

ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب

در شهر تهران

منیژه قهرودی تالی^۱، محمدرضا ثروتی^۲، مظفرصرافی^۳، موسی پور موسوی^۴،خه‌بات درفشی^۵

۱- نویسنده مسئول، دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

E-mail: M-Ghahroudi@sbu.ac.ir

۲- دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۳- استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۴- استادیار گروه برنامه ریزی شهری، دانشگاه امام حسین (ع)

۵- کارشناس ارشد ژئومورفولوژی

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۰/۱ تاریخ پذیرش: ۹۱/۲/۵

چکیده

مقدمه: آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب متغیر و پیچیده است. آسیب‌پذیری به پدیده‌هایی مانند بارش، رواناب، تمرکز آن و میزان در معرض آسیب قرارگرفتن نواحی پایین‌دست سیلاب بستگی دارد. آسیب‌پذیری سیلاب طی زمان و از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر متغیر است که علت آن شرایط خاص طبیعی، فعالیت‌های انسانی و فرهنگ مخاطره نزد جامعه در معرض خسارت می‌باشد. شهری مانند تهران با تغییرات زیاد سطح اجتماعی-اقتصادی و کیفی زندگی در نواحی مختلف و نیز تفاوت‌های ساختاری در بافت فیزیکی و کالبدی شهر، آسیب‌پذیری‌های جانی و خسارت مالی متفاوتی را در برابر سیلاب‌های شهری تجربه می‌کند.

روش‌ها: در این پژوهش، به منظور دستیابی به الگویی در تفاوت‌های آسیب‌پذیری، متغیرهای بلوک‌های با بافت فرسوده، تراکم جمعیت، کاربری اراضی و پل به عنوان عناصر فیزیکی در معرض

خطر و متغیرهای شیب و شبکه آبراهه به عنوان متغیرهای تشدید کننده آسیب‌پذیری بکار گرفته شده است. اولویت‌بندی و تعیین روابط بین این متغیرها با آسیب‌پذیری از طریق روش تحلیل سلسله مراتبی انجام گرفت و بر اساس نظرات کارشناسی، ماتریسی به ابعاد ۶×۶ جهت تعیین وزن معیار متغیرها برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری ایجاد شد.

یافته‌ها: نتایج تحلیل زونی میزان آسیب‌پذیری شهر تهران بر مبنای وزن‌های محاسبه شده از روش سلسله مراتبی را تعیین نمود. مناطق ۱۰، ۱۷، ۸ و ۱۱ آسیب‌پذیرترین بخش‌های شهر در برابر سیلاب‌های شهری هستند. در صورتیکه مناطق ۲۲، ۲۱، ۱۸ و ۵ کم‌ترین آسیب‌پذیری را در برابر وقوع سیلاب شهری دارند؛ این مناطق تقریباً عاری از بلوک‌های بافت فرسوده بوده و از نظر تراکم جمعیتی نیز نسبت به متوسط شهر تهران در سطح خیلی پایین‌تری قرار دارند. به‌ویژه منطقه ۲۲ که به دلیل جدیدبودن بافت شهری، نبود بافت فرسوده و تراکم خیلی پایین جمعیت و هم‌چنین توان آبدگذری بالا (مسیل رودخانه کن) آسیب‌پذیری پایینی دارد.

نتیجه‌گیری: وزن‌های معیار بدست آمده نشان می‌دهد که عامل تراکم جمعیت با ۰/۳۸۲۵ و عامل تراکم شبکه آبراهه با ۰/۰۴۲۸ به ترتیب بیشترین و کمترین وزن‌های معیار را در تعیین آسیب‌پذیری دارند. نقشه آسیب‌پذیری بیانگر آن است که ۱۳۸ کیلومتر مربع از مساحت شهر تهران در رده آسیب‌پذیری زیاد و خیلی‌زیاد قرار دارد. براساس نتایج تحلیل زونی نیز مناطق ۱۰ و ۲۲ بترتیب بیشترین و کمترین آسیب‌پذیری را در برابر سیلاب دارند.

کلمات کلیدی: سیلاب، آسیب‌پذیری، فرآیند سلسله مراتبی، شهرتهران

مقدمه

سیلاب از معمول‌ترین و مصیبت‌آمیزترین مخاطرات طبیعی است که جهان امروز با آن مواجه است. این مخاطره بیش از هر پدیده هیدرواقلمی دیگری خسارت و تخریب به‌بار می‌آورد (۱). سیلاب‌ها زندگی هزاران نفر را می‌گیرند و میلیاردها تومان خسارت به اموال انسان وارد می‌کنند؛ در مقایسه با سایر بلایای طبیعی، حدود ۲۰ درصد از مرگ و میرها و ۳۳ درصد از خسارت‌های اقتصاد جهانی را این مخاطره سبب می‌شود (۲). با رشد سریع شهرسازی و ایجاد و توسعه زیرساخت‌ها، سیلاب‌ها در نواحی شهری بیشتر و شدیدتر شده‌اند (۳). گسترش ساخت و ساز شهری و افزایش سطوح با نفوذپذیری کم و یا غیرقابل نفوذ باعث کاهش نفوذ آب حاصل از بارش، افزایش رواناب، دبی‌های بزرگتر، تغذیه کمتر آب‌های زیرزمینی و افزایش تغییرپذیری‌ها می‌شود. شهرسازی خطر سیلاب را بعلافت افزایش اوج و حجم دبی بیشتر کرده و زمان رسیدن دبی به اوج را نیز کاهش می‌دهد (۴،۵،۶). در نتیجه دست‌اندازی در محیط‌های طبیعی، حضور ساختارهای متعدد و نبود مقررات مناسب جهت محافظت از این محیط‌ها، شرایط رویداد سیلاب فراهم می‌شود که افزایش آسیب‌پذیری^۱ جوامع را در برابر سیلاب‌های شهری در پی دارد. آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب متغیر و پیچیده است. آسیب‌پذیری به پدیده‌هایی مانند بارش، روان‌آب ایجاد شده و تمرکز آن و میزان در معرض آسیب قرار گرفتن نواحی پایین‌دست سیلاب بستگی دارد. آسیب‌پذیری سیلاب طی زمان و از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر متغیر است که علت آن شرایط خاص طبیعی، فعالیت‌های انسانی و فرهنگ مخاطره نزد جامعه در

معرض خسارت می‌باشد. شهری مانند تهران با تغییرات زیاد سطح اجتماعی-اقتصادی و کیفی زندگی در نواحی مختلف و نیز تفاوت‌های ساختاری در بافت فیزیکی و کالبدی شهر، آسیب‌پذیری‌های جانی و خسارت مالی متفاوتی را در برابر سیلاب‌های شهری تجربه می‌کند. برآورد شده که ۲۱۵۰ نفر در رویداد سیل عظیم سال ۱۳۳۳ و ۳۰۰ نفر در سیل سال ۱۳۶۶ حوضه آبخیز دربند کشته شدند؛ از سال ۱۳۳۳ تا سال ۱۳۴۷ بر اثر ۱۰ رویداد سیل، ۲۲۲۶ نفر کشته شدند؛ طی سال‌های ۱۳۴۸ تا ۱۳۶۱ تعداد ۲۱ سیل روی داده که موجب مرگ ۲۵ نفر شده است و بالاخره، از سال ۱۳۶۲ تا سال ۱۳۷۴، ۳۰۵ نفر در ۱۲ خطر سیل جان خود را در شهر تهران از دست دادند (۷).

مدیریت آسیب‌پذیری در نتیجه سیلاب، از مهم‌ترین دغدغه‌های شهر تهران در رویارویی با سیلاب‌های شهری است که بهره‌گیری از مدل‌های کمی و کیفی و هم‌چنین سیستم اطلاعات جغرافیایی^۲ می‌تواند به مدیریتی جامع منجر شود. توجه به ویژگی‌های ژئومورفولوژیک حوضه‌ها و قابلیت سیل‌خیزی آنها، استفاده از روش تحلیلی و کمیت‌پذیری متغیرهای مؤثر در سیل‌خیزی، مدل‌سازی و مدیریت سیلاب شهری در مسیل‌ها، مدل‌های ریاضی و پهنه‌بندی سیلاب، ارزیابی ژئومورفولوژیکی توسعه شهر در قلمرو حوضه‌های زهکشی و بررسی تأثیر حوضه‌های بالادست بر رخداد سیلاب بخش‌های مسکونی با کاربرد مدل یکپارچه سیلاب شهری در کلان‌شهرها نمونه‌ای از تلاش‌های انجام شده در ارتباط با مدیریت جامع سیلاب کلان‌شهر تهران و کاهش آسیب‌پذیری ناشی از رخداد این مخاطره می‌باشد (۸،۹،۱۰،۱۱).

^۱. Vulnerability

^۲. Geographical Information System

در پژوهش حاضر، تغییرات آسیب‌پذیری سیلاب در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی^۱ و تحلیل زونی^۲ بررسی می‌شود. این بررسی بر مبنای متغیرهای آسیب‌پذیر در مقابل سیلاب انجام می‌گیرد تا در نهایت بتوان به الگوی دست یافت که تفاوت‌های ساختاری آسیب‌پذیری را بین این مناطق تشریح نماید.

شهر تهران با وسعتی حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع در موقعیت جغرافیایی ۳۶°۴۱' تا ۳۶°۵۱' طول شرقی و ۳۴°۳۵' تا ۳۵°۴۹' عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). این شهر از شمال به رشته کوه‌های البرز، از شرق به لواسانات، از غرب به کرج و از جنوب به ورامین محدود می‌شود. اختلاف بلندی ناگهانی و شدید میان شهر تهران (با میانگین ارتفاع ۱۳۰۰ متر) و نزدیک‌ترین تیغ کوه به آن در یک فاصله‌ی کمتر از ده کیلومتر (تیغ توچال با بلندی ۳۹۳۳ متر) از ویژگی‌های توپوگرافی این گستره است (۱۲). تهران از نظر تقسیمات اداری به ۲۲ منطقه، ۱۱۹ ناحیه و ۳۶۲ محله تقسیم می‌شود.

توپوگرافی خاص تهران، ارتفاع نسبتاً زیاد از سطح دریا و اختلاف ارتفاع در نقاط مختلف شهر، رشد فزاینده جمعیت، توسعه واحدهای صنعتی در حومه تهران (که مسبب رشد ناموزون شده)، وجود رشته کوه‌های البرز در شمال و دشت‌های کویر در جنوب و جنوب شرق، شرایط اقلیمی پیچیده‌ای را برای گستره شهر تهران ایجاد کرده است (۱۳). آب و هوای این شهر در نواحی جنوبی گرم و خشک است، اما در مجاورت کوهستان دارای اقلیمی سرد و نیمه مرطوب و در نواحی مرتفع‌تر اقلیمی سرد همراه با زمستان‌های طولانی می‌باشد.

روش‌ها

در این پژوهش متغیرهای موثر در ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت‌های فیزیکی تهران که شامل عناصر در معرض

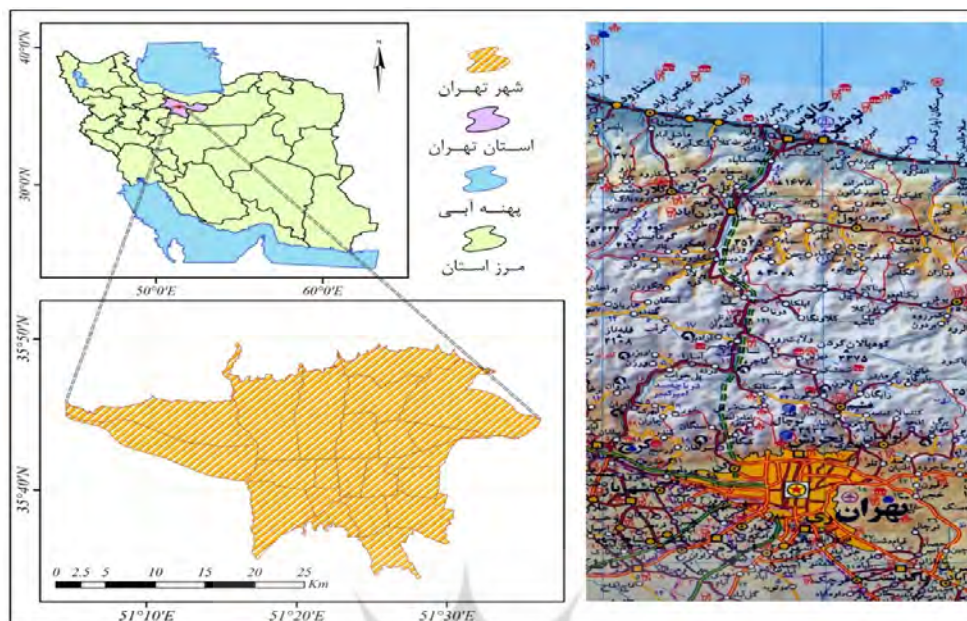
خطر^۳ و عناصر تشدیدکننده براساس نمودار شکل ۲ انتخاب شده است. متغیرهای در معرض خطر عناصری هستند که از وقوع سیلاب صدمه می‌بینند و شامل بلوک‌های متراکم با بافت فرسوده است که هنگام وقوع سیلاب، دچار آبگرفتگی و تخریب می‌شود و سازه‌های شهری هستند که جمعیت زیادی را در خود جای داده‌اند. چون هنگام وقوع سیلاب شهری تراکم جمعیت ریسک سیلاب را بالا می‌برد، لذا دو متغیر اخیر انتخاب شدند، نوع کاربری به دلیل اینکه که کاربری‌هایی که تراکم بیشتری را ایجاد می‌کنند، خطر تجمع آب را افزایش می‌دهند، مورد استفاده قرار گرفت. همچنین پل‌ها از سازه‌های شهری هستند که هنگام وقوع سیلاب در گیر آبگرفتگی و هجوم اشیای منقول در آب می‌شوند، لذا به دلیل صدمات ناشی از سیلاب در تحلیل مورد استفاده قرار گرفت. دو متغیر مسیله‌ها و شبکه زهکشی شهری و شیب زمین در شرایط خاص کمک به گسترش سیلاب شهری می‌کنند، در نتیجه به عنوان عناصر تشدیدکننده در نظر گرفته شدند. متغیرهای فوق به ترتیب زیر تهیه شدند.

- متغیر کاربری اراضی در تهران مشتمل بر ۹ کاربری است که عبارتند از مسکونی، فضای سبز، تأسیسات و تجهیزات شهری، صنعتی، تجاری، حمل و نقل و انبار، نظامی، اراضی بایر و معادن شن و ماسه. جدول ۱ مساحت و درصد مساحت این کاربری‌ها را در گستره شهر تهران نشان می‌دهد. با توجه به جدول، کاربری مسکونی بیشترین درصد از مجموع مساحت شهر تهران را بخود اختصاص می‌دهد (۳۵/۰۹)، پس از آن فضای سبز ۲۰/۲۸ درصد از مساحت این گستره را دربرمی‌گیرد. در مقابل، کاربری معادن شن و ماسه با ۱/۷ درصد از مجموع مساحت شهر تهران، کم مساحت‌ترین نوع کاربری است (شکل ۳).

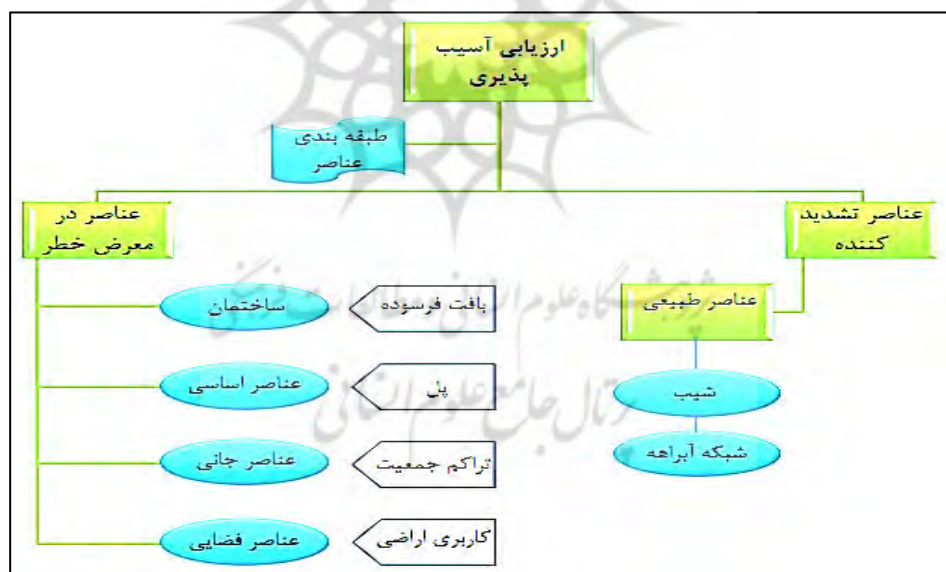
¹. Analytic Hierarchy Process (AHP)

². Zonal Statistic

³. Element at Risk



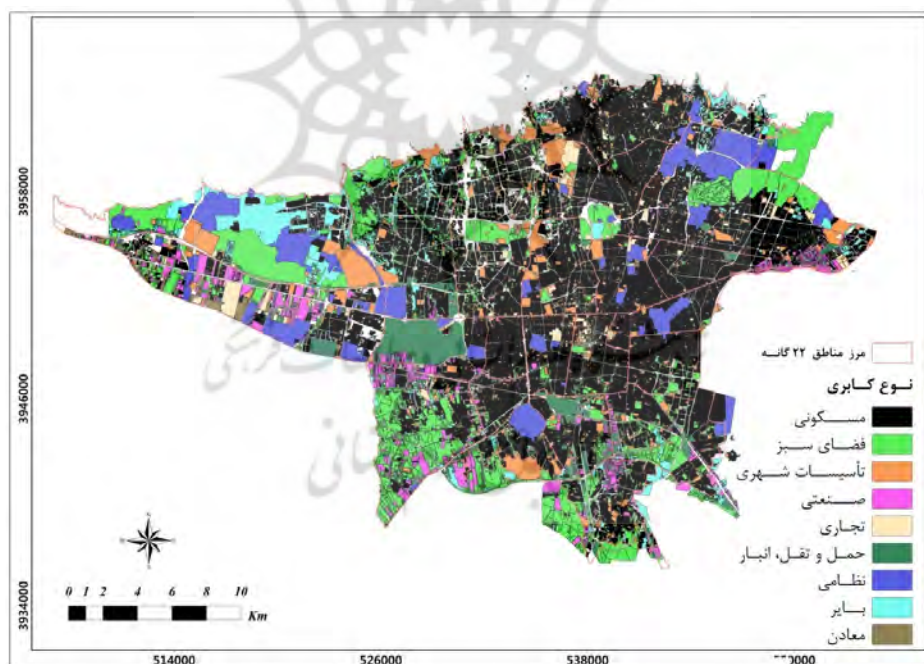
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهر تهران (مأخذ: نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰,۰۰۰)



شکل ۲. متغیرهای مؤثر در آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در کلان‌شهر تهران (مأخذ: نگارندگان)

جدول ۱. مساحت و درصد مساحت کاربری‌های اراضی شهری ۹ گانه در شهر تهران (استخراج از نقشه ۳)

درصد مساحت	مساحت (Km ²)	نوع کاربری
۳۵.۰۹	۱۷۴.۵۸	مسکونی
۲۰.۲	۱۰۰.۸۴	فضای سبز
۹.۵۴	۷۴.۴۴	تأسیسات و تجهیزات شهری
۵.۱۶	۲۵.۶۹	صنعتی
۵.۲۴	۲۶.۰۷	تجاری
۵.۸۲	۲۸.۹۴	حمل و نقل و انبار
۹.۳۴	۴۶.۴۶	نظامی و انتظامی
۷.۸۴	۳۹	بایر
۱.۷۰	۸.۴۵	معادن شن و ماسه



شکل ۳. نقشه کاربری اراضی شهر تهران (مأخذ: طرح تفصیلی شهر تهران، ۱۳۸۵)

توسط سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران گزارش شده است (شکل ۶).

- به دلیل اینکه جریان سریع رواناب در شیب‌های بالای شمال شهر تهران به همراه کاهش سرعت رواناب در شیب‌های پایین جنوب شهر و افزایش احتمال آبگرفتگی، می‌تواند به عنوان نقش تغییر میزان شیب در الگوی سیلاب شهر تهران در نظر گرفته شود، متغیر شیب از تصاویر راداری استر^۴ استخراج شده است (شکل ۷).

- رودخانه‌ها و مسیل‌های شهری دارای مسائل و مشکلات عمده‌ای می‌باشند که یکی از مهم‌ترین این مشکلات، محدود شدن آن‌ها به کانال اصلی آن و ساخت و ساز در محدوده اطراف می‌باشد. آنچه که به این مسأله اهمیت می‌بخشد افزایش خطرات سیلاب با کاهش محدوده عبور رواناب است (شکل ۸). فعالیت‌های انسانی تأثیرات غیرقابل انکاری بر رودخانه‌ها و مسیل‌های شهر تهران داشته که این مداخله چندان موفقیت‌آمیز نبوده است. سیستم هیدرولوژیکی که هندسه رودخانه را قبل از توسعه تعیین کرده به صورت تغییرناپذیری دگرگون شده تا شدت جریان‌های بالاتری را به طور مکرر ایجاد کند.

- متغیر بافت فرسوده براساس شاخص‌های مصوب شورای عالی شهرسازی و معماری (ناپایداری^۱، نفوذناپذیری^۲ و ریزدانگی^۳) تعریف شد و بدین ترتیب وسعت پهنه‌های ناپایدار شهر تهران ۱۴۷۹۲ هکتار بوده که ۳۲۶۸ هکتار آن به دلیل دارا بودن هر سه شرط فرسودگی (ناپایداری، نفوذناپذیری و ریزدانگی)، به عنوان بافت فرسوده در نظر گرفته شد. وسعت زیاد بافت‌های فرسوده با تراکم بالای جمعیت و آسیب‌پذیری این بافت در مقابل مخاطرات محیطی از جمله سیلاب شهری، یکی از مهم‌ترین چالش‌های شهر تهران به شمار می‌رود که بیشتر آن در مناطق ۷ تا ۱۸ متمرکز شده است. البته قسمت‌های از مناطق ۱ و ۲۰ نیز بافتی فرسوده دارند (شکل ۴).

- متغیر تراکم جمعیت در شهر تهران بر مبنای آمار جمعیتی در سال ۱۳۸۸ در واحدهای نواحی و براساس روش تیسن تهیه شده است و بیشترین تراکم جمعیتی در مناطق ۸، ۱۰، ۱۴، ۱۵، ۱۷، ۲۰ و بخش‌هایی از منطقه یک مشاهده می‌شود؛ در حالیکه مناطق ۲۱ و ۲۲ کم‌تراکم‌ترین بخش‌های جمعیتی می‌باشند. تراکم جمعیت در شهر تهران از ۲۶۸ تا ۵۹۶۸۵ نفر در کیلومتر مربع متغیر می‌باشد (شکل ۵).

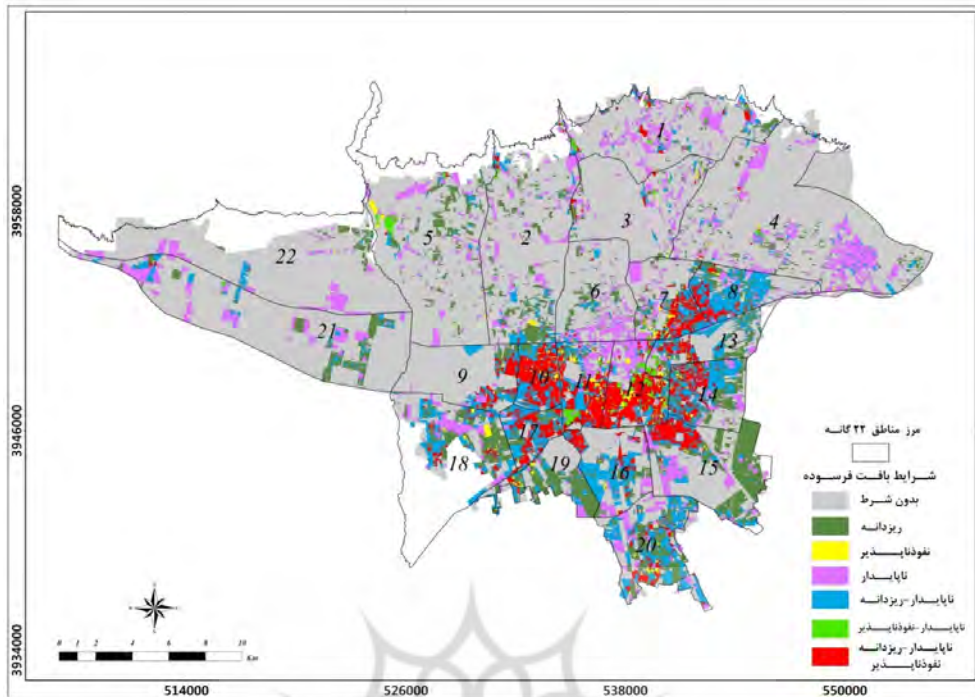
- به دلیل اینکه آبگرفتگی دهانه پل‌ها در هنگام بارش‌های شدید از جمله شایع‌ترین معضلات رواناب‌های شهر تهران می‌باشد، متغیر فاصله از پل نیز در نظر گرفته شد. در تهران ۱۲۷ روگذر و پل

^۱. بلوک‌های ناپایدار بلوک‌هایی هستند که حداقل ۵۰ درصد قطعات آن‌ها غیر مقاوم است.

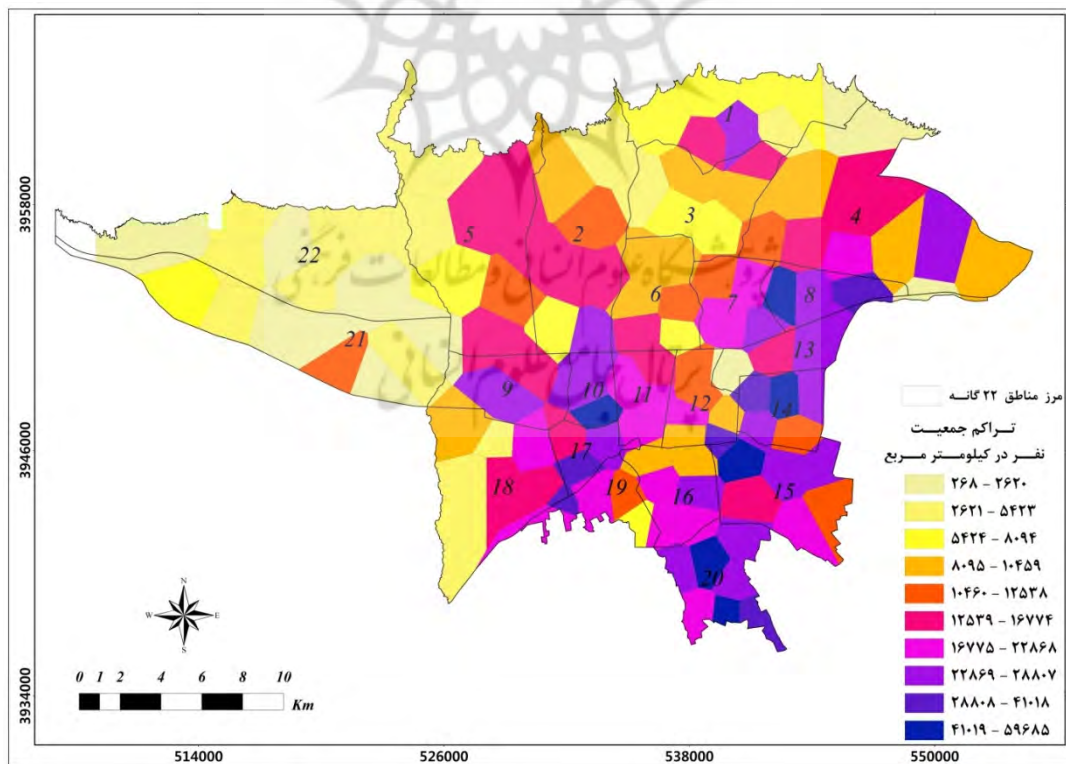
^۲. بلوک‌های نفوذناپذیر بلوک‌هایی هستند که حداقل ۵۰ درصد عرض معابر آن‌ها کم‌تر از ۶ متر است.

^۳. بلوک‌های ریزدانه بلوک‌هایی هستند که حداقل ۵۰ درصد قطعات آن‌ها دارای مساحتی زیر ۲۰۰ متر مربع هستند.

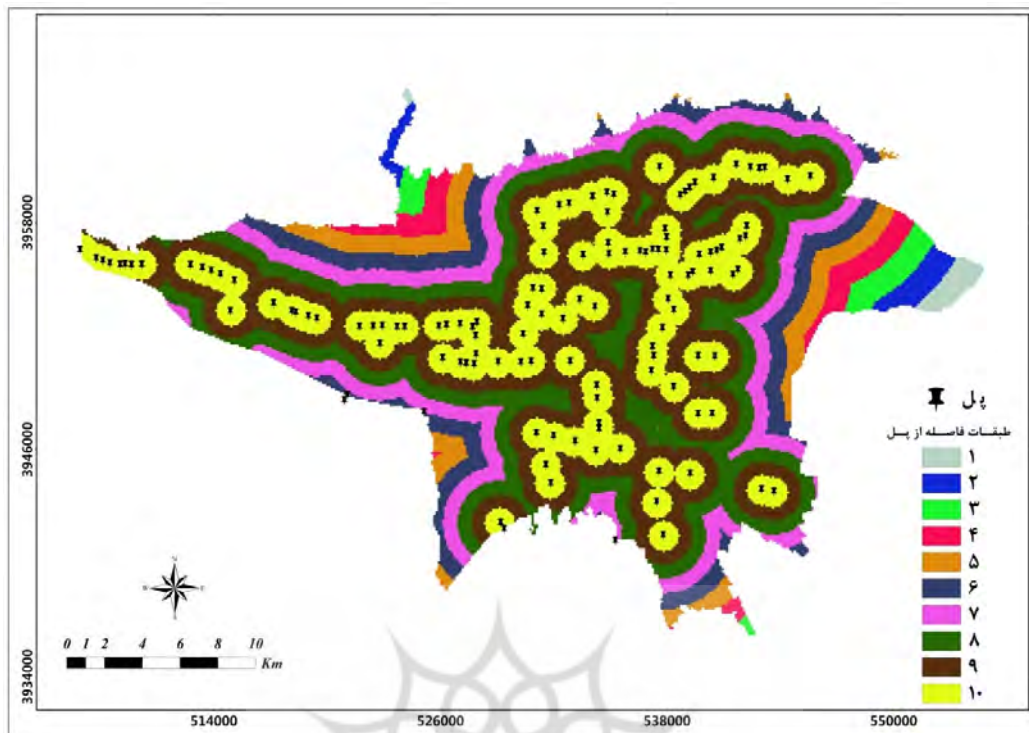
^۴ASTER



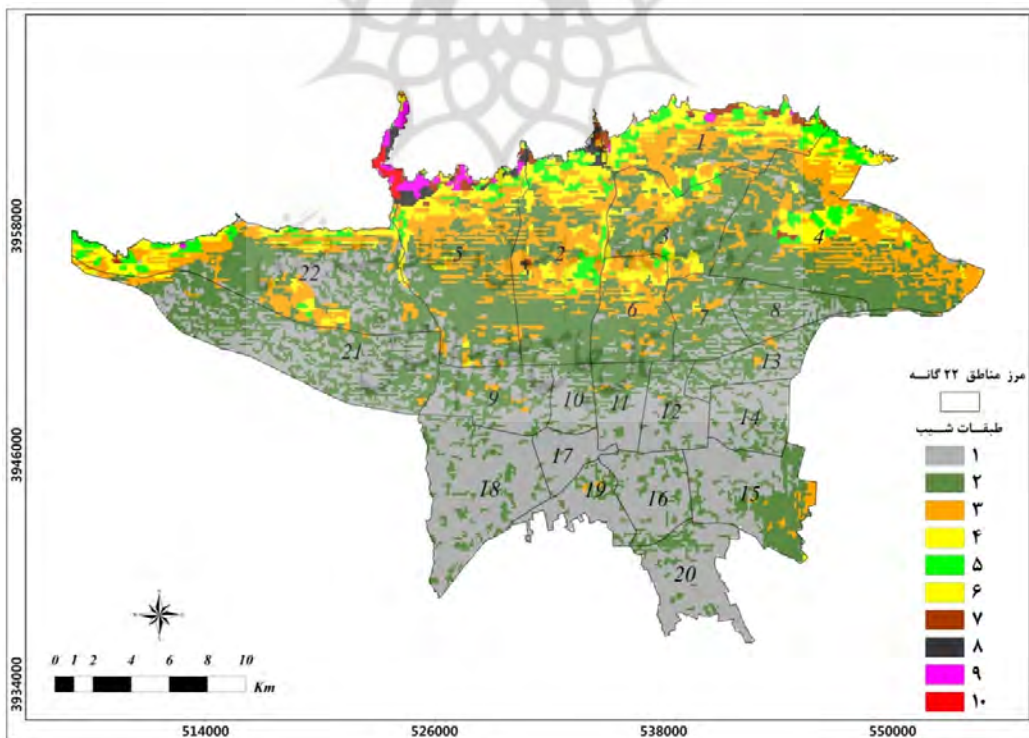
شکل ۴. نقشه بلوک‌های با بافت فرسوده شهر تهران (براساس شاخص‌های مصوب شورای عالی شهرسازی و معماری)



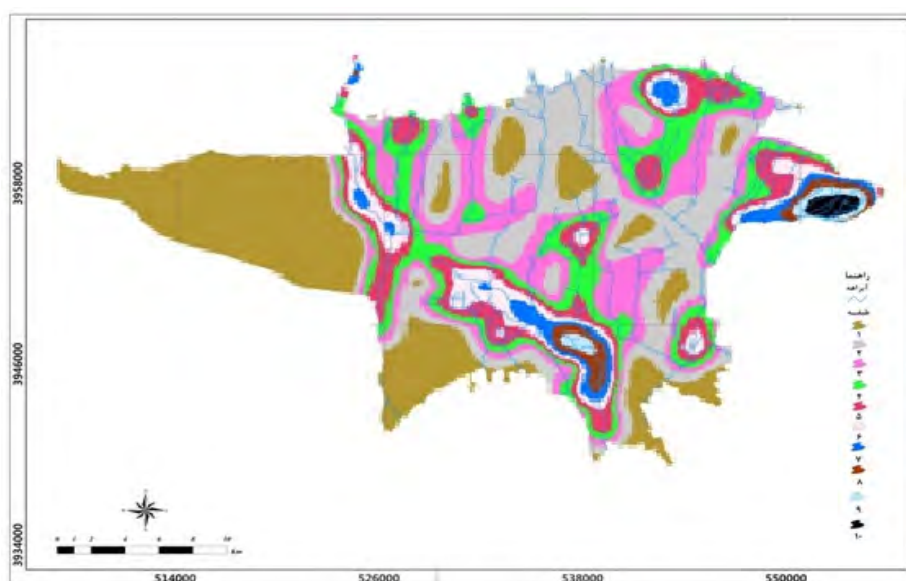
شکل ۵. نقشه تراکم جمعیت شهر تهران (مأخذ: مرکز آمار، ۱۳۸۲)



شکل ۶. نقشه فاصله از پل‌های شهر تهران (براساس گزارش سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران)



شکل ۷. نقشه طبقات شیب شهر تهران (استخراج از تصاویر راداری استر)



شکل ۸. نقشه تراکم آبراهه و مسیل شهر تهران (تهیه شده براساس طرح جامع تهران)

مقایسه‌ای در سطوح مختلف سلسله مراتب توسط این روش فراهم شده و با ترکیب بُردارها، ضرایب وزنی گزینه‌های مختلف محاسبه می‌شوند (۱۶). بطور کلی تحلیل سلسله مراتبی روشی است که امکان تصمیم‌گیری صحیح با حضور معیارهای کیفی، کمی و ترکیبی را فراهم می‌کند. جهت ارزیابی ابتدا بین آسیب‌پذیری و هر کدام از این پارامترها رابطه‌ای خطی بصورت مستقیم و یا معکوس تعریف گردید. بدین ترتیب که در صورت افزایش آسیب‌پذیری در ارتباط با ارزش هر متغیر، بین دو متغیر، رابطه خطی مستقیم و در غیر اینصورت خطی معکوس برقرار شد. تعریف این رابطه‌ها نیازمند این است که هر متغیر دارای ارزش‌های مشخصی باشد؛ به عبارتی امکان برقراری ارتباط بین آسیب‌پذیری با کم یا زیاد شدن ارزش متغیرها فراهم شود. بر مبنای اهمیت متغیرها در ارتباط با آسیب‌پذیری، و رابطه خطی یا غیرخطی آنها، اولویت‌بندی آنها جهت اجرای مدل آسیب‌پذیری با روش AHP متغیرها مقایسه و وزن دهی شد (جدول ۲).

رسیدن به الگویی جامع از تغییرپذیری رفتار سیلاب و آسیب‌پذیری آن، جهت مدیریت سیلاب‌های کلان‌شهر تهران نیازمند دانشی آگاهانه از وضعیت بخش‌های مختلف این شهر در مقابل سیلاب‌هاست. در این پژوهش از روش تحلیل سلسله مراتبی برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری شهر تهران استفاده شده است. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی جهت استخراج مقیاس‌های نسبی از مقایسه‌ی زوجی داده‌های گسسته و پیوسته به کار می‌رود. این مقایسه‌ها ممکن است برای اندازه‌گیری‌های واقعی به کار رود یا این که نشان‌دهنده‌ی وزن نسبی ترجیحات باشد (۱۴). AHP روشی است منعطف، قوی و ساده که می‌تواند برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد، انتخاب بین گزینه‌ها را مشکل ساخته (۱۵) و هم‌چنین برای تصمیم‌گیری در یک فضای چندبعدی مورد استفاده قرار گیرد. AHP روش ساده‌ی محاسباتی برای عملیات اصلی بر روی ماتریس‌هاست. با ایجاد سلسله مراتب مناسب و پردازش گام به گام، امکان ساخت ماتریس‌های

جدول ۲. الگوی وزن‌دهی طبقات متغیرها و اولویت‌بندی آن‌ها در محیط AHP براساس آسیب‌پذیری (مأخذ: نگارندگان)

وزن متغیر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
کاربری اراضی (CN)	۸۲	۷۰	۸۵	۹۸	۹۰	۹۷	۸۸	۹۳	۹۲	۹۵
بافت فرسوده	بدون شرط	ریزدانه	-	نفوذپذیر	-	ناپایدار	-	-	ناپایدار-نفوذناپذیر	ناپایدار-نفوذناپذیر
فاصله از پل (m)	۸۸۲۸-۱۰۴۱۱۶	۷۴۰۴-۸۸۲۸	۶۰۳۱-۷۴۰۴	۴۸۴۱-۶۰۳۱	۳۸۶۵-۴۸۴۱	۳۰۱۰-۳۸۶۵	۲۳۳۷-۳۰۱۰	۱۵۰۵-۲۳۳۷	۸۱۳-۱۵۰۵	۰-۸۱۳
تراکم جمعیت	۲۶۸-۲۸۲۱	۲۸۲۱-۵۶۰۶	۵۶۰۶-۷۹۲۷	۷۹۲۷-۱۰۷۱۲	۱۰۷۱۲-۱۳۷۲۹	۱۳۷۲۹-۱۷۴۴۳	۱۷۴۴۳-۲۲۷۸۱	۲۲۷۸۱-۲۸۵۸۴	۲۸۵۸۴-۴۰۸۸۵	۴۰۸۸۵-۵۹۶۸۵
شیب (به درجه)	۰-۱.۲۸	۱.۲۸-۲.۵	۲.۵-۵.۵	۵.۵-۸.۰۶	۸.۰۶-۱۱.۱۷	۱۱.۱۷-۱۵.۳	۱۵.۳-۲۰.۴	۲۰.۴-۲۶.۴	۲۶.۴-۳۴.۳	۳۴.۳-۵۳
تراکم شبکه آبراهه (Km/Km ²)	۰-۱.۳	۱.۳-۴	۴-۶	۶-۹.۵	۹.۵-۱۲.۶	۱۲.۶-۱۶.۱	۱۶.۱-۲۰.۵	۲۰.۵-۲۶.۲	۲۶.۲-۳۳.۵	۳۳.۵-۴۳

یافته‌ها

متغیرهای مؤثر در آسیب‌پذیری که شامل کاربری اراضی، بلوک‌های با بافت فرسوده، فاصله از پل، تراکم جمعیت، شیب و تراکم شبکه آبراهه است جهت تعیین وزن کلی، اولویت‌بندی آنها بر اساس روابط موجود در ماتریسی به ابعاد ۶×۶ برای مقایسه دو به دو متغیرها و تعیین ارجحیت آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳).

جدول ۳. ماتریس متغیرهای مؤثر در تهیه نقشه آسیب‌پذیری سیلاب کلان‌شهر تهران (مأخذ: نگارندگان)

متغیر	تراکم جمعیت	بافت فرسوده	کاربری اراضی	فاصله از پل	شیب	تراکم شبکه آبراهه
تراکم جمعیت	۱	۰.۳۳	۰.۳۳	۰.۳۳	۰.۳۳	۰.۳۳
بافت فرسوده	۰.۵	۱	۰.۳۳	۰.۳۳	۰.۳۳	۰.۳۳
کاربری اراضی	۰.۳۳	۰.۳۳	۱	۰.۳۳	۰.۳۳	۰.۳۳
فاصله از پل	۰.۲۵	۰.۳۳	۰.۳۳	۱	۰.۳۳	۰.۳۳
شیب	۰.۲	۰.۲۵	۰.۳۳	۰.۳۳	۱	۰.۳۳
تراکم شبکه آبراهه	۰.۱۶	۰.۲	۰.۲۵	۰.۳۳	۰.۳۳	۱

تراکم جمعیت، T بلوک‌های با بافت فرسوده، B فاصله از پل، S شیب و D تراکم شبکه آبراهه می- باشد. شکل ۹ نقشه آسیب‌پذیری گستره شهر تهران را در مقابل سیلاب نشان می‌دهد. ارزش صفر پهنه‌های با کم‌ترین و ارزش یک پهنه‌های با بیش‌ترین آسیب‌پذیری را نشان می‌دهند. این پهنه‌ها به پنج رده آسیب‌پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی شده است.

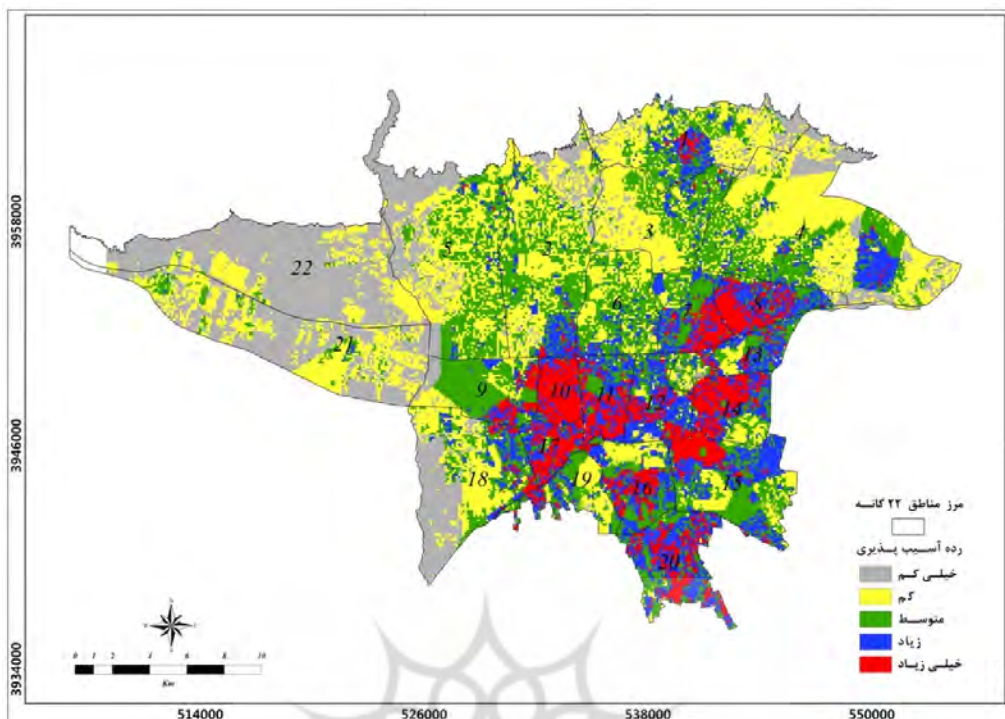
برای محاسبه مقادیر و بردار ویژه، پس از نرمال نمودن ماتریس وزن نسبی (ضرایب) برای متغیرها محاسبه شد (شکل ۹). وزن‌های نسبی (ضرایب)، به عنوان میزان تأثیرگذاری هر متغیر در تعیین آسیب‌پذیری مورد استفاده قرار گرفتند. به عبارتی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در کلان‌شهر تهران به صورت تابعی از این ضرایب در تعریف رابطه ۱ تعریف شد که در این رابطه، V آسیب‌پذیری، P

رابطه ۱:

$$V = (0.3825P) + (0.2504T) + (0.1596B) + (0.1006S) + (0.0428D)$$



شکل ۸. وزن نسبی متغیرهای مؤثر در آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب (مأخذ: نگارندگان)



شکل ۹. نقشه پتانسیل خطر سیلاب کلان‌شهر تهران (مأخذ: نگارندگان)

بحث و نتیجه‌گیری

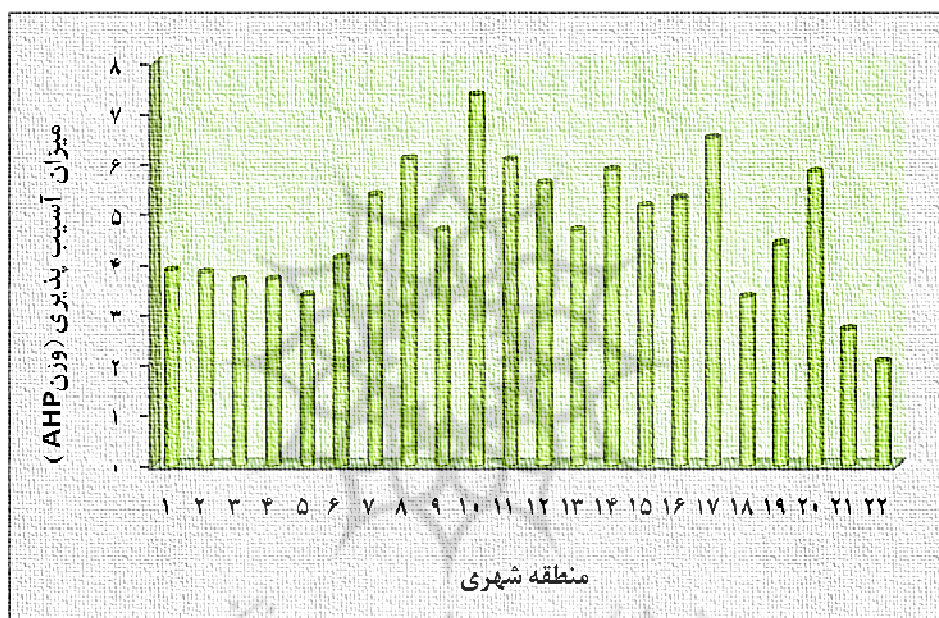
و شدت مخاطره تنها عامل مؤثر در میزان ریسک نیست، بلکه ریسک سیلاب به میزان در معرض مخاطره بودن ساخت و سازها و چگونگی آسیب‌پذیری آن‌ها نیز بستگی دارد.

جدول شماره ۴ مساحت و درصد مساحت‌بندی رده آسیب‌پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد در مقابل سیلاب را نشان می‌دهد. با توجه به جدول زیر، رده آسیب‌پذیری کم با ۱۸۷/۷۱ کیلومتر مربع بیش‌ترین مساحت از شهر تهران را در بر گرفته است که معادل ۳۰/۹۴ درصد از مجموع مساحت شهر می‌باشد؛ پس از آن، پهنه‌های با رده آسیب‌پذیری متوسط ۱۵۲/۳۳ کیلومتر مربع مساحت دارند (۲۵/۱۱ درصد). رده خیلی زیاد کم‌مساحت‌ترین رده آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در کلان‌شهر تهران می‌باشد که ۸/۸ درصد از مجموع مساحت شهر در این رده قرار دارد.

نقشه پتانسیل خطر سیلاب نمی‌تواند به طور کامل اطلاعات مورد نیاز در مدیریت سیلاب شهری را فراهم کند؛ داشتن اطلاعات در باره‌ی میزان خسارت و تخریب در ناحیه‌ی سیل‌زده بسیار مهم می‌باشد که این اطلاعات تنها از طریق شدت مخاطره قابل پیش‌بینی نیست؛ بلکه به شرایط ساخت و ساز نیز بستگی دارد. پیش‌بینی ریسک ناشی از مخاطره نیاز به بررسی دقیق علت‌های ایجاد خسارت دارد که از طریق در نظر گرفتن پتانسیل ایجاد خطر و آسیب‌پذیری فراهم می‌شود. بنابراین ترکیبی از مخاطره سیلاب با دیگر پارامترها نیاز است که موجب ایجاد اطلاعات دقیق‌تر برای مدیریت سیلاب شهری گردد. برای دستیابی به این هدف، تحلیل آسیب‌پذیری به منظور بررسی تأثیر رخداد سیلاب بر اموال و زندگی انسان در نواحی شهری ابزاری مفید می‌باشد. احتمال

جدول ۴. درصد مساحت بهنه‌های پتانسیل خطر سیلاب کلان‌شهر تهران (استخراج از نقشه ۹)

درصد	مساحت (Km ²)	ارزش	رده آسیب‌پذیری
۲۱.۱۹	۱۲۸.۵۵	۰.۰۰۰۲۶-۰.۲۲	خیلی کم
۳۰.۹۴	۱۸۷.۷۱	۰.۲۳-۰.۳۷	کم
۲۵.۱۱	۱۵۲.۳۳	۰.۳۸-۰.۵۲	متوسط
۱۳.۹۶	۸۴.۶۹	۰.۵۳-۰.۷۱	زیاد
۸.۸۰	۵۳.۳۶	۰.۷۲-۱	خیلی زیاد



شکل ۱۰. میزان آسیب‌پذیری مناطق ۲۲ گانه کلان‌شهر تهران در مقابل سیلاب (مأخذ: نگارندگان)

بافت فرسوده بوده و از نظر تراکم جمعیتی نیز نسبت به متوسط شهر تهران در سطح خیلی پایین‌تری قرار دارند. بویژه منطقه ۲۲ که به دلیل جدید بودن بافت شهری، نبود بافت فرسوده و تراکم خیلی پایین جمعیت و هم‌چنین توان آب‌گذری بالا (مسیل رودخانه کن) آسیب‌پذیری پایینی دارد.

نقشه آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب می‌تواند بازتاب مناسبی از وضعیت اجتماعی و اقتصادی مناطق

با استفاده از تحلیل زونی، میزان آسیب‌پذیری مناطق ۲۲ گانه شهر تهران بر مبنای وزن‌های محاسبه شده از روش سلسله مراتبی در شکل ۱۰ آورده شده است. بر اساس شکل، مناطق ۱۰، ۱۷، ۸ و ۱۱ آسیب‌پذیرترین بخش‌های شهر در برابر سیلاب‌های شهری هستند. در صورتیکه مناطق ۲۲، ۲۱، ۱۸ و ۵ کم‌ترین آسیب‌پذیری را در برابر وقوع سیلاب شهری دارند؛ این مناطق تقریباً عاری از بلوک‌های

تهران است. به طور کلی مناطق ۱۰، ۱۷، ۸ و ۱۱ به دلیل دارا بودن بافت فرسوده، تراکم جمعیت، توان آنگذری پایین و تراکم بافت مسکونی آسیب‌پذیرترین بخش‌های شهر در برابر سیلاب‌های شهری هستند. مناطق ۲۲، ۲۱، ۱۸ و ۵ کم‌ترین آسیب‌پذیری را در برابر وقوع سیلاب شهری دارند؛ این مناطق تقریباً ساختار جدیدتری دارند و متوسط جمعیت کمتری آنها را اشغال نموده است، بویژه منطقه ۲۲ که تراکم خیلی پایین جمعیت و همچنین توان آنگذری بالای مسیل کن، آسیب‌پذیری پایینی دارد.

مختلف شهر تهران از نظر آسیب‌پذیری ارائه دهد؛ به طوریکه آسیب‌پذیرترین بخش‌های شهری بر بافت‌های فرسوده‌ی با تراکم جمعیتی بسیار بالا منطبق است. بافت‌های ریزدانه ناپایدار در کنار تخریب مسیل‌های عمده انتقال رواناب در بخش‌های جنوبی، مرکزی و شرقی شهر تهران می‌تواند از علت‌های اصلی آسیب‌پذیر بودن این بخش‌ها در مقابل سیلاب باشد.

چون بیشترین مساحت تهران به کاربری مسکونی در مناطق ۷ تا ۱۸ با بلوک‌های فرسوده اختصاص دارند، لذا بیشترین صدمه سیلاب متوجه این مناطق در

References

1. NOAA/NWS. 2009. *Flood losses: complication of flood loss statistics* [Online]. NOAA gov climate research Centre. Available: [http://www.weather.gov/oh/hic/floodstats/Flood Loss time series. shtml](http://www.weather.gov/oh/hic/floodstats/Flood%20Loss%20time%20series.shtml) [Accessed 25.08.2009].
2. IF-NET 2005. *Flood net brochure*.
3. Bhattacharya, Namrata. 2010. *Flood risk assessment in barcelonate, France*. Of master, International institute for geo-information science and earth observation enschede (ITC), the Netherlands.
4. Saghafian B., Farzoo H, Bozorgy B and Yazdandoost F, 2008, *Flood intensification due to changes in land use*. Water Resource Management. 22, pp. 1051-1067. [In Persian]
5. Campana N. A. and E. M. C. Tucci. 2001. *Predicting floods from urban development scenarios: Case study of the Diluvio basin, Porto Alegre, Brazil*. Urban Water 3: pp. 113-124.
6. Nirupama N. and S. P. Simonovic. 2007. *Increase of flood risk due to urbanization: A Canadian example*. Natural Hazards. 40, pp. 25-41. [In Persian]
7. Ministry of Jihad-e-Agriculture (Iran), 1993.
8. Yamani M., Enayati M. 2005. *The relation between basins geomorphologic characteristics and flooding potential (analyzing of the flood data by geomorphologic compare of the Fashand and Behjatabad Basins)*. Geographical Researches 54: 47-57. [In Persian]
9. Kavianpour M.R., and Sofiani H. *Bita. Modeling and urban flood management in Bakhtar and Manouchehri Watercourse using GIS*. [In Persian]
10. Moghimi E. and Safari A. 2010. *Geomorphological assessment of the urban development in the surface drainage network territory, case study: Tehran metropolis*. Human Science Journal 14:1. [In Persian]
11. Ghahroudi Tali M. 2010, *Impact of the Tehran upstream watershed on flooding in the residential area of Tehran, case study: impact of Farahzad basin on municipal 2*. Urban Flood Management Conferences. [In Persian]
12. Barbarian M. 1991. *Tectonic and deep tectonic study and earthquake risk of the fault in Tehran development*. National Geology Survey. [In Persian]
13. Mohamadi H. and Taghavi F. 2006. *Trend of the temperature and precipitation limit indices in Tehran*. Geographical Researches 53: 151-172. [In Persian]
14. Saaty, T L. 2004. *Mathematical methods of operations research*, Courier Dover Publications. New York.
15. Zebardast E. 2001. *Implication of the Hierarchical Analysis Process in the urban and regional planning*. Beauty Arts 10. [In Persian]
16. Jinfeng, Yue. 2002. *Generating ranking groups in Analytical Hierarchy Analysis*. Dublin. Johnwiely & Sons press.

Flood vulnerability assessment in Tehran city

Corresponding Author: Dr Manijeh Ghahroudi Tali, Associate Professor, Earth Science Faculty, Shahid Beheshti University **E-mail:** M-Ghahroudi@sbu.ac.ir

Dr Reza Sarvati, Associate Professor, Earth Science Faculty, Shahid Beheshti University

Dr Mozaffar Sarrafi, Associate Professor, Earth Science Faculty, Shahid Beheshti University

Dr Mousa Pourmoosavi, Assistant Professor, Urban Planning Department, Imam Hossein University
Khabat Derafshi, Master of Geomorphology

Received: 2011-12-22

Accepted: 2012-01-24

Abstract

Background: Flood vulnerability is variable and complex that depends on very phenomena such as rainfall, runoff and high exposure of the flooding downstream areas. Flood vulnerability changes over time and from regions due to natural conditions, human activities, and damage culture of the community at risk. Tehran city may be experiences the difference life and property damages because the high varieties in the socio-economic and the life quality level in regions, also structural varieties in the city fabric.

Methods: In this study, the blocks with weak texture, population density, land use, bridge, slope and drainage density are defined as element at risk to assess the vulnerability differences pattern. Prioritization and the relationship between this variables and vulnerability was done through Analytic Hierarchy Process; based on expert opinions created a matrix with 6×6 dimensions to determine the variables relative weight and vulnerability map.

Results: Zonal analysis determined the vulnerability in Tehran, which the weights calculated on the basis of the hierarchical process. Zones 10, 17, 8 and 11 are affected against floods urban very high, while zones 22, 21, 18 and 5 are very low. These zones are lack of the blocks with weak texture and their population is low, especially zone 22 is not weak texture, low density population and high potential of flow of Kan watercourse.

Conclusion: The resulted relative weights show the population density with 0.3825 and drainage density with 0.0428 as highest and lowest relative weight, respectively. The vulnerability map defines that 138 km² of the Tehran city area is located in high and very high categories of the vulnerability. Finally based on zonal statistic municipal 10 and 22 have highest and lowest vulnerability, respectively.

Keywords: Flooding, Vulnerability, Analysis Hierarchical Process (AHP), Tehran City