامنه‌ها بیش‌ترین میزان حجم دبی و رواناب در محدوده شهری و خط‌القعرها ایجاد می‌شود. نوع تابع برای فازی سازی آن خطی کاهشی است که اطلاعات و نقشه فازی آن در شکل (۵) آمده است. طبق آن هر چه از شمال محدوده مورد مطالعه به سمت جنوب آن پیش برویم بر میزان خطر سیل افزوده می‌گردد و امتیاز فازی سازی آن نیز بیشتر و نزدیک یک است.

۴-۴- فازی سازی لایه زمین‌شناسی: برای فازی سازی لایه زمین‌شناسی، بر اساس اینکه با افزایش میزان مقاومت سازندها، میزان سیل‌خیزی بیشتر می‌شود زیرا که به دلیل نبود پوشش گیاهی و عدم نفوذپذیری مناسب، بارش رخ داده به صورت رواناب‌های سطحی ایجاد می‌گردد، نوع تابع برای فازی سازی آن خطی افزایشی اقدام شده که اطلاعات و نقشه فازی آن در شکل (۶) آمده است.

۴-۵- فازی سازی لایه فاصله از شبکه زهکشی: برای فازی سازی لایه فاصله از شبکه زهکشی، بر اساس اینکه با افزایش فاصله از شبکه زهکشی، میزان سیل‌خیزی کمتر می‌شود، نوع تابع برای فازی سازی آن خطی کاهشی است،

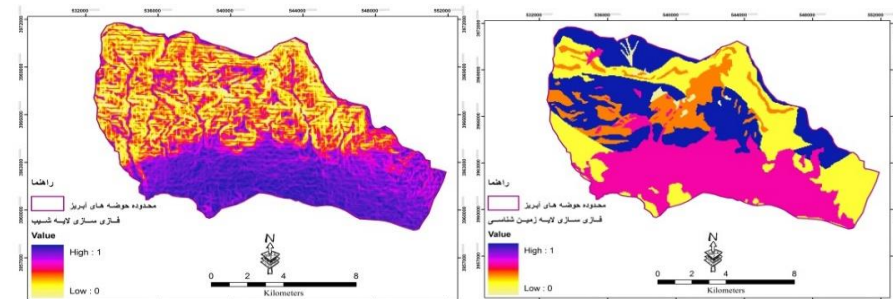
زیرا که اثر این مؤثر در وقوع سیل کم می‌شود. طبق آن مناطق و دامنه‌های مجاور شبکه‌های زهکشی بیشتر مستعد وقوع سیلاب می‌باشند. اطلاعات و نقشه فازی آن در شکل (۷) آمده است. طبق آن هر چه از شبکه‌های زهکشی فاصله بگیریم از میزان سیل‌خیزی کاسته می‌شود و امتیاز فازی سازی آن کمتر می‌شود.

۴-۶- فازی سازی لایه کاربری اراضی برای فازی سازی لایه کاربری اراضی، بر اساس اینکه هر چه کاربری‌های شهری و پوشش گیاهی فقیر بیشتر باشد، میزان سیل‌خیزی بیشتر می‌شود، نوع تابع برای فازی سازی آن خطی افزایشی اقدام شده که اطلاعات و نقشه فازی آن در شکل (۸) آمده است. طبق آن کاربری‌های شهری و سطوح آسفalte دارای بیش‌ترین امتیاز جهت فازی سازی بوده است.



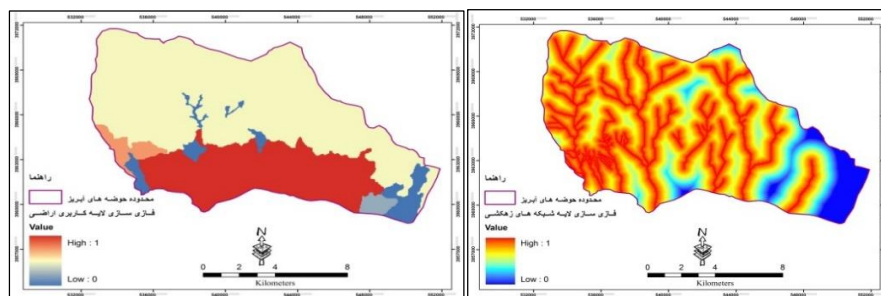
شکل ۳- نقشه فازی سازی لایه بارش

شکل ۴- نقشه فازی سازی لایه ارتفاع



شکل ۶- نقشه فازی سازی لایه زمین‌شناسی

شکل ۵- نقشه فازی سازی لایه شیب



شکل ۸- نقشه فازی سازی کاربری اراضی

شکل ۷- نقشه فازی سازی فاصله از شبکه زهکشی

## ۵- پهنه‌بندی خطر سیل و تحلیل آن

عوامل متعددی در بروز سیل نقش دارند که می‌تواند هم از عوامل انسانی و هم از عوامل طبیعی پیروی کنند. در این پژوهش پس به دست آوردن وزن لایه‌ها در نرم‌افزار Expert Choice و فازی سازی آن‌ها، با استفاده از دستور raster calculator و spatial analyst نتایج را محاسبه و سپس class Re شده‌اند، در نهایت این لایه را به پنج طبقه خطر تقسیم گردید و به این ترتیب نقشه پهنه‌بندی خطر سیل به دست آمده است.

$$([river] * 0.291) + ([slop] * 0.116) + ([landuse] * 0.081) + ([geology] * 0.051) + ([demfinal] * 0.168) + ([rain] * 0.293)$$

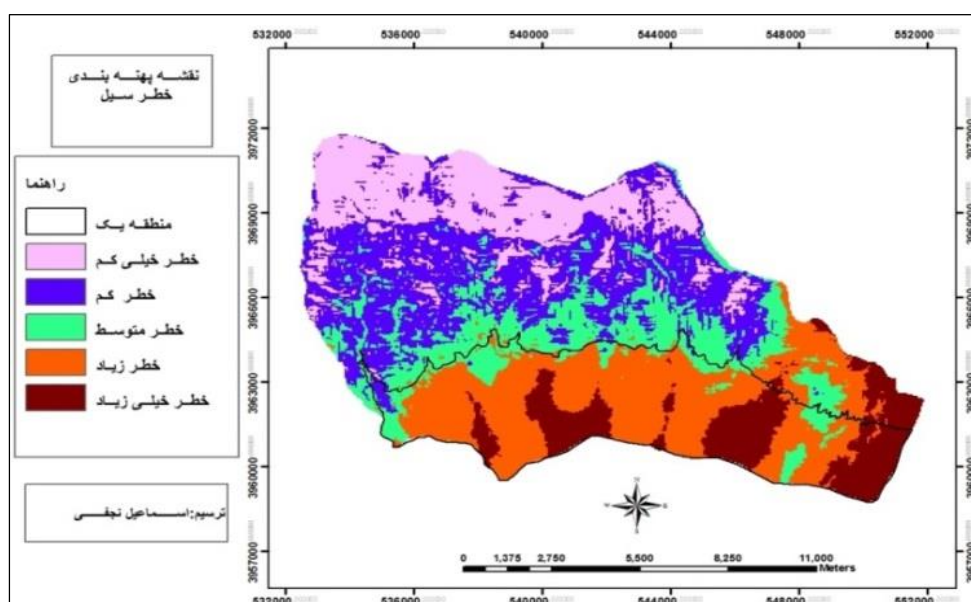
همانگونه که در شکل (۹) و جدول (۲) آمده است، نقشه پهنه‌بندی خطر سیل نشان می‌دهد که مناطق دارای خطر خیلی زیاد و زیاد که ۴۹ درصد محدوده مورد مطالعه را در بر می‌گیرد، بیشتر منطبق بر محدوده شهری منطقه یک و بستر مسیل‌ها و منطبق بر شبکه‌های زهکشی و نقاط خروجی حوضه‌های آبریز مسلط بر منطقه یک می‌باشند. ولی مناطق کم خطرتر بیشتر منطبق بر قسمت‌های شمالی و مرکزی محدوده و مناطق دارای پوشش گیاهی می‌باشند. با توجه به مشخصات فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها و بررسی دیگر پارامترهای مورد مطالعه نشان می‌دهد، هر چه از بالادست و شمال حوضه‌ها به سمت پایین دست و جنوب حوضه‌های آبریز در منطقه مورد مطالعه حرکت کنیم به میزان خطر سیلاب افزوده می‌گردد (شکل ۹).

## ۵-۱- پیامدهای امنیتی رخداد سیل در کلان‌شهر تهران و منطقه یک

امنیت از اساسی‌ترین نیازهای بشر و در اولویت زندگی جمعی جوامع بشری می‌باشد. مجموعه کارکردهای فردی و اجتماعی در تأمین امنیت و پایداری آن در اشکال مختلف سکونت‌گاه‌ها و معیشت انسان‌ها تبلور یافته است. بی‌ثباتی، زمینه‌ساز بحران و مرحله آغازین ناپایداری‌ها است. از این رو تلاش جوامع انسانی به برقراری ثبات، توأم با هزینه‌های سنگین بوده است. از میان عوامل گوناگون شکل‌دهنده بحران امنیتی، مخاطرات محیطی (از جمله وقوع سیلاب) از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است گرچه پیامد ثانویه عملکرد مخاطرات محیطی موجب بحران امنیتی در سکونت‌گاه انسانی است، لیکن شناخت روند حاکم بر شکل‌گیری بحران در فضای شهری ناشی از آن دغدغه اصلی مدیران شهری به‌شمار می‌آید. از آنجایی که آسیب‌پذیری کلان‌شهرهای کشورهای در حال توسعه، فضای امنیتی را در مقیاس ملی تحت تأثیر شدید خود قرار می‌دهد، در کلان‌شهر تهران و منطقه یک به دلیل تمرکز شدید سیاسی-اداری، اجتماعی-فرهنگی و اقتصادی آسیب‌پذیری فوق‌العاده‌ای را در پی خواهد داشت.

شهر تهران به عنوان یک کلان‌شهر و پایتخت ایران، با جمعیتی در حدود ۱۳ میلیون نفر است که با قرارگیری در معرض ارتفاعات و حضور رود-دره‌های متعدد (کن، فرحزاد، درکه، دربند، ولنجک، گلابدره و دارآباد) و بارش نسبتاً زیاد (میانگین بارش ۵۵۰ میلی‌متر)، و مداخلات انسانی (دخل و تصرف و تجاوز به حریم رود - دره‌ها و مسیل‌ها (شکل‌های ۱۰ تا ۱۲).

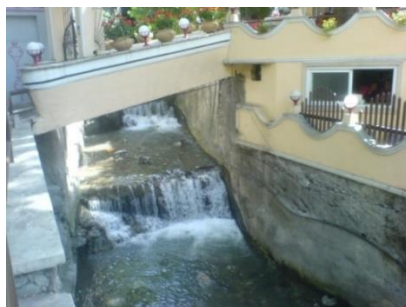
افزایش سطوح آسفالته و نفوذناپذیر شهر، تبدیل حوضه‌های طبیعی به حوضه‌های تلفیقی، متأثر و مستعد وقوع پدیده سیلاب است (رخداد سیلاب‌های قبلی از جمله سیلاب سال ۱۳۶۶ گلابدره و تجریش و آبگرفتگی متروی تهران در اثر بارش‌های اواخر فروردین ماه ۱۳۹۱) (در مجموع ۴۲ میلی‌متر))، در صورت وقوع چنین مخاطره‌ای، علاوه بر ایجاد خسارات مالی و جانی فراوان، آبگرفتگی خیابان‌ها و معابر، ایجاد ترافیک، می‌تواند مشکلات و تبعاتی برای کلان‌شهر تهران در پی داشته باشد که منجر به هرج و مرج و تضعیف امنیت و توسعه در کلان‌شهر تهران و به تبع آن پهنه سرزمینی ایران گردد. برای کمک به رفاه و امنیت شهروندان و جلوگیری از بروز ناامنی و هرج مرج بعد از وقوع چنین مخاطره‌ای نیازمند به‌کارگیری و اجرای رویکرد سیستمی (حوضه‌ای) و رعایت فاصله از حریم مسیل‌ها و به‌کارگیری متخصصان مختلف و از جمله ژئومورفولوگ‌ها است.



شکل ۹- نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سیل در منطقه یک

جدول ۲- مساحت و درصد مساحت طبقات خطر سیل در منطقه یک (محاسبات نگارندگان)

طبقات خطر سیل	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
خطر خیلی کم	۱۳	۱۰
خطر کم	۳۰	۲۱
خطر متوسط	۲۹	۲۰
خطر زیاد	۴۷/۵	۳۳
خطر خیلی زیاد	۲۳/۵	۱۶



شکل‌های ۱۰- تجاوز به حریم مسیل و رود- دره دربند و کانال تجریش



شکل‌های ۱۱- ساخت‌وسازو تجاوز به حریم مسیل و رود- دره‌های دارآباد و ولنجک



شکل ۱۲- تجاوز به حریم مسیل و رود-دره‌های دارآباد و ولنجک و ساخت‌وساز در حریم آنها

#### ۶- نتیجه‌گیری

سیلاب یکی از مخاطراتی است همه ساله خسارات مالی و جانی فراوانی را در جهان و ایران به دنبال دارد. برای جلوگیری از رخداد و خسارات سیلاب، باید مناطقی را شناسایی کرد که دارای پتانسیل بالایی در ایجاد این پدیده است. وقوع چندین سیلاب در تهران که در برخی موارد با خسارات جانی و مالی همراه بوده است نشان دهنده ضرورت مطالعه جامع در زمینه سیلاب در حوضه‌های بالادست شهر تهران از جمله حوضه‌های آبریز منطقه یک است. عوامل متعددی در بروز سیل نقش دارند که می‌تواند هم از عوامل انسانی و هم از عوامل طبیعی پیروی کنند. همان‌گونه که در شکل (۹) و جدول (۲) آمده است، نقشه پهنه‌بندی خطر سیل نشان می‌دهد که مناطق دارای خطر

خیلی زیاد و زیاد که ۵۰ درصد محدوده مورد مطالعه را در بر می‌گیرد، بیشتر منطبق بر محدوده شهری منطقه یک و مسیل‌ها و منطبق بر شبکه‌های زهکشی و نقاط خروجی حوضه‌های آبریز مسلط بر منطقه یک می‌باشند. ولی مناطق کم‌خطرتر بیشتر منطبق بر قسمت‌های شمالی و مرکزی محدوده و مناطق دارای پوشش گیاهی می‌باشد. به‌طور کلی، هر چه از بالادست و شمال حوضه‌ها به سمت پایین دست و جنوب حوضه‌های آبریز منطقه حرکت کنیم، به میزان خطر سیلاب افزوده می‌شود. با توجه اینکه، هر چه زمان تمرکز کمتر باشد، زمان رسیدن دبی اوج کوتاه‌تر می‌گردد و خطر سیلاب خیزی افزایش می‌یابد، حوضه‌های جمشیدیه، ولنجک، سعدآباد، گلابدره و ازگل دارای خطر سیلاب خیزی بیشتری هستند. با توجه به نقشه نهایی به دست آمده از پهنه‌بندی سیلاب و در راستای توسعه و امنیت شهری باید از ساخت و ساز در محدوده با خطر بسیار زیاد و زیاد و حریم مسیل‌ها و رود-دره‌های متعدد در منطقه یک (درکه، ولنجک، دربند، سعدآباد، گلابدره، جمشیدیه، جمشیدیه میانی و پایین، دارآباد، باقلا زار و ازگل) ممانعت به عمل آید. همچنین این رود-دره‌های متعدد، که به عنوان تفرجگاه‌های عامه مردم تهران شناخته شده می‌شوند و افراد بسیاری در ایام تعطیل آن را به عنوان محلی برای گذراندن اوقات فراغت خود انتخاب می‌کنند. در چنین شرایطی رخداد سیلاب با خسارات بسیاری همراه خواهد بود. بنابراین، توصیه می‌شود که اماکن و سفره‌خانه‌های سنتی که در این حوضه‌ها دایر شده‌اند و اغلب حریم رودخانه‌ها و مسیل‌ها را رعایت نکرده‌اند به مکان‌های کم‌خطرتر انتقال داد. با توجه به عوامل مخاطره‌زا و محدودیت‌هایی که ناشی از عوامل محیطی در محدوده کلان‌شهر تهران و منطقه یک آن وجود دارد، باعث افزایش دخالت‌ها و دخل و تصرف انسان در محیط طبیعی و پیشروی به سمت دامنه‌ها و تجاوز به حریم مسیل‌ها گردیده است. به دلیل وجود عوامل طبیعی و انسانی، وقوع سیلاب در محدوده مورد مطالعه می‌تواند علاوه بر ایجاد خسارات جانی و مالی، منجر به ناامنی و سلب رفاه و آسایش شهروندان گردد. در محدوده مطالعاتی پنج شاخه اصلی رودخانه (مسیل و آبراهه) و سه شاخه فرعی وجود دارد. از آنجایی که بیش‌ترین تراکم شبکه زهکشی در قسمت غربی حوضه وجود دارد که متعلق به رودهای درکه، ولنجک و دربند است و کمترین پهنه تراکمی در شرق حوضه قرار دارد که شامل رودهای جمشیدیه و مقصودبیک است و از سوی دیگر، قسمت‌های مرکزی فاقد شبکه تراکم زهکشی است، می‌توان گفت قسمت‌های مرکزی محدوده شهری، دارای پتانسیل سیلاب خیزی کمتری نسبت به سایر قسمت‌ها است. بستری که منطقه یک بر آن واقع شده است، بستر رودخانه‌های متعدد و ادامه حوضه‌های آبریز بالادست آن‌ها است و گسترش شهر بر چنین بستری سیلابی می‌تواند منجر به خسارت و سلب امنیت و توسعه شهری گردد، موید این امر وقوع سیلاب مرداد ماه ۱۳۶۶ در شمیران و گلابدره بوده است که منجر به خسارات زیاد جانی و مالی شد. مسیل‌های شهر تهران و منطقه یک آن، پس از ورود به دشت تهران، مسیر آن‌ها پوشش‌دار شده و در عین حال که دارای مسیر هندسی منظم از جنس بتون شده‌اند، زمین‌های حاشیه و حریم طبیعی آن‌ها با خاک‌های دستی و زباله به مرور زمان محدود و تبدیل به اراضی مسکونی شده است که به نوعی حریم مسیل

محدود گردیده است. همچنین پوششدار کردن مسیل‌ها از بدو ورود به دشت تهران، باعث کاهش نفوذ پذیری آن‌ها و قطع تغذیه آبخوان‌های زیرزمینی از سویی و سیل‌خیزی آن‌ها از سوی دیگر شده است. همچنین از مشکلات دیگر، تبدیل کانال ایجاد شده به مجرای دریافت پساب‌ها، هرزآب‌ها و زباله‌های شهری است که توأم با انباشت رسوب سیلاب‌ها در مقاطع مختلف کانال با گذشت زمان، می‌تواند به محل مناسبی جهت انباشت آلودگی‌ها گردد. در نهایت اینکه، به دلیل قرارگیری دامنه‌ها و ارتفاعات مسلط بر شهر و منطقه یک و شیب بین صفر تا ۶۴ درصد و وجود دامنه‌های عریان و عاری از پوشش گیاهی و سازندهای سست و هوازده و دخالت عوامل انسانی (تجاوز به حریم مسیل‌ها و پوششدار کردن آن‌ها، تلفیق حوضه‌های طبیعی و ساختوساز در آن‌ها، افزایش سطوح آسفالته و شهری) و به دنبال آن وجود رودخانه‌ها و مسیل‌های متعدد و بارش نسبتاً زیاد، پدیده سیلاب یکی از مهم‌ترین عوامل و مخاطرات ژئومورفولوژیک محدودکننده توسعه و امنیت منطقه یک شهر تهران محسوب می‌شود. وقوع سیل در این منطقه می‌تواند موجب بروز و تبدیل به بحران فاجعه آمیز انسانی و اقتصادی و باعث ایجاد ناامنی در سطح منطقه یک و کلان‌شهر تهران شود.

#### ۷- ارائه پیشنهادها

باتوجه مطالعات و تحلیل‌های انجام گرفته، پیشنهادها و راهکارهای ایمن سازی در برابر خطر سیل به شرح ذیل پیشنهاد می‌گردد:

- ۱- نگرش سیستمی و حوضه‌ای به مخاطره سیلاب.
- ۲- پیشنهاد می‌گردد تحقیقاتی در مورد نقش عوامل انسانی (تجاوز به حریم مسیل‌ها و افزایش سطوح آسفالته و ...) مؤثر در بروز خطر سیل در شهر تهران و منطقه یک صورت گیرد.
- ۳- احداث حوضچه‌های تاخیری و بندهای.
- ۳- احداث رسوبگیرهای متعدد در بستر مسیل‌های اصلی قبل از ورود به محدوده شهری.
- ۴- تعیین محدوده‌های دارای پتانسیل سیل‌خیزی در مسیل‌های شهر و تدوین ضوابط و مقررات ساخت‌وساز در انواع کاربری‌ها با در نظر گرفتن خطر سیل‌خیزی.
- ۵- اصلاح و تکمیل سیستم زهکشی و جمع‌آوری آب‌های سطحی به منظور افزایش توان عبور آب کانال‌ها، پل‌ها و کالورت‌ها.
- ۶- اجرای طرح مطالعاتی و حفاظتی و هشدار سیل در حوضه آبریز رودخانه‌های مشرف به شهر تهران.
- ۷- آزادسازی بستر و حریم رودخانه‌ها و مسیل‌های شهر تهران به منظور تأمین گذر جریان‌های حاصل از بارش‌ها.
- ۸- مکان‌یابی صحیح مراکز امداد رسانی و امنیتی و نظامی در جهت کاهش تبعات ناشی از بروز سیل.

## کتابنامه

- اصغری مقدم، محمدرضا؛ ۱۳۷۸. جغرافیای طبیعی شهر (۱) ژئومورفولوژی. تهران، نشر مسعی.
- آل شیخ، علی اصغر؛ سلطانی، محمدجعفر؛ هلالی، حسین؛ ۱۳۸۱. کاربرد GIS در مکان یابی عرصه‌های پخش سیلاب. تحقیقات جغرافیایی، دوره ۱۷. شماره ۴ (پیاپی ۶۷)، ۲۲-۳۸.
- امینی فسخودی، عباس؛ ۱۳۸۴. کاربرد استنتاج منطق فازی در مطالعات برنامه‌ریزی و توسعه منطقه‌ای. مجله دانش و توسعه، شماره ۱۷، نیمه دوم سال ۱۳۸۴، ۳۹-۶۱.
- بهشتی راد، مسعود؛ فیض نیا، سادات؛ سلاجقه علی؛ احمدی، حسن؛ ۱۳۸۸. بررسی کارایی پهنه‌بندی زمین‌لغزش فاکتور اطمینان (CF): مطالعه موردی حوضه آبخیز معلم کلایه. نشریه جغرافیای طبیعی، دوره ۲، شماره ۵، ۱۹-۲۸.
- حمیدی، نعمت‌الله؛ وفاخواه، مهدی؛ نجفی، اکبر؛ ۱۳۹۵. تهیه نقشه خطرپذیری سیلاب در حوزه آبخیز شهری نور با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز سال هفتم، شماره ۱۴. پاییز و زمستان ۱۳۹۵، ۱۱-۱۹.
- خالد، شهریار؛ ملکی، سعید؛ فرهمند، قاسم؛ ۱۳۹۶. ریز پهنه‌بندی و مقایسه ریسک سیلاب شهری با استفاده از مدل‌های تلفیقی عملگرهای فازی ARC GIS و تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: شهر ارومیه). مطالعات عمران شهری. دور اول. شماره سوم. زمستان ۱۳۹۶، ۶۵-۷۷.
- خورسندی آقائی، احمد؛ عبدالی، منیژه؛ ۱۳۸۵. پوششدار کردن مسیل‌های شهری، کاهش حریم آن‌ها و عواقب آن: مطالعه موردی مسیل‌های شهر تهران. اولین همایش ملی مهندسی مسیل‌ها (کال‌ها)، مشهد.
- ساسان‌پور، فرزانه؛ موسیوند، جعفر؛ ۱۳۸۹. تأثیر عوامل انسان‌ساخت در تشدید پیامدهای مخاطرات طبیعی در محیط‌های کلان‌شهری با کاربرد Fuzzy Logic و GIS (مطالعه موردی: منطقه ۵ تهران). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۳، بهار ۱۳۸۹، شماره ۱۶، ۲۹-۴۹.
- ساعد، عذرا؛ ۱۳۸۷. پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی در شهر سنندج. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم. دانشکده علوم انسانی.
- شایسته، کامران؛ عابدیان، سحر؛ ۱۳۹۸. ارزیابی درازمدت اثرات هیدرولوژیک تغییر کاربری اراضی بر میزان رواناب سالانه در حوضه آبریز زیارت. فضای جغرافیایی. دوره ۱۹، شماره ۶۶، ۴۳-۶۱.
- شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس؛ ۱۳۹۰. طرح جمع‌آوری آب‌های سطحی تهران. جلد چهارم: بررسی شبکه موجود آب‌های سطحی. قسمت اول بررسی وضعیت موجود.
- صفاری، امیر؛ ۱۳۷۸. قابلیت‌ها و محدودیت‌های ژئومورفولوژیکی کلان‌شهر تهران به منظور توسعه و ایمنی. رساله دکتری جغرافیای طبیعی-ژئومورفولوژی. دانشگاه تهران. دانشکده جغرافیا.
- صفاری، امیر؛ ساسان‌پور، فرزانه؛ موسیوند، جعفر؛ ۱۳۹۰. ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر خطر سیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی مطالعه موردی منطقه ۳ تهران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۲۰، ۱۲۹-۱۵۰.

- طاهری بهبهانی، محمد طاهر؛ بزرگزاده، مصطفی؛ ۱۳۷۵. سیلاب‌های شهری. تهران: مرکز مطالعات و تحقیقات شهر سازی و معماری ایران.
- قدسیپور، سیدحسن؛ ۱۳۸۱. مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره: فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). انتشارات دانشگاه علم و صنعت.
- قنواتی، عزت‌الله، کرم، امیر؛ آقاعلیخانی، مرضیه؛ ۱۳۹۱. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر رخداد سیلاب در حوضه فرحزاد (تهران) با استفاده از مدل فازی. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳، پیاپی ۴۸. شماره ۴، ۱۳۸-۱۲۱.
- قهرودی، منیژه؛ ۱۳۸۶. سیلاب شهری با طراحی Geodatabase، مطالعه موردی: شهر نور در استان مازندران. دومین کنفرانس مدیریت جامع بحران در حوادث غیر مترقبه.
- کرم، امیر؛ محمدی، اعظم؛ ۱۳۸۸. ارزیابی و پهنه‌بندی تناسب زمین برای توسعه فیزیکی شهر کرج و اراضی پیرامونی بر پایه فاکتورهای طبیعی و روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). فصلنامه جغرافیای طبیعی. سال اول. شماره ۴، ۷۴-۵۹.
- محمودزاده، حسن؛ باکویی، مانده؛ ۱۳۹۷. پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از تحلیل فازی (مطالعه موردی: شهر ساری). مخاطرات محیط طبیعی. دوره ۷. شماره ۱۸، ۶۸-۵۱.
- ملکی نژاد، حسین؛ اکرامی، محمد؛ ۱۳۸۹. بررسی جنبه‌های مختلف هیدرولوژی شهری و غیرشهری. کنفرانس ملی مدیریت سیلاب شهری، تهران. تیر ماه ۱۳۸۹.
- مهندسین مشاور بافت شهر؛ ۱۳۸۴. تهیه الگوی توسعه و طرح تفضیلی منطقه و همکاری با شهرداری منطقه یک. معاونت شهرسازی و معماری شهرداری تهران.
- موسوی، سیده‌معصومه؛ نگهبان، سعید؛ رخشانی‌مقدم، حیدر؛ حسین‌زاده سیدمحسن؛ ۱۳۹۵. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی با استفاده از منطق فازی TOPSIS در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهر باغملک). نشریه مخاطرات محیط طبیعی. دوره ۵. شماره ۱۰، ۷۹-۹۷.

- Chen J., Shufang Zhao, Huimin Wang., 2011. Risk Analysis of Flood Disaster Based on Clustering Method" Energy Procedia, Volume 5: 1915-1919.
- Francisco, N. C, Rego, F. C, Gracasaiva M.D, Ramos, I., 1998. Coupling GIS with Hydrologic and Hydrolic Flood Modelling Management, Water Resources Management, 12: 229-249.
- Junxia Jia; Xinyi Wang; Naima A. M. Hersi; Wei Zhao., 2019. Flood-Risk Zoning Based on Analytic Hierarchy Process and Fuzzy Variable Set Theory, Natural Hazards Review, Vol. 20, Issue 3 (August 2019).
- Lootsma, F.A., 2005. Fuzzy Logic for Planning and Decision Making. Dordrecht, kluwer Academic Publisher.
- Mose, T. L, Pathranakul, P., 2006. An Integrated Approach to Natural Disaster Prevention and management, Vol 15, No 3, Emerald Group Publishing Limited.
- Rahmati, O, Zeinivand, H., Besharat. M.2015. Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis, Geomatics, Natural Hazards and Risk, DOI: 10.1080/19475705.2015.1045043.

- Saaty. T., 1980. The analytical hierarchical process: planning, priority setting resource allocation. New York. Mc Graw-Hill, pages 1-20.
- World Meteorological Organization., 2008. Urban flood risk management a tool Integrated Flood Management, Technical document NO.11, Flood Management tools series.
- Yodying.A, Seejata.K, Chatsudarat.S Chidburee.P, Mahavik.N, Kongmuang.CH, Tantanee.S., 2019. FD Flood Hazard assessment using Fuzzy analytic hierarchy process: A case study of Bang Rakam model in Thailand. The 40th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS 2019) October 14-18, 2019 / Daejeon Convention Center (DCC), Daejeon, Korea.