ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در شهر تهران

دکتر منیژه قهرودی تالی[1]، دکتر محمدرضا ثروتی[2]، دکتر مظفر صرافی[3]، دکتر موسی پور موسوی[4]، خه‌بات درفشی[5]

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- استادیارگروه 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 آبگذری 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

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

سیلاب از معمول‌ترین و مصیبت‌آمیزترین مخاطرات طبیعی است که جهان امروز با آن مواجه است. این مخاطره بیش از هر پدیده هیدرواقلیمی 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 بعلت افزایش اوج و حجم دبی بیشتر کرده و زمان رسیدن دبی به اوج را نیز کاهش می‌دهد (۴،۵،۶). در نتیجهٔ دست‌اندازی در محیط‌های طبیعی، حضور ساختارهای متعدد و نبود مقررات مناسب جهت محافظت از این محیط‌ها، شرایط رویداد سیلاب فراهم می‌شود که افزایش آسیب‌پذیری[1] 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 وکیفی و هم‌چنین سیستم اطلاعات جغرافیایی[2] 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).

[1]. Vulnerability

[2]. Geographical Information System

Archive of SID

www.SID.ir

در پـژوهش حاضـر، تغییـرات آسـیب‌پـذیری سـیلاب در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران با استفاده از روش‌هـای تحلیـل سلسله مراتبـی[1] و تحلیـل زونـی[2] بررسـی مـی‌شـود. ایـن بررسی بر مبنای متغیرهای آسـیب‌پـذیر در مقابـل سـیلاب انجام می‌گیرد تا در نهایت بتوان به الگوی دست یافت کـه تفاوت‌های سـاختاری آسـیب‌پـذیری را بـین ایـن منـاطق تشریح نماید.

شهر تهران با وسعتی حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع در موقعیت جغرافیایی ″۳۶ ′۴ °۵۱ تا ″۱۹ ′۳۶ °۵۱ طول شـرقی و ″۵ ′۳۴ °۳۵ تا ″۴۹ ′۴۹ °۳۵ 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 محـدود مـی‌شـود. خـتلاف بلنـدی ناگهـانی و شـدید میـان شـهر تهـران (بـا میانگین ارتفاع ۱۳۰۰ متر) و نزدیک‌ترین تیغ کوه به آن در یک فاصله‌ی کمتر از ده کیلـومتر (تیـغ توچـال بـا بلنـدی ۳۹۳۳ متر) از ویژگی‌هـای توپـوگرافی ایـن گسـتره اسـت (۱۲). تهران از نظـر تقسـیمات اداری بـه ۲۲ منطقـه، ۱۱۹ ناحیه و ۳۶۲ محله تقسیم می‌شود.

توپوگرافی خاص تهران، ارتفاع نسبتاً زیاد از سطح دریـا و اخـتلاف ارتفـاع در نقـاط مختلـف شـهر، رشـد فزاینـده جمعیت، توسعه واحدهای صـنعتی در حومـهٔ تهـران (کـه مسبب رشد ناموزون شده)، وجود رشته کوه‌های البـرز در شمال و دشت‌های کویر در جنوب و جنوب شرق، شرایط اقلیمی پیچیده‌ای را برای گستره شـهر تهـران ایجـاد کـرده است (۱۳). آب و هوای این شهر در نواحی جنوبی گرم و خشک است، اما در مجاورت کوهستان دارای اقلیمی سـرد و نیمه مرطوب و در نواحی مرتفع‌تر اقلیمی سرد همراه بـا زمستان‌های طولانی می‌باشد.

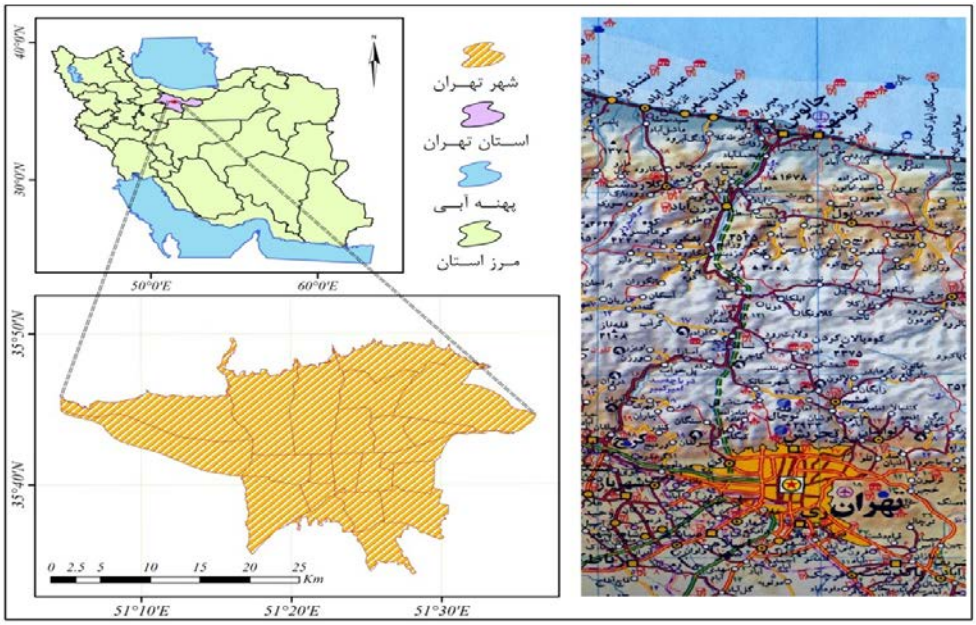
روش‌ها

در این پژوهش متغیرهای موثر در ارزیابی آسـیب‌پـذیری زیرساخت‌های فیزیکی تهران که شامل عناصر در معرض خطـر[3] و عناصـر تشـدیدکننده براسـاس نمـودار شـکل ۲ انتخاب شده است.متغیرهـای در معـرض خطـر عناصـری هسـتند کـه از وقـوع سـیلاب صـدمه مـی بیننـد و شـامل بلوک‌های متراکم با بافت فرسوده است کـه هنگـام وقـوع سیلاب، دچار آبگرفتگی و تخریب می‌شـود و سـازه‌هـای شهری هستند که جمعیت زیادی را در خود جای داده اند. چون هنگام وقوع سیلاب شهری تـراکم جمعیـت ریسـک سیلاب را بالا می برد، لذا دو متغیر اخیـر انتخـاب شـدند، نوع کاربری به دلیـل اینکـه کـه کـاربری‌هـایی کـه تـراکم بیشتری را ایجاد مـی کننـد، خطـر تجمـع آب را افـزایش می‌دهند، مورد اسـتفاده قـرار گرفـت. همچنـین پـل‌هـا از سازه‌های شهری هستند که هنگـام وقـوع سـیلاب در گیـر آبگرفتگی و هجوم اشیای منقول در آب می شوند، لـذا بـه دلیل صدمات ناشی از سیلاب در تحلیل مورد استفاده قرار گرفت. دو متغیر مسیلها و شبکه زهکشی شـهری و شـیب زمین در شرایط خاص کمک به گسترش سـیلاب شـهری می‌کنند، در نتیجه به عنـوان عناصـر تشـدیدکننده در نظـر گرفته شدند. متغرهای فوق به ترتیب زیر تهیه شدند.

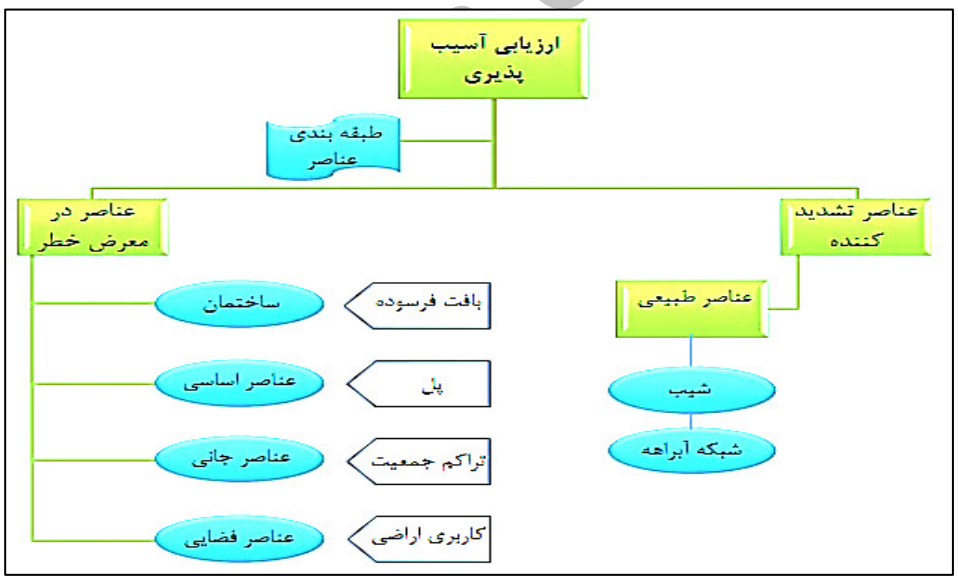
– متغیر کاربری اراضـی در تهـران مشـتمل بـر ۹ کـاربری است که عبارتند از مسـکونی، فضـای سـبز، تأسیسـات و تجهیزات شهری، صنعتی، تجـاری، حمـل و نقـل و انبـار، نظامی، اراضی بایر و معادن شن و ماسه. جدول ۱ مساحت و درصد مساحت این کاربری‌ها را در گستره شـهر تهـران نشان مـی‌دهـد. بـا توجـه بـه جـدول، کـاربری مسـکونی بیشترین درصد از مجموع مساحت شـهر تهـران را بخـود اختصاص می‌دهد (۳۵/۰۹)، پس از آن فضای سـبز ۲۰/۲۸ درصد از مساحت این گستره را دربرمـی‌گیـرد. در مقابـل، کـاربری معـادن شـن و ماسـه بـا ۱/۷ درصـد از مجمـوع مساحت شهر تهران، کم مساحت‌ترین نوع کـاربری اسـت (شکل۳).

[1]. Analytic Hierarchy Process (AHP)
[2]. Zonal Statistic
[3]. Element at Risk

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهر تهران (مأخذ: نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰)

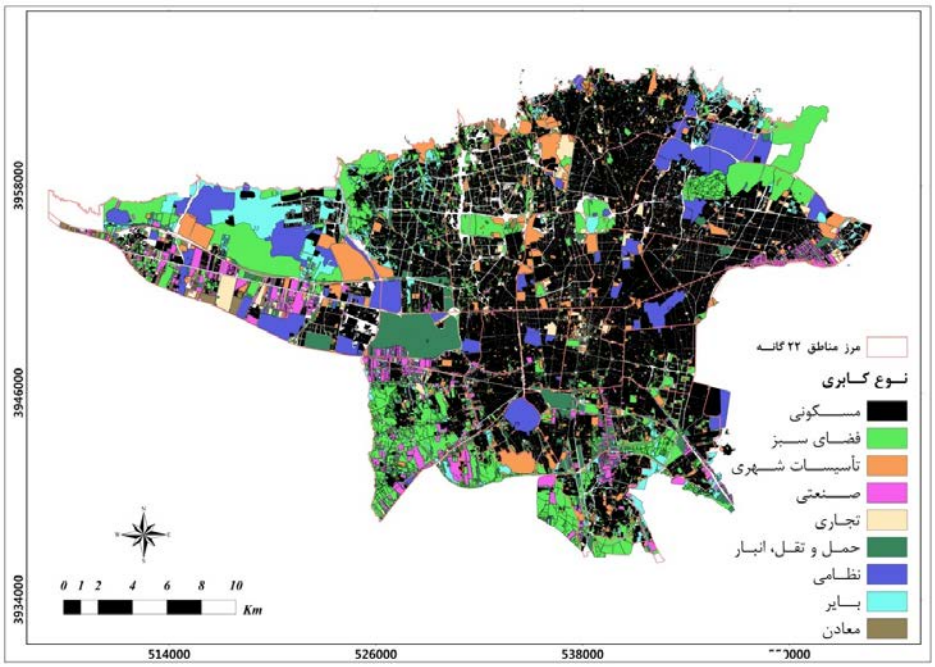


شکل ۲. متغیرهای مؤثر در آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در کلان‌شهر تهران(مأخذ: نگارندگان)

www.SID.ir

جدول ۱. مساحت و درصد مساحت کاربری‌های اراضی شهری ۹ گانه در شهر تهران(استخراج از نقشه۳)

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



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

www.SID.ir

– متغیر بافت فرسوده براساس شاخص‌های مصوب شورای عالی شهرسازی و معماری (ناپایداری[1]، نفوذناپذیری[2] و ریزدانگی[3]) 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 (شکل۴).

– 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 (شکل۵).

– به‌دلیل 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 توسط سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران گزارش شده شده است (شکل۶).

– به‌دلیل 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[4] 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.

[1]. بلوک‌های ناپایدار بلوک‌هایی هستند که حداقل ۵۰ درصد قطعات آن‌ها غیر مقاوم است.

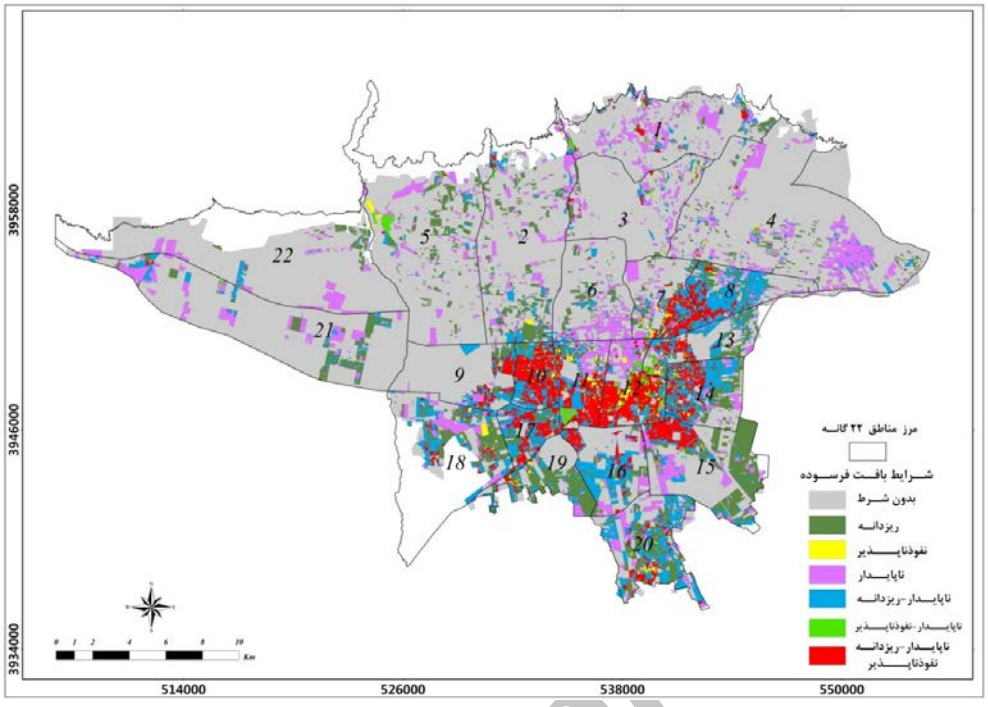
[2]. بلوک‌های نفوذناپذیر بلوک‌هایی هستند که حداقل ۵۰ درصد عرض معابر آن‌ها کم‌تر از ۶ متر است.

[3]. بلوک‌های ریزدانه بلوک‌هایی هستند که حداقل ۵۰ درصد قطعات آن‌ها دارای مساحتی زیر ۲۰۰متر مربع هستند.

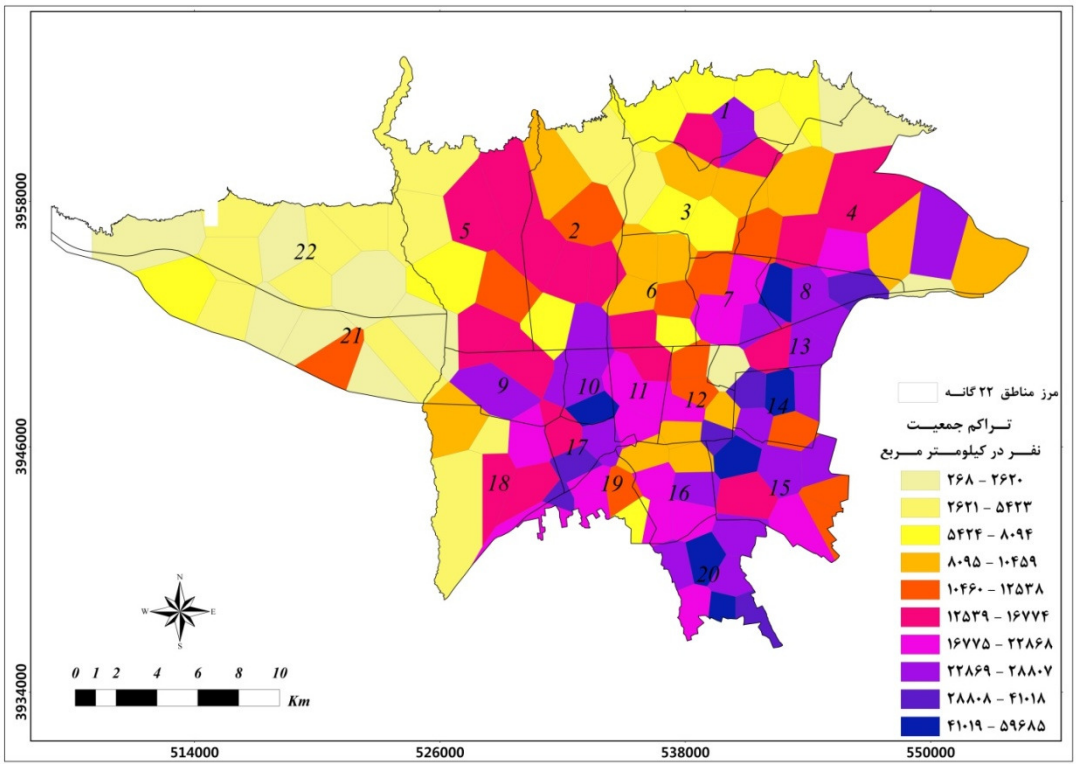
[4] ASTER

Archive of SID

www.SID.ir

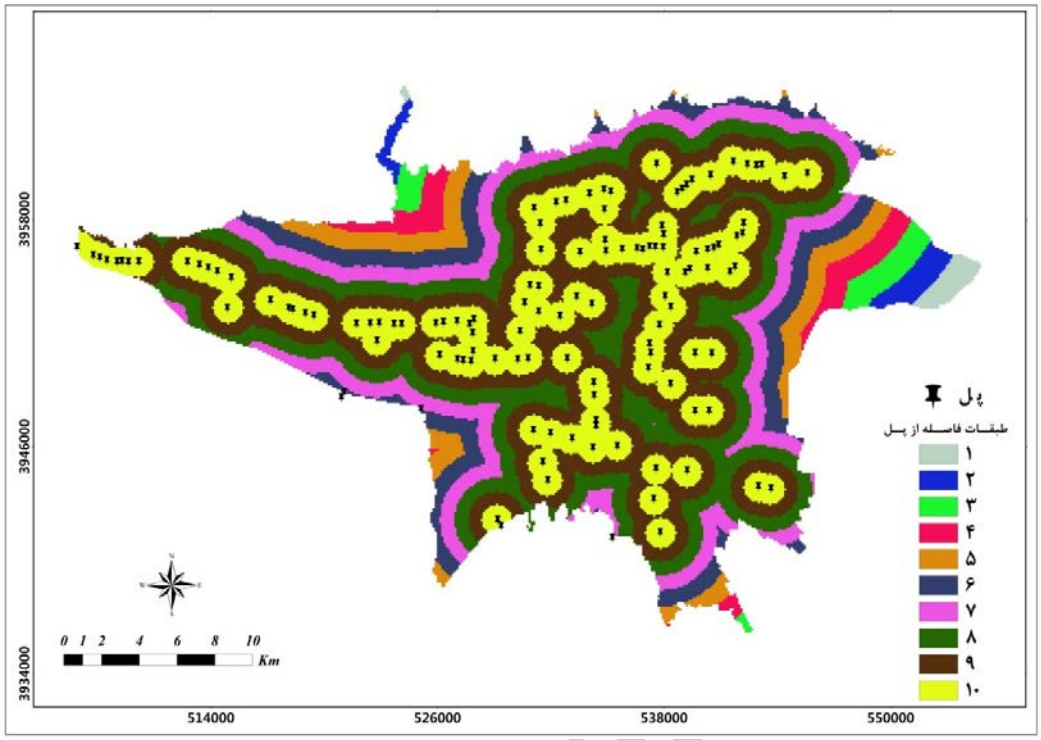


شکل ۴. نقشه بلوک‌های با بافت فرسوده شهر تهران (براساس شاخص‌های مصوب شورای عالی شهرسازی و معماری)

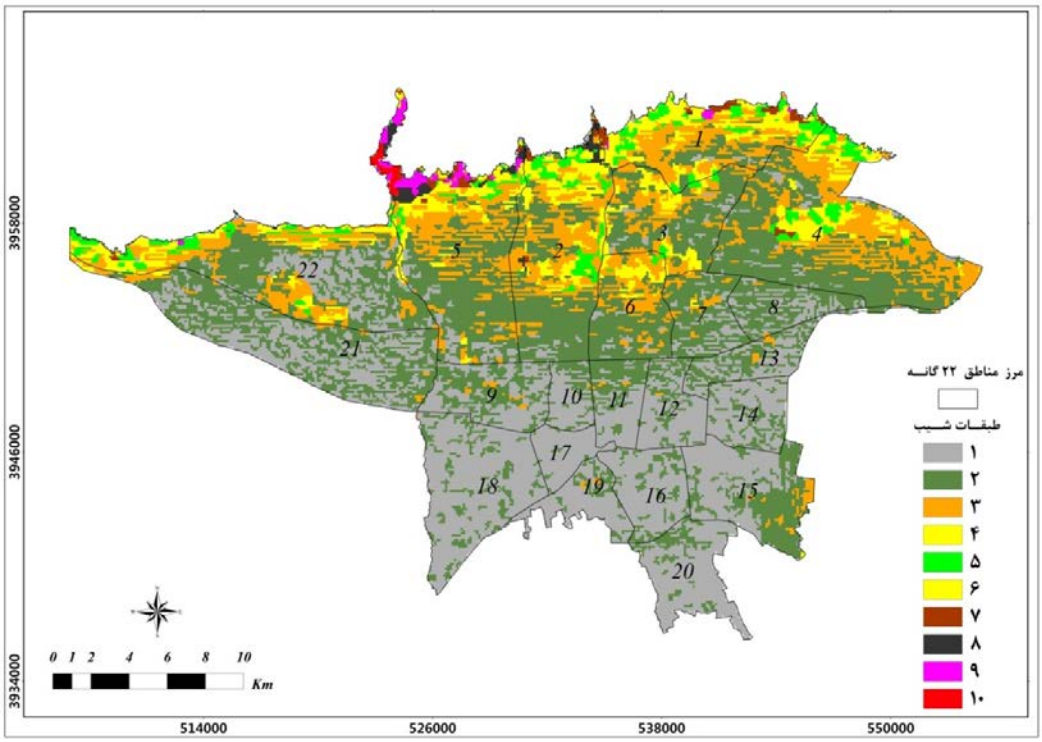


شکل ۵. نقشه تراکم جمعیت شهر تهران (مأخذ: مرکز آمار، ۱۳۸۲)

www.SID.ir

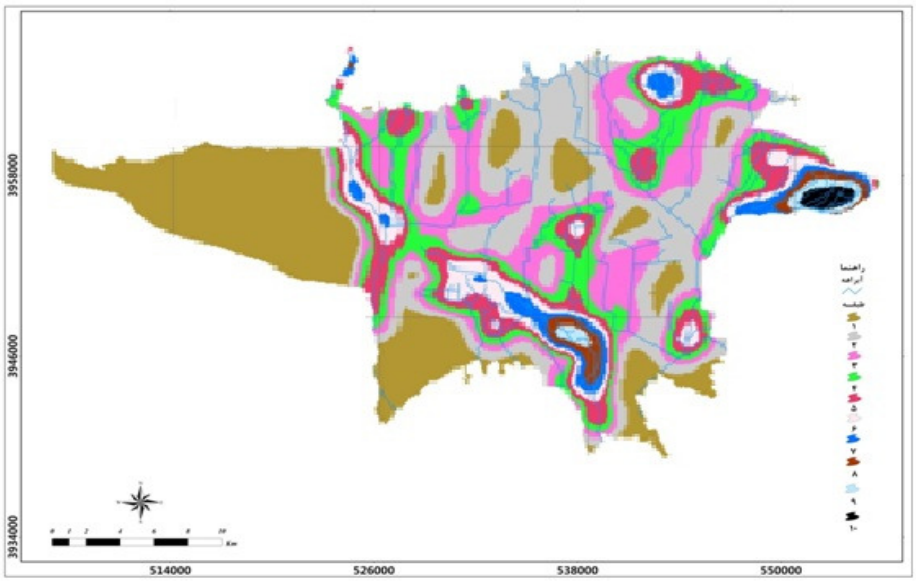


شکل ۶. نقشه فاصله از پل‌های شهر تهران (براساس گزارش سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران)



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

www.SID.ir



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

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 شاخته (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 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 تصمیم-گیری 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 رابطه-ها 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 آسیب-پذیری، و رابطه خطی یا غیرخطی آنها، اولویت‌بندی آن‌ها جهت اجرای مدل آسیب‌پذیری با روش AHP متغیرها مقایسه و وزن دهی شد (جدول ۲).

Archive of SID

www.SID.ir

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	-	نفوذناپذیر	-	ناپایدار	-	-	ناپایدار-نفوذناپذیر	ناپایدار-نفوذناپذیر-ریزدانه
فاصله از پل (m)	۸۸۲۸-۱۰۴۱۱۶	۷۴۰۴-۸۸۲۸	۶۰۲۱-۷۴۰۴	۴۸۴۱-۶۰۲۱	۳۸۶۵-۴۸۴۱	۳۰۱۰-۳۸۶۵	۲۲۳۷-۳۰۱۰	۱۵۰۵-۲۲۳۷	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	۱.۸۶-۳.۵	۳.۵-۵.۵	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	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 مقایسهٔ 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	۲	۳	۴	۵	۶
بافت فرسوده	۰.۵	۱	۲	۳	۴	۵
کاربری اراضی	۰.۳۳	۰.۵	۱	۲	۳	۴
فاصله از پل	۰.۲۵	۰.۳۳	۰.۵	۱	۲	۳
شیب	۰.۲	۰.۲۵	۰.۳۳	۰.۵	۱	۲
تراکم شبکه آبراهه	۰.۱۶	۰.۲	۰.۲۵	۰.۳۳	۰.۳	۱

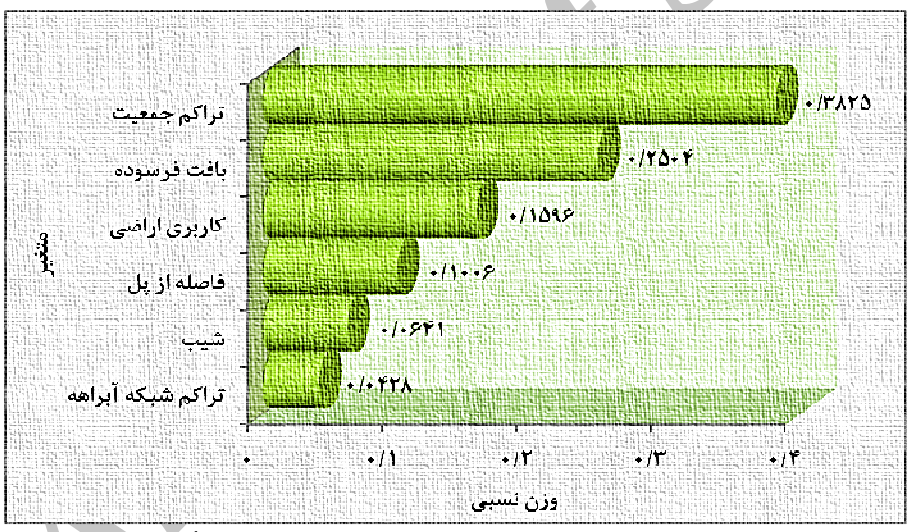
Archive

www.SID.ir

برای محاسبه مقـادیر و بـردار ویـژه، پـس از نرمـال نمودن ماتریس وزن نسبی (ضـرایب) بـرای متغیرهـا محاسبه شد(شکل۹). وزن‌های نسبی (ضـرایب)، بـه عنـوان میـزان تأثیرگـذاری هـر متغیـر در تعیـین آسیب‌پذیری مورد استفاده قرار گرفتنـد. بـه عبـارتی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در کلان‌شهر تهران بـه صورت تابعی از ایـن ضـرایب در تعریـف رابطـه ۱ تعریف شد که در ایـن رابطـه، V آسـیب‌پـذیری، P تراکم جمعیت، T بلوک‌هـای بـا بافـت فرسـوده، B فاصله از پل، S شیب و D تراکم شبکه آبراهه مـی-باشد.شکل ۹ نقشه آسیب‌پذیری گستره شـهر تهـران را در مقابـل سـیلاب نشـان مـی‌دهـد. ارزش صـفر پهنه‌هـای بـا کـم‌تـرین و ارزش یـک پهنـه‌هـای بـا بیش‌ترین آسیب‌پذیری را نشان می‌دهند. این پهنه‌هـا به پنج رده آسیب‌پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی شده است.

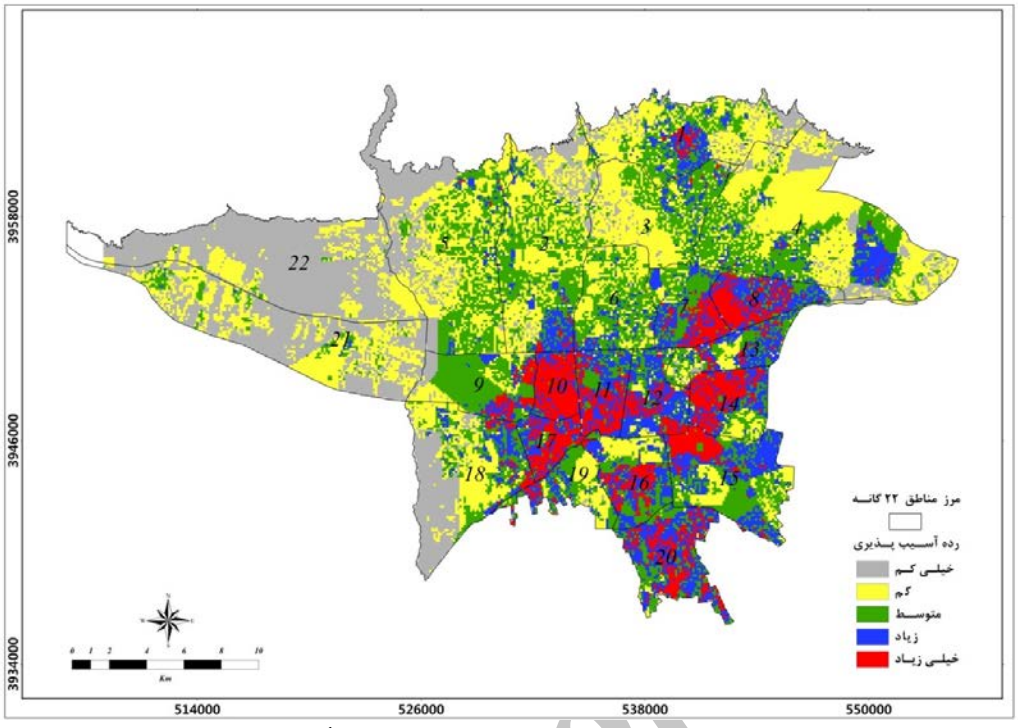
رابطه ۱ :

$$V = (0.3825P) + (0.2504T) + (0.1596T) + (0.1006B) + * 0.641S) + (0.0428D)$$



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

www.SID.ir



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

بحث و نتیجه‌گیری

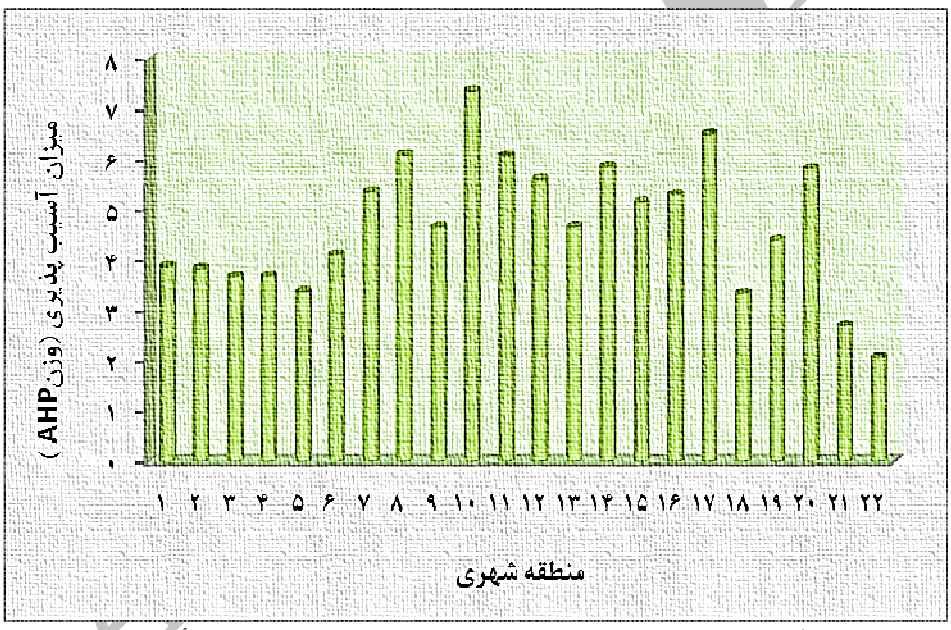
نقشه پتانسیل خطر سیل نمی‌تواند به طور کامل اطلاعات مورد نیاز در مدیریت سیلاب شهری را فراهم کند؛ داشتن اطلاعات در باره‌ی میزان خسارت و تخریب در ناحیه‌ی سیل‌زده بسیار مهم می‌باشد که این اطلاعات تنها از طریق شدت مخاطره قابل پیش‌بینی نیست؛ بلکه به شرایط ساخت و ساز نیز بستگی دارد. پیش‌بینی ریسک ناشی از مخاطره نیاز به بررسی دقیق علت‌های ایجاد خسارت دارد که از طریق درنظرگرفتن پتانسیل ایجاد خطر و آسیب-پذیری 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 و شدت مخاطره تنها عامل مؤثر در میزان ریسک نیست، بلکه ریسک سیلاب به میزان در معرض مخاطره بودن ساخت و سازها و چگونگی آسیب-پذیری آن‌ها نیز بستگی دارد.

جدول شماره ۴ مساحت و درصد مساحتپنج رده آسیب‌پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد در مقابل سیلاب را نشان می دهد.با توجه به جدول زیر، رده آسیب‌پذیری کم با ۱۸۷/۷۱ کیلومتر مربع بیش‌ترین مساحت از شهر تهران را در برگرفته است که معادل ۳۰/۹۴ درصد از مجموع مساحت شهر می‌باشد؛ پس از آن، پهنه‌های با رده آسیب-پذیری 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.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۴. درصد مساحت پهنه‌های پتانسیل خطر سیلاب کلان‌شهر تهران (استخراج از نقشه۹)

رده آسیب‌پذیری	ارزش	مساحت (Km^2)	درصد
خیلی کم	۰.۰۰۰۲۶–۰.۲۲	۱۲۸.۵۵	۲۱.۱۹
کم	۰.۲۳–۰.۳۷	۱۸۷.۷۱	۳۰.۹۴
متوسط	۰.۳۸–۰.۵۲	۱۵۲.۳۳	۲۵.۱۱
زیاد	۵۳–۰.۷۱	۸۴.۶۹	۱۳.۹۶
خیلی زیاد	۰.۷۲–۱	۵۳.۳۶	۸.۸۰



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

www.SID.ir

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 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 مختلف شهر تهران از نظر آسیب‌پذیری ارائه دهد؛ به طوریکه آسیب‌پذیرترین بخش‌های شهری بر بافت-های 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 تهران است. به طور کلی مناطق ۱۰، ۱۷، ۸ و ۱۱ به دلیل دارا بودن بافت فرسوده، تراکم جمعیت، توان آبگذری پایین و تراکم بافت مسکونی آسیب-پذیرترین 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 آبگذری بالای مسیل کن، آسیب‌پذیری پایینی دارد.

Archive of SID

www.SID.ir

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/flood stats/Flood Loss time series. 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., Farzjoo 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. GhahroudiTali 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.

Archive of SID

www.SID.ir