

پهنه‌بندی مناطق حساس و آسیب پذیری محیطی در منطقه یک کلان شهر تهران با روش طبقه‌بندی فازی و فرایند سلسله مراتبی

رعنا نوروزی طیولا^{۱*}، یوسف بینایی^۲

۱- کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۲- کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، شهرداری ایزدشهر

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۱۸

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۳/۱۲

چکیده

کلانشهرهای امروزی، در نقاط مختلف دنیا به دلایل متعدد همواره در معرض آسیب ناشی از مخاطرات طبیعی قرار دارند، که افزایش خسارات جانی و مالی را نیز به دلیل تراکم بالای جمعیت و تأسیسات به همراه دارد. این امر نوعی چالش را از لحاظ مخاطرات شهری برای برنامه‌ریزان در پی خواهد داشت. منطقه یک کلان شهر تهران با قرارگیری در معرض دامنه ارتفاعی متفاوت، گسل‌ها و رودخانه‌های شمال تهران و کاربری شهری مستعد و تشدیدکننده خطر، دارای مخاطرات و محدودیت‌های ژئومورفولوژیک متنوعی است که لازم است به‌منظور کاهش آن اقدامات اولیه‌ای صورت پذیرد. در این مطالعه سعی گردید با بکارگیری از داده‌های حاصل از مدل سازی معیارها و لایه‌های موثر محیطی با روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و طبقه‌بندی با روش فازی تحلیل گردد و به کمک تحلیل فضایی بالای سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) میزان آسیب پذیری محیطی ناحیه مورد توجه قرار گیرد و پهنه‌بندی گردد. بنابر نتایج حاصل از محاسبات انجام شده میزان آسیب پذیری منطقه دو کلان شهر تهران با مدل ترکیبی AHP-Fuzzy بر مبنای وزن‌های محاسبه شده تعیین شد. نواحی ۳، ۸ و ۴ آسیب پذیرترین بخش‌های شهر در برابر مخاطرات طبیعی است؛ در صورتی که نواحی ۱ و ۲ کم‌ترین آسیب پذیری را در برابر وقوع مخاطرات محیطی دارند. نقشه پهنه‌بندی آسیب پذیری نشان می‌دهد که ۲۸/۲۲ درصد از کل منطقه تحت‌تأثیر آسیب پذیری با رده زیاد است که بیشترین مساحت این رده در ناحیه ۳ واقع شده است و محلات گلابدره، دربند و تجریش را بیشتر در بر می‌گیرد این در حالیست که منطقه یک کلان شهر تهران به علت ساخت و ساز شهری غیر اصولی بدون توجه به شبکه زهکشی طبیعی با افزایش سطوح با نفوذ ناپذیر کم و غیر قابل نفوذ باعث کاهش نفوذ آب حاصل از بارش و افزایش رواناب گردیده است.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی آسیب پذیری، مسیل‌های شمال تهران، منطقه یک تهران، روش فازی.

مقدمه

قبلاً تصور می‌شد وقوع حوادث و بلایای طبیعی در مناطق شهری آثار و پیامدهای کمتری در مقایسه با مناطق روستایی دارد. اما امروزه با توجه به تغییرات مشخص که در ساختار و سازمان شهرها به وجود آمده، آنها را در برابر مخاطرات محیطی ضربه‌پذیر کرده است (عسگری، ۱۳۸۲) و میلیاردها تومان خسارت به اموال انسان وارد می‌کند. مسر (۱۳۸۲) معتقد است در سال ۲۰۲۵ بیش از ۵ میلیارد نفر در نواحی شهری جهان زندگی خواهند کرد که ۸۰ درصد این افراد در شهرهای کشورهای کمتر توسعه یافته سکونت خواهند داشت و افزایش خسارات جانی و مالی را نیز به دلیل تراکم بالای جمعیت و تأسیسات به همراه دارد. این امر نوعی چالش را از لحاظ مخاطرات شهری برای برنامه‌ریزان در پی خواهد داشت. امروزه استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در برنامه‌ریزی شهری، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری و مکان‌یابی مناسب را برای عملگردهای شهری فراهم می‌آورد. در این میان استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی براساس منطق فازی از انعطاف بیشتری برخوردار می‌باشد؛ بنابراین با شناسایی و پهنه‌بندی مناطق پرمخاطره می‌توان تا حدی از وقوع مخاطرات و خسارات ناشی از آن کاست. منطقه یک کلان شهر تهران با قرارگیری در معرض دامنه ارتفاعی متفاوت، گسل‌ها و رودخانه‌های شمال تهران و کاربری شهری مستعد و تشدیدکننده خطر که دارای مخاطرات و محدودیت‌های ژئومورفولوژیک متنوعی است، لازم است به‌منظور کاهش آن اقدامات اولیه‌ای صورت پذیرد. در این پژوهش با رویکرد توصیفی-تحلیلی، به ارزیابی آسیب‌پذیری در منطقه یک کلان‌شهر تهران، پرداخته می‌شود و به دنبال پاسخ به این سؤال است که فرایندها و مخاطرات ژئومورفولوژیک محدودکننده‌ی توسعه و امنیت منطقه یک

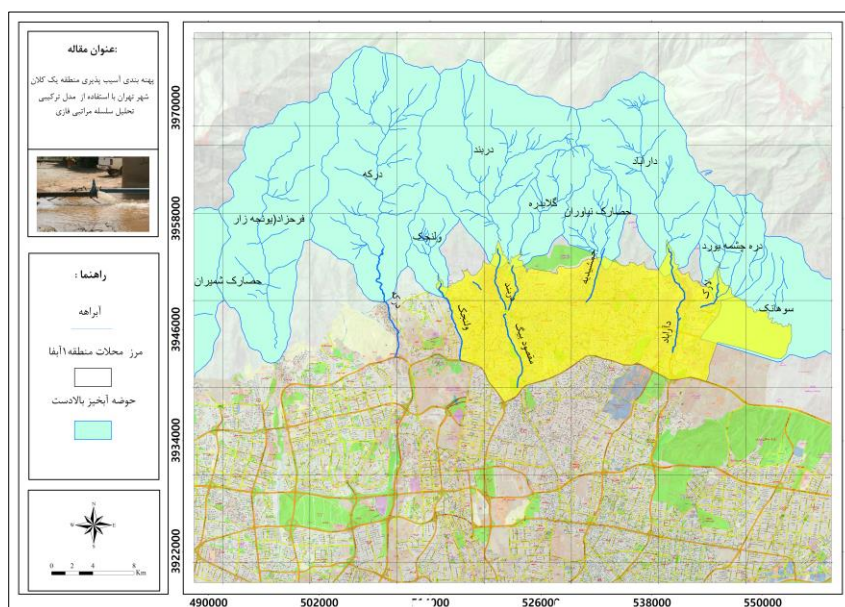
کلان‌شهر تهران کدام هستند؟ هم‌چنین کدام مناطق مستعد آسیب بیشتر در زمان مخاطرات طبیعی و انسانی است. از مهم‌ترین مطالعاتی که در سطح جهان و ایران در زمینه‌ی پهنه‌بندی انجام شده است، می‌توان به این موارد اشاره کرد: اکسوی و ارکانگلو (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای برای تشخیص نواحی حساس به زمین‌لغزش در غرب دریای سیاه از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و هم‌چنین منطق فازی برای شناسایی زمین‌لغزش‌های این ناحیه استفاده نموده‌اند. آنها با استفاده از تکنیک جداسازی و هم‌چنین ۱۰ عامل تأثیرگذار همراه با ۷۰ زمین‌لغزش رخ داده به بررسی و ترسیم نقشه‌ی پهنه‌بندی منطقه با کمک ۵ تابع عضویت فازی برای طبقه‌بندی زمین‌لغزش‌های رخ داده بر روی تصویر سنجنده ETM پرداختند. نتایج نشان داد که عملگر فازی از نظر دقت نسبت به سایر توابع عضویت فازی با وضع موجود تطابق بیشتری دارد. چن و همکاران (۱۹۱۸ و ۲۰۱۱) روش تحلیل خوشه‌ای فازی و شاخص‌های مساحت تحت‌تأثیر قرارگرفته، تعداد تلفات جانی، تعداد خانه‌های ویران شده و میزان خسارت اقتصادی مستقیم را در طبقه‌بندی خطر سیلاب را در ۳۰ استان چین به کار برده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که روش تحلیل خوشه‌ای فازی روشی مناسب برای طبقه‌بندی خطر سیلاب است. باهاتو و موریاما (۲۰۱۰) به بررسی محرکه‌های رشد شهری در دره‌ی کادماندو و با استفاده از فرایند آنالیز سلسله مراتبی پرداخته که در این روش با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP^۱) محرکه‌های فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی مؤثر بر توسعه‌ی شهر برای سه ناحیه‌ی هسته، حاشیه و نواحی روستایی مورد بررسی قرار داده‌اند. سینها و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از مدل AHP در رودخانه کوسی، واقع در شرق هندوستان، به تهیه‌ی نقشه خطر سیلاب با

وینت و شاردا (۱۹۹۱)، برای بررسی امکان استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در پروژه‌های کنترل سیلاب رودخانه گوند و تار در اکلاهامای آمریکا، مناطق مستعد سیلاب را شناسایی کردند. از جمله کارهایی که در داخل کشور انجام شده، می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود: نسرين نژاد و همکاران (۱۳۹۳) به پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبریز باغان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازي پرداختند و از آنجایی‌که ۲۲ درصد منطقه در پهنه‌های سیل‌خیزی خطرپذیر زیاد تا خیلی زیاد در بر گرفته است که بیشترین نقش را در تولید رواناب دارند و عملیات آبخیزداری در این منطقه در اولویت هستند. افتادگان ملکیان و همکاران (۱۳۹۱) عوامل مؤثر در سیل‌خیزی حوزه‌های آبخیز اخترآباد را شناسایی و با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازي پتانسیل سیل‌خیزی را در حوزه پهنه‌بندی کردند پور موسوی و همکاران (۱۳۹۱) به ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر با مدل تحلیل سلسله مراتبی فازي و GIS در منطقه ۳ تهران پرداختند که مهم‌ترین دلایل این آسیب‌پذیری را استفاده از مصالح بی‌دوام و کم‌مقاوم در ساخت و سازها، بالا بودن عمر ساختمان‌ها، مکان‌یابی ساخت و سازها بر روی زمین ناپایدار و ... دانستند. صفاری و اخدر (۱۳۹۱)، با استفاده از مقایسه مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازي، ارتباطی مریوان سندج را مورد پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش قرار دادند. به این منظور معیارهای، ارتفاع، شیب، فاصله از گسل، واحدهای سنگ‌شناسی، فاصله از آبراهه‌ها، فاصله از جاده، نوع کاربری اراضی، پوشش گیاهی، خاک و بارش را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که از میان دو روش مورد بحث، استفاده از مدل نسبت فراوانی به دلیل فازي سازی مناسب هر معیار با استناد به

استفاده از لایه‌های اطلاعاتی ژئومورفولوژی کاربری اراضی، توپوگرافی و تراکم جمعیت اقدام کرد. سیرینیوس و همکاران (۲۰۰۸) جهت تحلیل تناوب سیلاب منطقه‌ای روشی مرکب از نقشه عوارض خود سازمان یافته و الگوریتم c-mean خوشه‌بندی فازي را به کار برده و کارایی این روش را در حوضه‌های آبخیز ایالت ایندیانا در آمریکا مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان داده است که روش تحلیل تناوب سیلاب منطقه‌ای با روش‌های مبنی بر تحلیل رگرسیونی و هم‌بستگی چند متغیره قابل مقایسه است. گرسوسکی و همکاران (۲۰۰۶) در پژوهشی به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازي و تحلیل سلسله مراتبی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از مجموعه‌های فازي محدودیت روش‌های کمی را برطرف ساخته است. موراث و کاندن در سال (۲۰۰۳)، پژوهشی تحت عنوان استفاده از روابط فازي جهت تولید نقشه‌های توانمندی زمین‌لغزش در غرب دریای سیاه (ترکیه) و به این نتیجه رسیده‌اند که به دلیل پیچیده بودن ماهیت پدیده زمین‌لغزش و دخالت عوامل متعدد در رخداد آن، استفاده از روابط فازي در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نسبت به سایر روش‌ها بهتر واقعیت رخداد زمین‌لغزش را نشان می‌دهد. ژیانگ و همکاران (۲۰۰۱) با استفاده از مدل‌های فازي (FCA^۲)، (SFC^۳) و (FSM^۴) در مالزی به ارزیابی خطر بلایای طبیعی از جمله سیل پرداختند و نشان دادند که استفاده از روش‌های فوق برای ارزیابی آسان و مؤثر خطر سیل می‌تواند مطلوب باشد. تودینی (۱۹۹۹)، برای دستیابی به نقشه‌ی پیش‌بینی و مدیریت خطر سیلاب از سیستم عملکردی تصمیم استفاده کرد. جانگ و همکاران (۱۹۹۶) نوعی روش ارزیابی کمی را با استفاده از منطق فازي برای شناسایی و پهنه‌بندی نواحی دارای استعداد زمین‌لغزش به کار گرفتند.

تصمیم‌گیری چند معیاره فازی بخشی از حوضه آبخیز هراز را مورد ارزیابی خطر زمین‌لغزش قرار دادند. آن‌ها در این ارزیابی عوامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و فاصله از جاده را به‌عنوان عوامل مؤثر در خطر زمین‌لغزش مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد ۲۹/۴۲ درصد از منطقه دارای حساسیت زیاد، ۳۲/۱۹ درصد حساسیت زیاد، ۳۰/۳۶ درصد متوسط و ۸/۰۴ درصد حساسیت کمی را از نظر پتانسیل بروز زمین‌لغزش دارند. زنگی‌آبادی و همکاران (۱۳۸۷) شاخص‌های آسیب‌پذیری مسکن شهر اصفهان در برابر زلزله مورد تحلیل قرار دادند که مطالعه‌ی آن‌ها نشان داد، میزان آسیب‌پذیری مسکن شهر اصفهان در برابر خطر زلزله بالاست. در ارزیابی آسیب‌پذیری سازه‌های شهری و سنجش آسیب‌پذیری آن‌ها از زلزله با به‌کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌توان به پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهری دست‌یافت (شکل ۱).

نقشه‌های پراکنش زمین‌لغزش‌های رخ داده و نحوه تفکیک روش مناسب‌تری برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها در این جاده ارتباطی محسوب می‌شود. احد نژاد و همکاران (۱۳۸۹)، به بررسی وضعیت آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق مختلف شهر زنجان می‌پردازند. در این پژوهش با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی وزن‌های هر یک از عامل‌ها در آسیب‌پذیری لرزه‌ای به دست می‌آید. پس از آن با استفاده از تابع آستانه خطی، عامل‌های مورد بررسی به یک مقیاس مشترک تبدیل گردیده‌اند. در نهایت با ارائه سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف و با استفاده از مدل‌های موجود در زمینه خسارات، به ارزیابی خسارات انسانی، اقتصادی و انسانی شهر زنجان پرداخته است. شمسی‌پور و شیخی (۱۳۸۹) به پهنه‌بندی مناطق حساس و آسیب‌پذیری محیطی در ناحیه غرب فارس، با روش طبقه‌بندی فازی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی پرداختند و مناطق مستعد آسیب را در آن منطقه شناسایی کردند. پور قاسمی و همکاران (۱۳۸۸)، با استفاده از روش



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

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 آب‌های آزاد بین ۱۸۰۰ متر در شمال و ۱۲۰۰ متر در مرکز و ۱۰۵۰ متر در جنوب متغیر است. تهران در دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز گسترده شده است. از جنوب به کوه‌های ری و بی‌بی شهربانو و دشت‌های هموار شهریار و ورامین و از شمال توسط کوهستان البرز محدود 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 هم‌مرز است. کاربری عمده در منطقه یک مسکونی است و حضور کاربری‌های فرا منطقه‌ای و فراشهری به‌ویژه کاربری‌های دیپلماتیک و گردشگری در منطقه از اهمیت برخوردار می‌باشد (مهندسين مشاور بافت شهر، ۱۳۸۴). در حال حاضر دارای ۹ ناحیه و ۳۳ محله هست (طرح تفصیلی منطقه یک شهر تهران، ۱۳۸۶) و جمعیت آن همواره در حال افزایش است 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. از لحاظ زمین‌شناسی بیشتر مساحت این منطقه را سازندهای آبرفتی و خاک لیتوسل نیمه مرطوب که بسیار کم‌عمق هستند، در بر گرفته است. آب‌وهوای منطقه یک تهران تا حد زیادی همخوان با اقلیم شهر تهران است. از آنجایی

که در مجاورت کوهستان قرار گرفته دارای اقلیمی سرد و نیمه مرطوب و در نواحی مرتفع‌تر آن اقلیمی سرد همراه با زمستان‌های طولانی می‌باشد (درفشی، ۱۳۹۰). به‌طور میانگین شمال تهران ۱۸۴ میلیمتر (حدود ۷۵٪) بیش از مرکز شهر تهران بارندگی دارد. در حال حاضر بخشی از سکونتگاه‌های روستایی شمال تهران و مراکز گردشگری، در طول دره‌های کوهستانی شمال تهران و موازی با آبراهه‌های اصلی استقرار و توسعه یافته‌اند؛ علاوه بر این، حریم توسعه شهری تهران بخشی از ساخت‌وسازها و سکونتگاه‌های شهری را بر روی دامنه‌های کم ارتفاع شمالی توسعه داده است. ناپایداری‌های دامنه‌ای در محدوده دامنه‌های کوهستانی و نیز احتمال سیلاب و آب‌گرفتگی سکونتگاه‌ها در محدوده آبراهه‌ها، عمده‌ترین مخاطراتی است که این اراضی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد به لحاظ توپوگرافی، شیب عمومی منطقه شمال به جنوب بوده که هر چه به سمت شمال برویم، میزان شیب افزایش می‌یابد. توپوگرافی منطقه در قسمت‌های شمالی کاملاً کوهستانی و با شیب زیاد است. بالاترین نقطه در این گستره در حدود ۱۸۰۰ متر از سطح دریا و زاویه شیب بین ۳۰ تا ۵۰ درجه است. شمال تهران به‌ویژه منطقه یک شهرداری شامل چندین رود دره هم‌چنین قله مرتفع می‌شود برخی رود دره‌های کوچک که از شرق به غرب عبارتند از تنگه کهنه دارآباد، دارآباد، دره جمشیدیه، گلاب دره، دربند، ولنجک و درکه در این منطقه قرار دارد؛ که نسبتاً کم‌عمق می‌باشند. این رود دره‌ها به علت صخره‌ای بودن و شیب زیاد نقش مهمی در خروجی رواناب حاصل از بارش و برف و خط القعر بلندی‌ها و ارتفاعات کوه‌های شمال تهران در منطقه یک دارد (نوروزی، ۱۳۹۵). روش پژوهش توصیفی-تحلیلی و پیمایشی است. جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات از

سلسله مراتبی AHP و منطق فازی و نرم افزار GIS استفاده شده است. داده‌ها براساس جدول ۱ در جهت تعیین پهنه‌های آسیب پذیر در برابر مخاطرات محیطی به کار گرفته شدند.

طریق منابع کتابخانه‌ای و مطالعات میدانی انجام گرفته است. برای دستیابی به ادبیات تئوریک موضوع و تحلیل داده‌های گردآوری شده از منابع کتابخانه‌ای بهره گرفته شده است و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات و ارزیابی آنها از روش

جدول ۱: داده‌های مورد نیاز

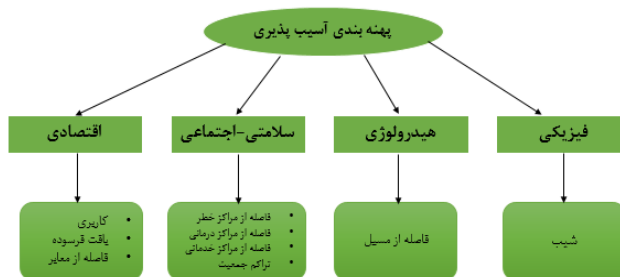
منبع	داده مورد نیاز
با استفاده از داده‌های رقومی ارتفاعی ۱۰ متر منطقه (DEM)، سازمان نقشه‌برداری کشور	شیب
سازمان مدیریت منابع آب، سازمان جهاد سازندگی استان تهران مدیریت آبخیزداری	رودخانه
سازمان مدیریت منابع آب، شرکت مهندسی آبفا سازمان مدیریت منابع آب، شرکت مهندسی آبفا	مراکز خطر (گسل) مراکز خدماتی (خدمات پذیرایی و اقامتی، خدمات مالی و تجاری، حمل و نقل شهری، رفاهی و فراغتی، خدمات اجتماعی)
سازمان مدیریت منابع آب، شرکت مهندسی آبفا	مراکز درمانی - امدادی (پایگاه امداد، آتشنشان، پایگاه مدیریت بحران، مراکز درمانی و بیمارستان)
سازمان جهاد سازندگی استان تهران مدیریت آبخیزداری شرکت مهندسی مشاور پارس آیند شرکت مهندسی زیستاب و شرکت مهندسی مشاور پارس آیند شرکت مهندسی زیستاب و شرکت مهندسی مشاور پارس آیند	کاربری اراضی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ بافت فرسوده معابر تراکم جمعیت سال ۹۰

تعیین معیار و زیر معیارهای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری: براساس مطالعات و پژوهش‌های صورت گرفته در مورد خطر، عوامل بسیاری در آن نقش دارند براساس نظر کارشناسان با توجه به ویژگی‌های منطقه یک شهرداری تهران مهم‌ترین عواملی که در بررسی میزان آسیب‌پذیری منطقه حائز اهمیت است شامل فاصله از مراکز خطر (گسل)، فاصله از مراکز درمانی (مراکز امداد، مدیریت بحران، آتشنشانی، بیمارستان)، فاصله از مراکز خدماتی (خدمات پذیرایی و اقامتی، خدمات مالی و تجاری، حمل و نقل شهری، رفاهی و فراغتی، خدمات اجتماعی)، فاصله از شبکه زهکشی، فاصله از معابر، کاربری، بافت فرسوده، تراکم جمعیت و شیب است (شکل ۲).

برای بررسی و مطالعه دقیق‌تر و ارزیابی آسیب‌پذیر در منطقه یک کلان شهر تهران، از ترکیب دو مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و منطق فازی استفاده شده است. مراحل این دو مدل به شرح زیر است:

- ۱- تعیین معیار و زیر معیارهای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری در منطقه یک کلان شهر تهران
- ۲- ارزش‌دهی به معیارها و زیر معیارها
- ۳- تهیه نقشه استاندارد شده
- ۴- بهینه سازی (استاندارد سازی یا فازی سازی)
- ۵- محاسبه نرخ ناسازگاری
- ۶- اعمال وزن نهایی به معیارها و ترکیب با لایه‌های فازی شده

۷- پهنه‌بندی آسیب‌پذیری در منطقه یک کلان شهر تهران



شکل ۲: فهرست معیار و زیر معیارهای موثر در پهنه بندی آسیب پذیری

ارزش دهی و اولویت بندی به معیارها

این مرحله با تهیه پرسشنامه‌ای به منظور تعیین معیارها و اولویت بندی آنها، با استفاده از روش AHP-FUZZY طراحی شد. جهت بررسی سازگاری مدل با منطقه نیز از نظر کارشناسان سه گروه علمی شامل ژئومورفولوژی، برنامه ریزی شهری، عمران (سازه) که شامل ۱۲ نفر بودند، معیارهای مورد نظر برحسب اولویت با انتخاب عددی بین ۱-۹ جهت تعیین اهمیت این معیارها تکمیل شد؛ بنابراین برآیند امتیازات و وزن های به دست آمده، ملاک تعیین میزان اهمیت هر یک از معیارها و زیر معیارها قرار گرفت.

تهیه نقشه استاندارد شده

در فرایند پهنه بندی آسیب پذیری مناطق دارای شرایط آسیب پذیری در زمان وقوع مخاطرات، استخراج لایه های اطلاعاتی مورد نیاز، اولین مرحله از مراحل عملی تحقیق است. اکثر لایه ها برای معیارهای مورد نیاز پهنه بندی آسیب پذیری با دستور Distance و لایه های پولیگونی آن با دستور Polygon to Raster ارزش دهی و رستری شدند.

پهنه سازی (استاندارد سازی یا فازی سازی)

لایه های اطلاعاتی براساس منطق فازی

آماده سازی داده ها و رابطه معیار و آسیب پذیری: در

این مرحله ۱۰ متغیر تحقیق براساس جدول ۲

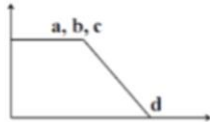
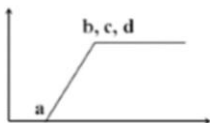
مورد بررسی قرار می گیرد:

جدول ۲: رابطه معیارها و آسیب پذیری

معیار	فروض وزن دهی	نوع رابطه	نوع تابع فازی شده
فاصله از مراکز خطر	هرچه فاصله از مراکز خطر بیشتر، آسیب پذیری کمتر	معکوس	linear
فاصله از مراکز درمانی-امدادی	هرچه فاصله از مراکز درمانی بیشتر، آسیب پذیری بیشتر	مستقیم	linear
فاصله از مراکز خدماتی	هرچه فاصله از مراکز خدماتی بیشتر، آسیب پذیری بیشتر	مستقیم	linear
فاصله از شبکه زهکشی	هرچه فاصله از شبکه زهکشی بیشتر، آسیب پذیری کمتر	معکوس	linear
فاصله از معابر	فاصله از معابر بیشتر، آسیب پذیری بیشتر	مستقیم	linear
کاربری	نوع کاربری براساس نوع نفوذ پذیری و مساحت در آسیب پذیری مؤثر است. (کاربری فضای باز و سبز آسیب پذیری کمتر و کاربری مسکونی و شهری آسیب پذیری بیشتر)	مستقیم	linear
باقت فرسوده	باقت مقاوم تر آسیب پذیری کمتر	مستقیم	linear
تراکم جمعیت	هرچه تراکم جمعیت بیشتر آسیب پذیری بیشتر	مستقیم	linear
شیب	هرچه شیب بیشتر آسیب پذیری بیشتر	مستقیم	linear

فازی سازی لایه‌ها: فازی سازی لایه‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیری و تهیه نقشه‌های فازی، با استفاده از دستور fuzzy membership در نرم‌افزار ArcGIS10 انجام شده است که روابط مورد استفاده برای توابع عضویت فازی، نوع تابع و شکل توابع براساس جدول ۳ حاصل شد.

جدول ۳: روابط استانداردسازی (نرمال سازی) معیارهای قانون تصمیم تحقیق (a, b, c و d نقاط کنترل توابع فازی می‌باشند (در واقع این نقاط تعیین کننده نقطه عطف در استانداردسازی هستند)

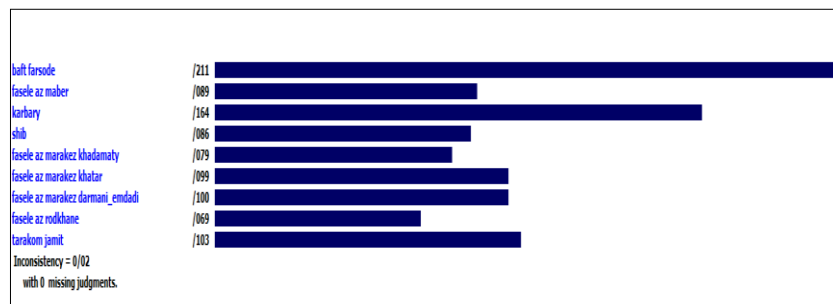
روابط تعیین کننده مقدار عددی توابع در هر پیکسل	شکل توابع فازی	نوع تابع
$X_i = (1 - \frac{R_i - c}{d - c}) \times \text{standardized_range}$		تابع خطی (linear)
$X_i = (\frac{R_i - a}{b - a}) \times \text{standardized_range}$		

مراکز درمانی-امدادی، تراکم جمعیت، عرض معابر، شیب فاصله از مراکز خدماتی و فاصله از رودخانه است که جهت تعیین وزن کلی، اولویت‌بندی آنها براساس روابط موجود در ماتریسی به ابعاد ۹*۹ برای مقایسه دو به دو متغیرها و تعیین ارجحیت آنها قرار گرفت که در شکل ۳ و جدول ۴ نشان داده شده است.

تعیین وزن هر لایه و محاسبه نرخ ناسازگاری مرحله‌ی بعد از مقایسه‌ی زوجی پارامترها، محاسبه‌ی وزن زیرمعیارها و محاسبه نرخ ناسازگاری (۰/۰۲) می‌باشد که در این پژوهش توسط نرم‌افزار Expert choice انجام شد که متغیرهای مؤثر در آسیب پذیری که شامل بافت فرسوده، کاربری، فاصله از مراکز خطر، فاصله از

جدول ۴: مقایسات زوجی به دست آمده برای شاخص‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیری در منطقه یک کلان‌شهر تهران

	baft farsode	fasele az maber	karbary	shib	fasele az marakez khadamaty	fasele az marakez khatar	fasele az marakez darmani_emdadi	fasele az rodkhane	tarakom jamit
baft farsode		3/0	2/0	2/5	2/0	1/5	2/0	3/0	2/0
fasele az maber			1/4	1/1	1/0	1/2	1/2	2/0	1/3
karbary				2/0	3/0	2/0	1/5	3/0	1/5
shib					1/1	1/1	1/2	1/5	1/1
fasele az marakez khadamaty						1/2	1/2	1/1	1/3
fasele az marakez khatar							1/5	1/2	1/2
fasele az marakez darmani_emdadi								2/0	1/1
fasele az rodkhane									1/3
tarakom jamit									

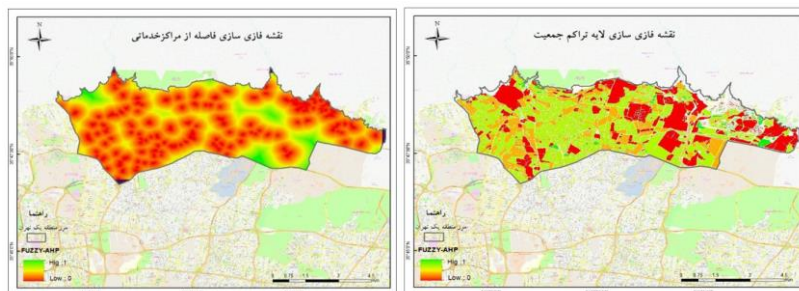


شکل ۳: وزن نهایی به دست آمده برای شاخص‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیری در منطقه یک کلان‌شهر تهران

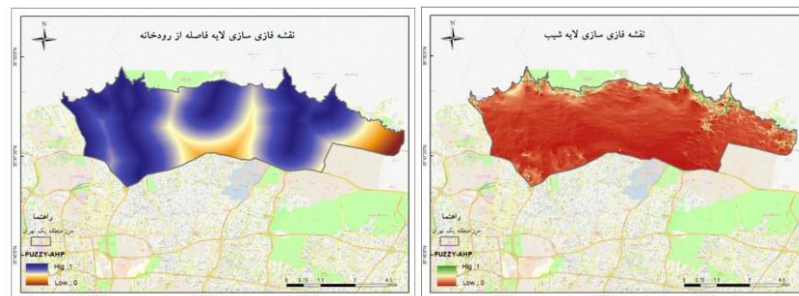
بحث و نتایج

جانی و مالی ناگهانی و شدیدی را ایجاد می‌کنند و ریزش‌ها در گروه‌های بعدی قرار دارند. افزایش جمعیت و گسترش تاسیسات انسانی، مطالعه‌ی دقیق پتانسیل تخریب را در مناطق ۲۲ گانه تهران ضروری می‌کند (قهرودی تالی و همکاران، ۱۳۹۱). با توجه به ویژگی‌های منطقه یک شهرداری تهران، مهم‌ترین عواملی که در بروز و آسیب‌رسانی خطر در این منطقه تأثیر دارند شامل کاربری اراضی، فاصله از مراکز خطر، فاصله از مراکز درمانی-امداد، فاصله از مسیل، فاصله از معابر، تراکم جمعیت، بافت فرسوده، شیب زمین است. لایه‌های مرتبط با هر یک از متغیرها در ابتدا به صورت رستری تهیه شدند و در ادامه دامنه ارزش هر پیکسل به روش فازی استانداردسازی شده و مقادیر آنها یکسان سازی و در دامنه صفر تا یک قرار گرفت. شکل (۴-۱۲) نقشه فازی شده متغیرهای موجود در پژوهش حاضر است.

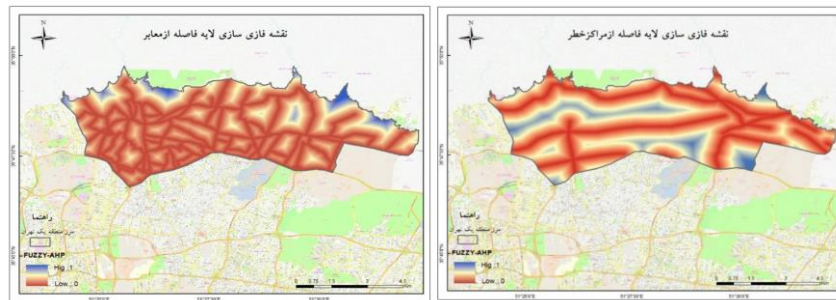
شناخت شرایط طبیعی بسترهای شهری، از جمله زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، اقلیمی و زیست محیطی، ضرورت مدیریت شهری است. وجود پرشمار گسله‌ها، به ویژه در زمین‌های آبرفتی، هم-چنین گسترش بی‌رویه‌ی شهرهای بزرگ و ایجاد سازه‌های سنگین، ناپایداری بسترهای شهری را تشدید می‌کند و تغییراتی در سامانه‌ی طبیعی محیط ایجاد کرده و مورفوزنژ شهری را دچار تحول خواهد کرد (شهرام روستایی، ۱۳۹۰). بستر شهر تهران با ضخامت بیش از ۵۰۰ متر از نهشته‌های کواترنری، گسل‌های عمیق، نشست و رانش زمین و سیستم زهکشی نامنظم و ساخت و ساز ناکارآمد و سطوح نفوذناپذیر، مستعد تخریب ناشی از وقوع زمین لرزه و سیلاب است (محمد کاظم جعفری، ۱۳۸۱). از طرفی در شهر تهران زمین‌های با شیب بالای ۱۵ درجه، در معرض حرکت دامنه‌ای هستند، در این جا لازم به ذکر است که با توجه به بررسی‌های انجام شده بین حرکات دامنه‌ای، زمین لغزش-ها بیشترین فراوانی را دارند و برای شهرها خسارات



شکل ۴: نقشه فازی سازی لایه فاصله از مراکز خدماتی شکل ۵: نقشه فازی سازی تراکم جمعیت

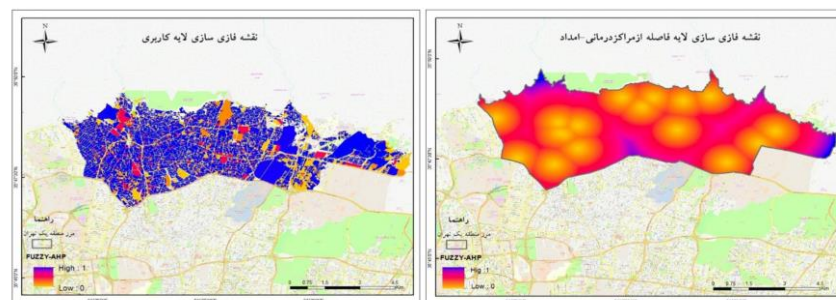


شکل ۶: نقشه فازی سازی لایه شیب شکل ۷: نقشه فازی سازی لایه فاصله از رودخانه



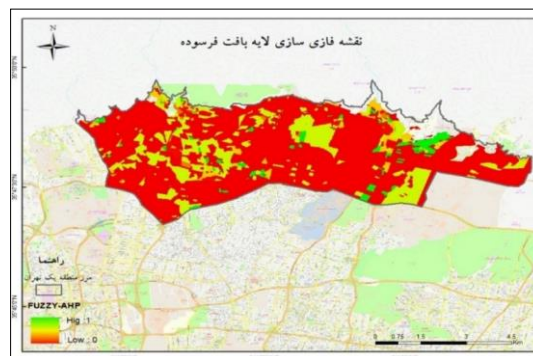
شکل ۹: نقشه فازی سازی لایه فاصله از معابر

شکل ۸: نقشه فازی سازی لایه فاصله از مراکز خطر



شکل ۱۱: نقشه فازی سازی لایه کاربری

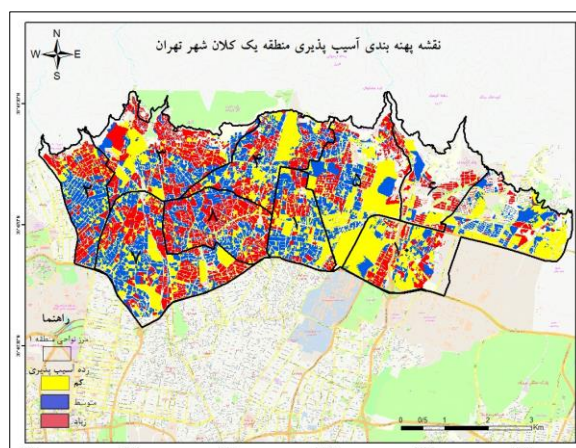
شکل ۱۰: نقشه فازی سازی لایه فاصله از مراکز درمانی-امداد



شکل ۱۲: نقشه فازی سازی لایه بافت فرسوده

طیف متفاوتی از خطر را نشان می‌دهد. به منظور رده‌بندی آسیب پذیری، نقشه تهیه شده بر پایه مقادیر به دست آمده برای پیکسل‌های موجود در نقشه، عملیات طبقه‌بندی (reclass) صورت گرفت و منطقه ۱ تهران به سه کلاس آسیب پذیری یعنی کم، متوسط و زیاد تقسیم‌بندی شد. به این ترتیب نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری به دست می‌آید (شکل ۱۳).

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری و تحلیل آن اعمال وزن نهایی به معیارها و ترکیب با لایه‌های فازی شده: به منظور پهنه‌بندی آسیب‌پذیری منطقه ۱ تهران، اهمیت محاسبه شده برای هر یک از متغیرها به صورت وزن در لایه فازی شده اعمال گردید و در نهایت عملیات جمع لایه‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی با استفاده از دستور spatial analyze و دستور raster calculator نتایج را محاسبه کردیم. خروجی مراحل فوق نقشه پهنه-بندی آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه است که



شکل ۱۳: نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری منطقه یک کلان‌شهر تهران

امامزاده قاسم، کاشانک، چیدر، دارآباد، شهرک غرب، باغ فردوس، قیطریه، گلابدره، جماران، ازگل، اراج، حکمت، دزاشیب و حصار بوعلی) مشاهده می‌شود در حالی که رده کم با ۱۷/۲۰ درصد کمترین مساحت منطقه یک کلان‌شهر تهران را در بر گرفته است.

نتایج جدول ۵ درصد رده‌های آسیب‌پذیری در مساحت کل منطقه یک تهران براساس نظرات کارشناسان نشان می‌دهد، که رده متوسط با ۵۴/۵۹ درصد بیشترین مساحت منطقه و رده زیاد ۲۸/۲۲ درصد از منطقه را در بر گرفته است که در محلات (گلابدره، دربند، زعفرانیه، تجریش،

جدول ۵: درصد رده‌های آسیب‌پذیری هر رده در مساحت کل منطقه یک کلان‌شهر تهران

آسیب‌پذیری	رده کم	رده متوسط	رده زیاد
۱	۲/۱۹	۴/۸۴	۰/۴۵
۲	۱/۰۷	۵/۵۸	۰/۹۰
۳	۲/۴۱	۶/۴۹	۳/۷۴
۴	۳/۶۲	۵/۴۳	۱/۸۶
۵	۴/۶۹	۶/۸۵	۱/۶۳
۶	۰/۷۷	۱/۳۰	۱/۳۴
۷	۴/۳۸	۹/۸۴	۱/۷۸
۸	۰/۹۴	۵/۴۲	۳/۰۲
۱۰	۷/۲۱	۶/۸۳	۱/۷۵

منطقه در ناحیه ۷ و کمترین درصد مساحت (۱/۳۰) در ناحیه ۶ واقع شده است و بیشترین درصد مساحت رده زیاد (۳/۷۴) در ناحیه ۳ که محلات گلابدره، دربند و امامزاده قاسم را در بر گرفته است و کمترین درصد (۰/۴۵) در ناحیه ۱ است.

نتایج جدول ۶ درصد رده‌های آسیب‌پذیری هر ناحیه در کل منطقه یک کلان‌شهر تهران براساس نظرات کارشناسان نشان می‌دهد که بیشترین درصد مساحت (۷/۲۱) رده کم نسبت به مساحت کل منطقه در ناحیه ۱۰ و کمترین درصد (۰/۷۷) در ناحیه ۶ منطقه یک است در حالی که بیشترین درصد مساحت (۹/۸۴) رده متوسط نسبت به کل

جدول ۶: درصد رده‌های آسیب‌پذیری هر ناحیه در کل منطقه یک کلان‌شهر تهران

درصد مساحت	رده آسیب‌پذیری
۱۷/۳۰	رده کم
۵۴/۵۹	رده متوسط
۲۸/۲۲	رده زیاد

شهری، عمران (سازه) در وزندهی به معیارها استفاده گردید. نتایج بدست آمده از مدل FUZZY_AHP نشان داد منطقه مورد مطالعه آسیب پذیر است و با توجه به نتایج حاصل شده از نقشه و جداول آسیب‌پذیری می‌توان گفت که نقشه آسیب‌پذیری می‌تواند بازتاب مناسبی از وضعیت‌های هیدرولوژی، اجتماعی، فیزیکی، اقتصادی نواحی مختلف منطقه ۱ تهران در برابر آسیب‌پذیری منتج از مخاطرات ارائه دهد. میزان آسیب‌پذیری این منطقه بر مبنای وزن‌های محاسبه شده از روش سلسله مراتبی/ فازی با استفاده از تحلیل زونی، آسیب‌پذیری نواحی مختلف این منطقه را براساس اولویت معیارهای بافت فرسوده، نوع کاربری، فاصله از مراکز خطر(گسل)، تراکم جمعیت بالا و شیب و غیره در برابر سیل و زلزله و زمین لغزش را نشان داد. عامل شیب یکی از پیامدهای طبیعی توپوگرافی این منطقه است. شهرهای کوهستانی، پایکوهی و یا شیب‌دار و یا شهرهای مستقر در دامنه‌های دره‌ای و مخروط افکنه‌ها معمولاً و ضمن اینکه شیب عمومی آن‌ها در یک جهت است، در جهات مختلف نیز دارای شیب هستند. وجود این شیب‌ها اگرچه از بعضی جهات مانند زیبایی شهر، جلوگیری از انباشت مواد تخریبی در سطح شهر و یا شستشوی طبیعی معابر توسط رواناب (به هنگام بارندگی) و غیره حائز اهمیت است ولیکن شیب سطح شهرها بالاخص شیب‌های بحرانی و بیش از اندازه می‌تواند مشکلاتی نظیر وقوع سیل، دشواری حمل و نقل درون شهری، اختلال در احداث بناها و تأسیسات، حرکات و

مدل‌های زیادی جهت تحلیل و ارزیابی آسیب‌پذیری شهرها در برابر مخاطرات محیطی (سیل، زلزله، زمین لغزش و غیره) ارائه شده است و تحقیقات مختلفی نیز چه در داخل و چه در خارج کشور صورت گرفته است. در دنیای امروز با توجه به اینکه با عدم قطعیت و اطمینان در زمینه‌های مختلف روبرو هستیم و بسیاری از متغیرهای مربوط به مسایل موجود در دنیای واقعی متغیرهای کیفی و زبانی هستند، بنابراین، در این گونه مسایل بهتر است از مدل‌های تصمیم‌گیری فازی استفاده گردد. بدون شک آسیب‌پذیری هر منطقه‌ای در ارتباط با خصوصیات انسانی آن منطقه بوده و انعکاسی از رفتار انسان و شیوه مدیریت انسانی آن منطقه است، چرا که ساخت و ساز و اجرای اصول مهندسی در ساختمان و سازه‌های شهری به نظرات و تفکرات و شیوه مدیریت انسان بستگی دارد، پس در هر تحقیقی بایستی مدل‌های مورد استفاده با شرایط منطقه مورد مطالعه سازگاری داشته باشند، که در این راستا استفاده از نظرات مختلف کارشناسانی که با شهر و ساختمان و مخاطرات در ارتباط هستند و در تعیین معیارها و وزن دهی به آنها می‌توانند موثر بوده و موجب اطمینان نتایج شوند، می‌تواند مفید باشد. با توجه به اینکه در بسیاری از موارد با عدم اطمینان روبه رو هستیم، از مدل فازی در برآورد آسیب‌پذیری استفاده شده است. جهت بررسی سازگاری مدل با منطقه نیز از نظر کارشناسان سه گروه علمی شامل ژئومورفولوژی، برنامه‌ریزی

که برآورد شده که ۲۱۵۰ نفر در رویداد سیل عظیم سال ۱۳۳۳ و ۳۰۰ نفر در سیل سال ۱۳۶۶ حوضه آبخیز دربند کشته شدند، از طرفی این منطقه به علت عبور گسل های متعدد اصلی و فرعی یکی از حساس ترین و آسیب پذیرترین مناطق تهران به شمار می رود و عواملی چون گسل های زلزله خیز، آب، شیب زیاد منطقه و فرسایش از عوامل وقوع یا پتانسیل زمین لغزش در این منطقه به ویژه در هنگام وقوع زلزله می باشند که بیشتر منطبق بر قسمت های شمالی و مرکزی محدوده و مناطق دامنه ای مسلط بر منطقه یک می باشند و هرچه از بالادست به شمال به سمت پایین دست و جنوب حوضه های آبخیز منطقه یک حرکت کنیم از میزان خطر زمین لغزش کاسته می شود هرکدام از موارد فوق تهدید جدی و مهمی برای منطقه ۱ تلقی می شود. وجود بافت فرسوده در منطقه که بیشترین مساحت آن را بافت ناپایدار در بر گرفته، تراکم جمعیت بالا، فضای سبز ناچیز و درصد بالای کاربری شهری و مسکونی با سطوح نفوذ ناپذیر در این منطقه، آسیب پذیری ناشی از مخاطرات محیطی را در در مواجهه با عوامل محیط طبیعی دوچندان می کند (جدول ۷ و ۸).

دینامیک های دامنه ای مخرب و امثال آن را به بار آورد (قهرودی تالی و همکاران، ۱۳۹۱) این در حالست که مهم ترین رودخانه هایی که سکونتگاه های شهر تهران و این منطقه را تحت تأثیر قرار می دهند و همواره یک عامل خطر ساز از نظر سیلاب محسوب می شوند، رودخانه های شمال تهران می باشند، این رودخانه ها علی رغم میانگین دبی کم، از جریانات سیلابی نسبتاً بالایی برخوردار هستند که می تواند عامل ایجاد سیلاب های شدید در مناطق پایین دست گردد طی سال های ۱۳۴۸ تا ۱۳۶۱ تعداد ۲۱ سیل در شمال تهران رخ داده که موجب مرگ ۲۵ نفر شده است هم چنین در فاصله سال های ۱۳۶۲ تا ۱۳۷۴ تعداد ۱۲ سیل در این منطقه رخ داده که تلفات جانی نیز به دنبال داشته است (نوروزی و همکاران، ۲۰۱۷). از این رو منطقه ۱ تهران که در راستای رودخانه های شمال تهران از جمله رودخانه مقصود بیگ که سکونتگاه های زیادی در بستر آن قرار گرفته و وقوع سیلاب هایی که زمینه خسارات زیادی را فراهم می کند، رودخانه ای در که تقریباً همه ساله جریان های سیلابی با شدت و ضعف های مختلف در آن رخ می دهد و رودخانه ای فرحزاد و کن و دربند

جدول ۷: مشخصات بافت فرسوده منطقه یک کلان شهر تهران

نوع بافت	مساحت (KM ²)	درصد مساحت
ناپایدار	۶/۱۰	۱۷/۵۴
بدون شرط	۲۵/۳۸	۱۷/۹۴
ناپایدار-ریزدانه	۱/۳۱	۳/۷۷
ریزدانه	۱/۱۴	۳/۲۷
ناپایدار-ریزدانه	۰/۶۲	۱/۷۹
نفوذناپذیر		
نفوذناپذیر	۰/۰۷	۰/۲۱
ناپایدار-نفوذناپذیر	۰/۱۷	۰/۴۹

جدول ۸: مشخصات کاربری منطقه یک کلان شهر تهران

نوع کاربری	مساحت (KM ²)	درصد مساحت
فضای باز	۲/۲۱	۸/۴۳
آموزشی	۱/۹۶	۷/۴۷
تجهیزات شهری	۲/۵۲	۹/۶۰
درمانی-اجتماعی	۰/۶۰	۲/۲۷
مسکونی-اداری	۱۶/۲۸	۶۲/۰۴
سایر	۲/۶۷	۱۰/۱۹

نتیجه گیری

توجه به اهمیت شناسایی عوامل خطرآفرین و محدودیت ساز در برنامه‌ریزی توسعه کاربردی و اقتصادی منطقه یک کلان‌شهر تهران، روش مطالعه و تحلیل مبانی با نظر کارشناسانه و بهره‌گیری از مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی قرار گرفت و باروی هم‌گذاری لایه‌های مختلف، نقشه به دست‌آمده نشان می‌دهد که ۲۸/۲۲ درصد از منطقه در رده آسیب‌پذیری زیاد قرار دارد که مناطق با آسیب‌پذیری زیاد بیشتر ناحیه ۳ و محلات گلابدره، دربند و امام‌زاده قاسم را در بر می‌گیرد که در تأکید بر تمرکز شدت آسیب‌پذیری زیاد در این ناحیه، مراجعه به نقشه‌های موضوعی آسیب‌پذیری علل آن را به‌وضوح آشکار می‌کند که در راستای مسیلهای دربند و گلابدره قرار گرفته که بیشترین بافت منطقه ناپایدار و کاربری مسکونی-اداری با تراکم جمعیت بالا و سطح نفوذپذیر کم که گسل‌های چون گسل شمال تهران از آن گذشته و خالی از کاربری خدماتی و امدادی است. این درحالیست که بیشترین مساحت آن را کاربری مسکونی-اداری در بر گرفته است به نحوی که کاربری‌هایی که مرتبط با ساخت و سازهای شهری در منطقه بوده و به علت نفوذپذیری کمتر، نقش بیشتری در تولید رواناب و در نتیجه سیل‌خیزی داشته‌اند از طرفی بیشترین مساحت این ناحیه را بافت ناپایدار با تراکم ساختمان‌هایی که تراکم جمعیت بالایی را در

برگرفته است، شامل می‌شود که در مسیر مراکز خطر (گسل شمال تهران) واقع شده است که گسلی لرزه‌خیز است که تجربه مخاطرات زیادی را داشته است و به علت شیب‌های تند و تغییرات شدید توپوگرافی، فعالیت‌های زمین‌ساختی، گسلش، بارندگی و آب‌های سطحی فراوان، آب‌وهوای سرد و یخبندان‌های زمستانی و تراکم بالای ساختمان‌ها خطر وقوع انواع مختلف زمین‌لغزش‌ها (درکه، ولنجک، دربند، سعدآباد، گلابدره، جمشیدیه، جمشیدیه میانی و پایین، دارآباد، باقلازار و ازگل) بسیار زیاد است. در نهایت با وجود علایم موجود در احتمال وقوع مخاطرات سیل و زلزله و زمین‌لغزش، تمامی این مسائل می‌تواند موجب ایجاد خسارت و تخریب زیرساخت‌ها در منطقه یک کلان‌شهر تهران گردد و می‌تواند به‌عنوان مانع و محدودکننده توسعه و امنیت، رفاه و آسایش شهروندان گردد. با توجه به نقشه‌نهایی به دست آمده از پهنه‌بندی آسیب‌پذیری و در راستای توسعه و امنیت شهری، ضمن شناسایی پهنه‌های خطر باید از ساخت‌وساز در محدوده با خطر زیاد و حریم و مسیلهای روددره‌های متعدد در منطقه یک (درکه، ولنجک، دربند، سعدآباد، گلاب دره، جمشیدیه و ...) و در مسیر گسل‌ها ممانعت به عمل آید و بایستی همه کاربری‌های مختلف شهری از جمله کاربری‌های مسکونی با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های مهندسی پایدار شوند.

پانویس

1-Analytic Hierarchy Process
2-Fuzzy comprehensive assessment

3-Simple fuzzy classification
4-Fuzzy similarity method

منابع

- ۱- حد نژاد، م.، ۱۳۸۹. ارزشیابی آسیب پذیری اجتماعی شهرها در برابر زلزله (نمونه موردی: شهر زنجان)، مجله مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، شماره ۷، ص ۷۱-۹۰.
- ۲- پور قاسمی، ح.، محمدی، م.، مرادی، ح. و عقدا، م.، ۱۳۸۶. کاربرد روابط فازی در تحلیل خطر زمین‌لغزش، دومین همایش مقابله با سوانح طبیعی، دانشگاه فنی تهران، ص ۴-۵.
- ۳- پور موسوی، م.، شمعی، ع.، احد نژاد، ع.، عشقی، چهار برج، ع. و خسروی، س.، ۱۳۹۳. ارزشیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر با مدل Fuzzy AHP و GIS (مطالعه موردی: منطقه ۳ شهرداری تهران)، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۴، ص ۱۲۱-۱۳۸.
- ۴- جعفری، م.، ۱۳۸۱. ریزپهنه بندی لرزه‌ای شمال تهران از دیدگاه شرایط ساختگاه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.
- ۵- درفشی، خ.، ۱۳۹۰. بررسی تغییرات فضایی سیلاب در کلان‌شهر تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.
- ۶- روستایی، ش.، ۱۳۹۰. پهنه‌بندی خطر گسل تبریز برای کاربری‌های مختلف اراضی شهری، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۱، ص ۲۷-۴۱.
- ۷- زنگی‌آبادی، ع.، صفایی، ه. و قائد رحمتی، ص.، ۱۳۸۷. تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری مسکن شهری در برابر خطر زلزله (نمونه موردی: مسکن شهر اصفهان)، جغرافیا و توسعه، ص ۶۱-۷۹.
- ۸- شمسی‌پور، ع. و شیخی، م.، ۱۳۸۹. پهنه‌بندی مناطق حساس و آسیب‌پذیری محیطی در ناحیه غرب فرس، با روش طبقه‌بندی فازی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۱۲، ص ۵۳-۶۸.
- ۹- صفاری، ا. و اخدر، آ.، ۱۳۹۱. مقایسه مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: جاده ارتباطی مریوان - سنندج)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۴، ص ۷۹-۹۶.
- ۱۰- طرح تفصیلی منطقه یک شهر تهران، ۱۳۸۶. ص ۸.
- ۱۱- قهرودی تالی، م.، پورموسوی، م. و خسروی، س.، ۱۳۹۱. بررسی پتانسیل تخریب لرزه‌خیزی با بکارگیری مدل‌های چند شاخصه (مطالعه موردی: منطقه یک شهر تهران)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۳، ص ۵۷-۶۸.
- ۱۲- ملکیان، آ.، افتادگان خوزانی، ا. و عشور نژاد، غ.، ۱۳۹۱. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه‌ی آبخیز اختراآباد با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۴، ص ۱۵۲-۱۳۱.
- ۱۳- مهندسین مشاور و بافت شهر، ۱۳۸۴. (تهیه الگوی توسعه و طرح تفصیلی منطقه و همکاری با شهرداری منطقه یک، معاونت شهرسازی و معماری شهرداری تهران)، ص ۲.
- ۱۴- نسیرین نژاد، ن.، رنگزن، ک.، کلانتری، ن. و صابری، ع.، ۱۳۹۳. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبریز باغان با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP)، سنجش از دور و سامانه

- فاضلاب تهران، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
- اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، شماره ۴، ص ۱۵-۳۴.
- نوروزی، ر.، ۱۳۹۵. آسیب‌پذیری و تحلیل ریسک سیلاب در شبکه توزیع آب منطقه یک آب و Urban Management Quarterly, v. 15, p. 120-134.
- Murat, E. and Candan, G., 2003. Use of fuzzy relation to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (west black sea region, turkey), Engineering geology, v. 75, 24 p.
- Sinha, R., Bapalu, G., Singh, L. and Rath, B., 2008. Flood Risk Analysis in the Kosi River Basin, North Bihar Using Multi-Parametric Approach of Analytical Hierarchy Process (AHP), Journal of Indian of Remote Sensing, v. 36, p. 335-349.
- Srinivas, V.V., Tripathia, Sh., Rao, A.R. and Govindaraju, R.S., 2008. "Regional flood frequency analysis by combining self-organizing feature map and fuzzy clustering" Journal of Hydrology, v. 348, p. 148-166.
- Todini, E., 1999. An Operational Decision Support System for Flood Risk Mapping, Forecasting and Management, Journal of Urban Water, v. 1, p. 131-143.
- United Nations settlements program me (UN-HABITAT), 2003. the challenge of slums: global report on human settlements, London: Earth sca.
- Willett, K. and Sharda, R., 1991. Using the Analytic Hierarchy Process in Water Resources Planning: Selection of Flood Control Projects, Journal of Socio-Economic Planning Sciences, v. 25, p. 103-112.
- Aksoy, B. and Ercanoglu, M., 2012. Landslide identification and classification by object-based image analysis and fuzzy logic: An example from the Azdavay region (Kastamonu, Turkey), Computers & Geosciences, v. 38, p. 92-97.
- Bhata, B., Sarawati, S. and Bandyopadhyay, D., 2010. Quantifying the degree-of-freedom, degree-of-sprawl, and degree-of-goodness of urban growth from remote sensing data, Applied Geography, v. 30, p. 96-111.
- Chang, D., 1996. Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP, European Journal of Operational Research, v. 95, p. 649-655.
- Chen J., Shufang Zhao, Huimin Wang, 2011. "Risk Analysis of Flood Disaster Based on Fuzzy Clustering Method" Energy Procedia, v. 5, p. 1915-1919.
- Egger, S., 2005. Determining a sustainable city model, Environmental Modeling & Software.
- Gorsevski, P.V., Jankowski, P. and Gelssler, P.E., 2006. Heuristic approach for mapping landslide hazard integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process, Control and Cybernetics, v. 35, p. 1-26.
- Messer, Y., 2003. Impact of Remote Sensing & GIS in Management of Cities Futures, Translated by Email Youssef,