نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هفتم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹
صفحات ۱۲۵ – ۱۴۶

عوامل مؤثر بر تغییرپذیری فضایی ریسک سیلاب در کلان‌شهر تهران

خه بات درفشی[1]؛ دکتری ژئومرفولوژی، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران.

دریافت مقاله : ۱۳۹۸/۱۰/۰۴ پذیرش نهایی:۱۳۹۹/۰۶/۱۶

چکیده

در نظر نگرفتن عامل‌های طبیعی در آمایش سرزمین، تجاوز و تخریب مرفولوژی طبیعی در نتیجه فعالیت‌های شهرسازی و متعاقباً برهم زدن سیستم زهکشی شهری، سیلاب‌های غیرقابل پیش‌بینی و مختل کننده شهر تهران را درپی دارد. این سیلاب‌های شهری بر اساس میزان تغییر یا تخریب مسیل‌های طبیعی شهر، چگونگی اجرای شبکه‌های ارتباطی، نوع کاربری‌های اراضی، تراکم‌های مختلف سازه‌های شهری و یکسان نبودن توزیع تراکم جمعیتی در سطح شهر و حتی سطح زندگی اجتماعی - اقتصادی محله‌های شهری، رفتار پیچیده‌ای در کلان‌شهر تهران دارند. در این پژوهش، نقشه ریسک به‌عنوان شاخصی جهت تعریف این پیچیدگی از ترکیب نقشه‌های مخاطره و آسیب‌پذیری سیلاب کلان‌شهر تهران در پنج رده ریسک خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه گردید. جهت تحلیل تغییرات میزان ریسک، حوضه‌های هیدرولوژیک شهر تهران با ArcHydro استخراج و ۱۲ حوضه نمونه انتخاب شد. نقشه مخاطره سیلاب با استفاده از متغیرهای کاربری اراضی، شبکه‌های ارتباطی، درصد سطح زیربنای مسکونی، پل‌ها، ارتفاع، شیب و تراکم شبکه آبراهه تهیه شده و بلوک‌های با بافت فرسوده، تراکم جمعیت، کاربری اراضی، پل، شیب و تراکم شبکه آبراهه به‌عنوان متغیرهای مؤثر در آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب به‌کار گرفته شدند. استفاده از این متغیرها در تهیه نقشه‌های ذکر شده از طریق تعریف رابطه‌ها و اولویت‌بندی هر یک در ارتباط با پتانسیل خطر و آسیب‌پذیری و روش AHP انجام شد. در ادامه بر مبنای متوسط وزنی ریسک سیلاب و تحلیل عاملی، مؤلفه‌های اصلی تغییرپذیری ریسک سیلاب بین ۱۲ حوضه نمونه استخراج شد. نتایج تحلیل عاملی بر مبنای شاخص متوسط وزنی ریسک سیلاب و متغیرهای مؤثر در آن، چهار مؤلفه تأثیرگذار را در تغییرات فضایی ریسک در سطح حوضه‌های ۱۲ گانه نمونه نشان داد. مؤلفه اول با توجیه ۳۱/۸ درصد از مجموع واریانس عامل‌ها و با مقدار ویژه ۰/۷۸۸ (ارتباط ریسک سیلاب با متغیرهای مستقل) به‌عنوان مؤلفه اصلی در تغییرات ریسک سیلاب بین حوضه‌های، متغیرهای بافت فرسوده، تراکم جمعیت و درصد سطح زیربنای مسکونی را به‌عنوان عامل‌های تغییرپذیری ریسک سیلاب بین حوضه‌های نمونه معرفی می‌کند؛ این مؤلفه با هر سه متغیر به‌صورت قوی مثبت مرتبط می‌باشد. این بافت‌ها به‌دلیل اینکه زهکشی مناسبی ندارند و همچنین شبکه‌های مسیل در این مناطق عمدتاً در بخش زیرین شهر قرار گرفته‌اند، باعث پدیده تشدید آبگرفتی و حتی گاهی اوقات شروع سیلاب می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: **ریسک سیلاب، بافت فرسوده، AHP، تحلیل عاملی، تهران.**

[1]. نویسنده مسئول: Email: khabat.derafshi@gmail.com

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.125]

مقدمه

در نتیجه دست‌اندازی در محیط‌های طبیعی، حضور ساختارهای متعدد و نبود مقررات مناسب جهت محافظت از این محیط‌ها، شرایط رویداد سیلاب فراهم می‌شود. تأثیر تغییرات انسان‌ساخت بر هیدرولوژی سطحی می‌تواند از طریق نسبت دبی سیلاب پس از ایجاد این تغییرات به دبی سیلاب پیش از آن‌ها طی دوره‌های بازگشت اندازه‌گیری شود (Kilbler et al, ۲۰۰۷). ولی با وجود این، تحلیل تأثیرات تغییر کاربری بر فراوانی سیلاب مسأله‌ای سخت به‌نظر می‌رسد، که این بخاطر کمبود داده‌های سیل و همچنین فرآیند توسعه غیر ایستا یا پویا به‌ویژه در نواحی شهری می‌باشد (Suriya and Mudgal, ۲۰۱۱). با رشد سریع شهرسازی و ایجاد و توسعه زیرساخت‌ها، سیلاب‌ها در نواحی شهری بیش‌تر و شدیدتر شده‌اند (Bhattacharya, ۲۰۱۰). گسترش ساخت و ساز شهری و افزایش سطوح با نفوذپذیری کم و یا غیر قابل نفوذ باعث کاهش نفوذ آب حاصل از بارش، افزایش رولناب، دبی‌های بزرگ‌تر، تغذیه کم‌تر آب‌های زیرزمینی و افزایش تغییرپذیری‌ها می‌شود. این روابط هیدرولوژیکی پایه، می‌تواند در مقیاس ناحیه‌ای (Beighley et al., ۲۰۰۲) و ملی (Sauer et al., ۱۹۸۳; Poff et al., ۲۰۰٦) اثبات شود (Hawley et al., ۲۰۱۱). تغییر کاربری اراضی و گسترش شهرسازی به سمت حوضه‌های کوهستانی مجاور شهرها، خطر سیلاب را به‌علت افزایش اوج و حجم دبی بیش‌تر کرده و زمان رسیدن دبی به اوج را نیز کاهش می‌دهد (Saghafian et al., ۲۰۰۸؛ Liu et al., ۲۰۰٤; Campana and Tucci, ۲۰۰۱؛ Nirupama and simonovic, ۲۰۰۷). نواحی شهری به‌طور متوسط ۹۰ درصد از بارش را به رواناب تبدیل می‌کنند، درحالی‌که در نواحی غیر شهری مثل جنگل، ۲۵ درصد از بارش نگه داشته می‌شود (Sheng and Wilson, ۲۰۰۹). مطالعات تغییرپذیری فضایی و زمانی هیدرولوژی سیل در ارتباط با شهرسازی بیش‌تر بر بررسی تغییرپذیری زمانی شرایط جریان رودخانه تمرکز دارند (Smith et al., ۲۰۰۲, ۲۰۰۵؛ Zhang and Smith, ۲۰۰۳) و در حوضه‌های خاص، مطالعات اندکی تغییرپذیری فضایی هیدرولوژی سیل را در واکنش به شهرسازی حوضه‌ای آزموده‌اند. به‌علاوه، بسیاری از مطالعات تجربی در نواحی معتدل انجام شده است؛ جایی‌که تغییرات در هیدرولوژی رودخانه و فرآیندهای سیل در واکنش به شهرسازی و توزیع مجدد منابع آبی متفاوت‌تر از نواحی خشک یا نیمه خشک است.

از مهم‌ترین مطالعات خارجی مرتبط با پژوهش حاضر می‌توان به موضوع تغییرپذیری فضایی و زمانی هیدرلوژی سیل با استفاده از داده‌های تمرکز جمعیت، کاربری اراضی و اندازه‌گیری جریان رودخانه‌ای و با بهره‌گیری از آزمون‌های آماری و ArcGIS (Jingfen and Wilson, ۲۰۰۸)، تهیه نقشه خطر سیل برای مدیریت این مخاطره با استفاده از نگرش ترکیبی و بر مبنای نقشه ژئومورفولوژی (تشخیص دشت‌های سیلابی، مرز رودخانه‌ها، شکل‌های ایجاد شده توسط جریان‌های سطحی از جمله کانال‌های متروک و فعال، تراس‌های رودخانه‌ای) و روش‌های هیدرولوژیکی همچون HEC-HMS جهت به‌دست آوردن اوج جریان‌ها یا هیدروگراف‌ها برای دوره‌های بازگشت مختلف (Lastra et al., ۲۰۰۸)، استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و روش‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی به‌همراه مدل‌سازی بارش - رواناب با استفاده از HEC-HMS و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب با مدل HEC-RAS (Suriya and Mudgal, ۲۰۱۱)، تحلیل واکنش جریان آب به تغییرات کاربری/ پوشش اراضی با استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌سازی هیدرولوژیکی (Hassaballah et al., ۲۰۱۷) و مدل‌سازی اثرات تغییرات کاربری اراضی در گذشته و آینده بر روی هیدرولوژی حوضه آبخیز با استفاده از مدل SWAT[۱] (Abe et al., ۲۰۱۸؛ Puno et al., ۲۰۱۹) اشاره نمود.

شنانی هویزه و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی با عنوان بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر هیدروگراف سیل (مطالعه مورد: حوضه آبریز ابوالعباس)، از تلفیق داده‌های سنجش از دور و مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS استفاده کرده‌اند. این پژوهشگران، هشت کلاس کاربری اراضی را با استفاده از الگویتم شبکه عصبی مصنوعی از تصاویر ماهواره‌ای Landsat برای سال‌های ۱۳۶۹ و ۱۳۸۸ استخراج کرده‌اند. سپس مدل HEC-HMS و روش شماره منحنی رواناب (SCS-CN) را برای برآورد رواناب حوضه برای چهار واقعه بارش - رواناب در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ به‌کار برده‌اند. نتایج آن‌ها نشان

[۱]. Soil and Water Assessment Tool

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.125]

داد که به‌علت تغییرات کاربری اراضی که در جهت کاهش سطح جنگل و افزایش سطوح مراتع و مناطق مسکونی اتفاق افتاده است، میزان دبی اوج و حجم سیلاب در حوضه آبریز ابوالعباس طی دوره مورد مطالعه، به‌طور متوسط به‌ترتیب ۵/۵ و ۵/۱ درصد افزایش یافته است. از سویی دیگر نتایج نشان داد که تغییرات کاربری بر زمان رسیدن به دبی اوج هیدروگراف سیلاب اثری نداشته است. جاویدان و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهش خود با عنوان بررسی تأثیر سناریوهای تغییر کاربری اراضی بر روی مؤلفه‌هی بیلان آبی با استفاده از مدل WetSpa (مطالعه موردی: حوزه آبخیز زیارت استان گلستان)، دو سناریوهای جنگل‌زدایی و افزایش مناطق مسکونی و ترکیب این دو سناریو (جنگل‌زدایی + مناطق مسکونی) را در حوزه زیارت استان گلستان با مساحت ۹۵/۱۵ کیلوممتر مربع پیاده نمودند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که بین هیدروگراف‌های سیل شبیه‌سازی شده و مشاهداتی انطباق خوبی وجود داشته است. همچنین مقادیر جریان‌های سطحی، زیرسطحی و آب زیرزمینی و رواناب کل در سناریوهای اعمال شده افزایش یافته است. بیش‌ترین تغییر مربوط به مؤلفه رواناب سطحی می‌باشد که از مقدار ۵/۲ میلی‌متر در سناریوی اول به مقدار ۱۸ میلی‌متر در سناریوی چهارم (مجموع افزایش مناطق مسکونی و جنگل‌زدای) افزایش یافته است. کاهش زبری سطح زمین و میزان تاج پوشش گیاهی نیز منجر به کاهش میزان تبخیر و تلفات برگابی در حوزه مطالعاتی گردیده است.

تهران بروی سه مخروط افکنه بزرگ جاجرود، کن و کرج قرار گرفته است. بجز ارتفاعات شمالی آن که مشرف به مناطق ۲۲، ۵، ۲، ۱ و ۴ می‌باشد، بدنه اصلی آن در دشت و نقاط کم شیب قرار گرفته است. رشد و توسعه ناموزون شهر تهران، درنظر نگرفتن حریم‌های طبیعی و شبکه هیدروگرافی خاصی که کلیه نزولات جوی حوضه‌های آبریز را در یک سیستم جریانی از شمال به جنوب وارد شهر می‌کند، موقعیت آن در پای دامنه جنوبی کوه‌های البرز، تجاوز به حریم منابع طبیعی، تسطیح زمین و ساخت و ساز، هم‌چنین وسعت زیاد حوضه‌های آبریز بالادست تهران و فعال بودن فرآیندهای هیدروکلاستی، کریوکلاستی و ترموکلاستی، به‌هم خوردن سیستم زهکشی شهر تهران به‌دلیل ساخت و سازهای بی‌رویه در مسیل‌ها که بسترهای طبیعی جریان‌های آبی هستند، اجرای برخی از طرح‌ها نظیر سیل برگردان غرب و تونل‌های زهکشی مرکز شهر و اجرای بزرگراه‌های متعدد در امتداد شرقی - غربی که قطع کننده زهکش‌های عمده شهر می‌باشند، سبب شده‌اند که کلان‌شهر تهران به‌طور فزاینده‌ای با چالش سیلاب‌های شهری غیر قابل پیش‌بینی مواجه باشد. انباشت زباله‌های شهری و ناهنجاری‌های زیست محیطی منتج از این انباشت، چالش سیلاب شهری را تشدید می‌کند. لذا، پژوهش حاضر در پی شناسایی عوامل مؤثر بر تغییرات مکانی سیلاب، شناسایی رابطه فضایی توزیع مسیل‌ها، تراکم سازه‌های شهری و تراکم جمعیت در تغییرپذیری مکانی سیلاب و در نهایت شناسایی نظم مکانی در آشفتگی الگوی سیلاب در کلان‌شهر تهران است.

داده ها و روش کار

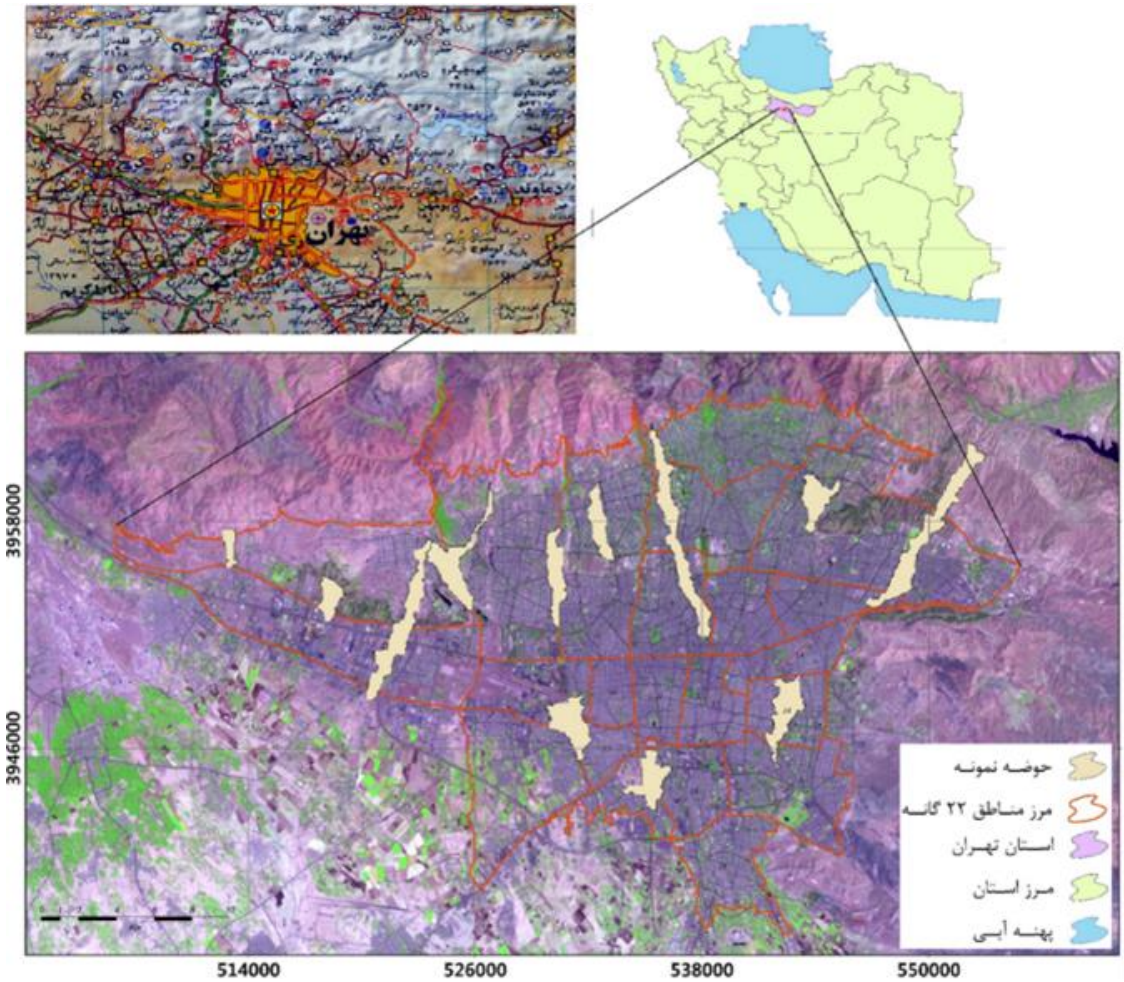
- **قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه**

شهر تهران با وسعتی حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع در موقعیت جغرافیایی °۵۱ ۴َ۳۶ تا °۵۱ ۳۶َ۱۹ طول شرقی و ۳۵ْ۳۴َ۵ تا ۳۵ْ۴۹َ۴۹ 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 (بربریان، ۱۳۷۱). تهران از نظر تقسیمات اداری به ۲۲ منطقه، ۱۱۹ ناحیه و ۳۶۲ محله تقسیم می‌شود.

سطوح قابل نفوذ اولیه با توسعه شهر به صورت سطوح غیر قابل نفوذ درآمده و زهکشی جریان‌های آبراهه‌ای حتی در بارش‌های کوتاه مدت باعث ایجاد سیلاب و آب‌گرفتگی در برخی از مناطق شهری می‌شود. انسداد و یا تغییر مسیر آبراهه‌ها بدون توجه به اصول ژئومورفولوژیکی در تقاطع بزرگراه‌ها و یا خیابان‌های اصلی و فرعی شهر با عرض و ارتفاع

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.125]

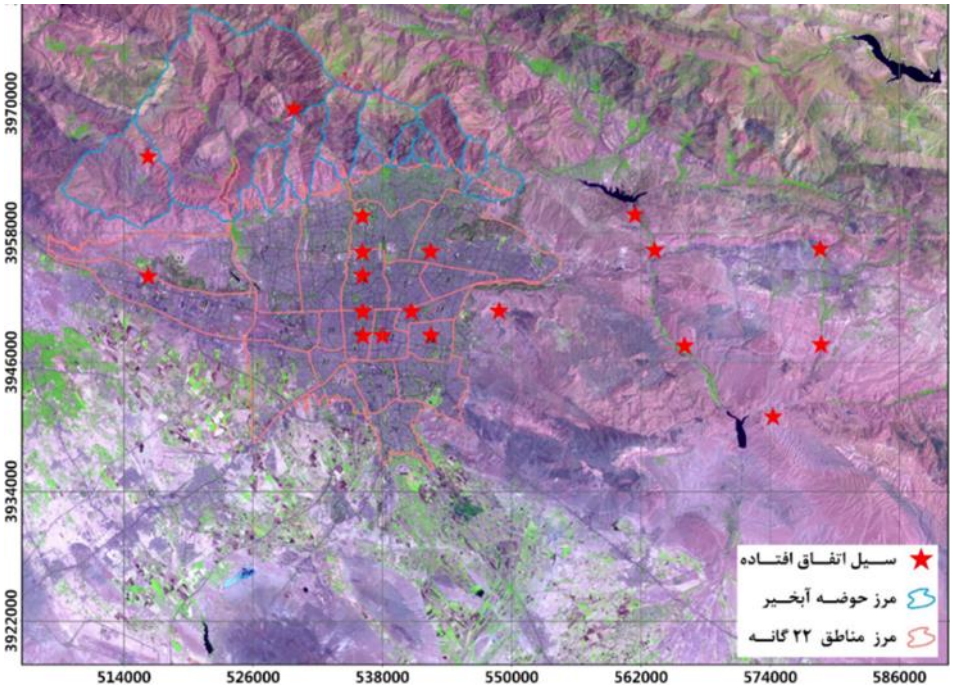
بسیار کم پس‌زدگی آب را موجب می‌شود (Schick, ۱۹۹۹). آب‌گرفتگی بسیاری از مناطق مرکزی و جنوبی شهر تهران در اثر بارندگی یکشنبه شب ۸۶/۱/۲۶ (روزنامه جام جم، ۱۳۸۶) نمونه بارزی از تقابل توسعه شهری در سامانه زهکشی طبیعی شهر و ناکارآمدی آن است (درفشی، ۱۳۹۰).



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی شهر تهران و حوضه‌های هیدرولوژیک شهری نمونه در سطح شهر که در ادامه در مورد این حوضه‌ها بحث خواهد شد.

عدم تبعیت سامانه زهکشی شهر تهران ازاصول و معیارهای ژئومورفولوژیکی، سیلاب‌های زیادی را در گستره شهر تهران موجب شده است که مواردی از آن ذکر می‌شود. 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. شکست بخشی از دیواره کانال میان‌رود (مسیل تهران - کرج) به‌دلیل فشار ناشی از عبور حجم زیاد آب و ورود آب به داخل تونل خط ۴ مترو تهران و سیلاب رودخانه کن در فروردین ۱۳۹۸ نمونه‌هایی از سیلاب‌های اخیر اتفاق افتاده در محدوده شهری تهران هستند. شکل ۲ نمونه‌ای از سیلاب‌های اتفاق افتاده در گستره شهر تهران و حوضه‌های آبخیز بالادست آن را نشان می‌دهد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.125]



شکل ۲: نقشه پراکنش مکانی سیلاب‌های اتفاق افتاده در شهر تهران و حوضه‌های آبخیز بالادست آن

روش کار

- **حوضه‌های هیدرولوژیک شهری**

با توجه به اینکه هدف اصلی مطالعه حاضر، بررسی تغییرات فضایی سیلاب در شهر تهران و تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر در این تغییرات است، اقدام به استخراج حوضه‌های هیدرولوژی شهری با آستانه زهکشی مشخص و انتخاب حوضه-های نمونه شده است. طی این مرحله، برمبنای داده‌های مدل ارتفاعی رقومی با ضریب تفکیک ۳۰ متر و با استفاده از مدل داده ArcHydro، الگوی زهکشی و ویژگی‌های حوضه‌ها استخراج شده‌اند (شکل ۳). در واقع اولین قدم این پژوهش مانند هر مدل‌سازی سیلاب، تعیین مرز حوضه‌ها و برخی مشخصه‌های حوضه مبنا مانند مساحت، شیب، طول جریان و حتی تراکم شبکه زهکشی است. موقعیت و پراکنش حوضه‌های هیدرولوژیک شهری نمونه جهت انجام پژوهش حاضر در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل، ۱۲ حوضه هیدرولوژی شهری با آستانه زهکشی ۵۰۰۰ متر مربع در گستره شهر تهران، حوضه‌های نمونه مطالعاتی را تشکیل می‌دهند. در انتخاب حوضه‌های نمونه سعی شده است که پراکنش مکانی مناسبی در سطح شهر تهران داشته و هر نمونه به‌خوبی معرف و گویای مناطق مختلف این شهر باشد.

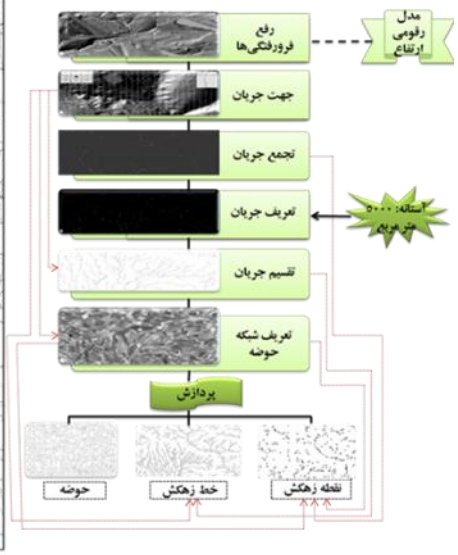
- **مخاطره سیلاب**[۱]

ارزیابی مخاطره سیلاب و تهیه نقشه آن بر مبنای پارامترهای کاربری اراضی، شبکه ارتباطی، سطح زیربنای مسکونی، پل‌ها، ارتفاع، شیب و شبکه آبراهه انجام گرفت. ابتدا بین مخاطره سیلاب و هر کدام از این پارامترها رابطه‌ای خطی به‌صورت مستقیم و یا معکوس تعریف گردید. بدین ترتیب که در صورت افزایش پتانسیل مخاطره سیلاب در ارتباط با ارزش هر متغیر، بین این دو 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 مخاطره با کم یا زیاد شدن ارزش متغیرها فراهم شود. بدین منظور هر یک از متغیرهای مؤثر از طریق تابع‌های مختلفی به لایه‌های رستری تبدیل

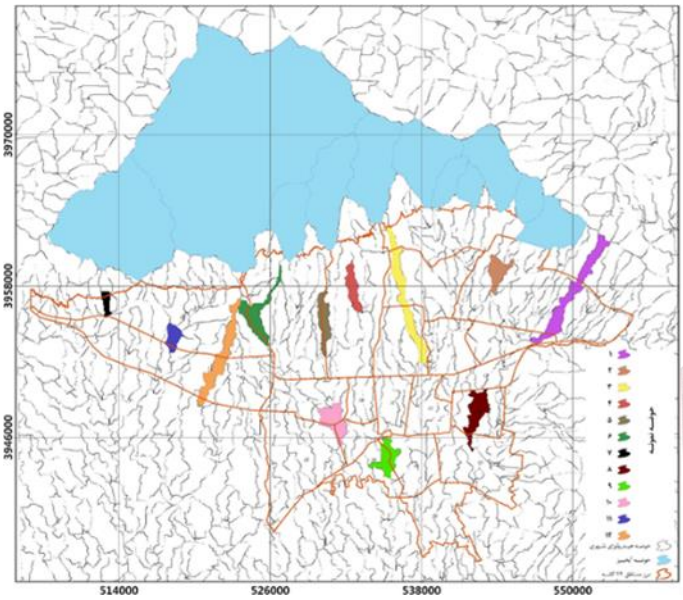
۱. Flood hazard

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.125]

شدند؛ تا هم بتوان بر مبنای نقش متغیر در هدف مورد بررسی وزن‌دهی انجام داد و هم رویهم قرار گیری لایه‌ها و ارزیابی مخاطره امکان‌پذیر شود. CN یک ارزش عددی بسیار مناسب جهت تبدیل لایه کاربری اراضی به لایه‌ای رستری می‌باشد.



شکل ۳: فلوچارت مراحل تعیین مرز حوضه‌های هیدرولوژیک شهری در Terrain Processing



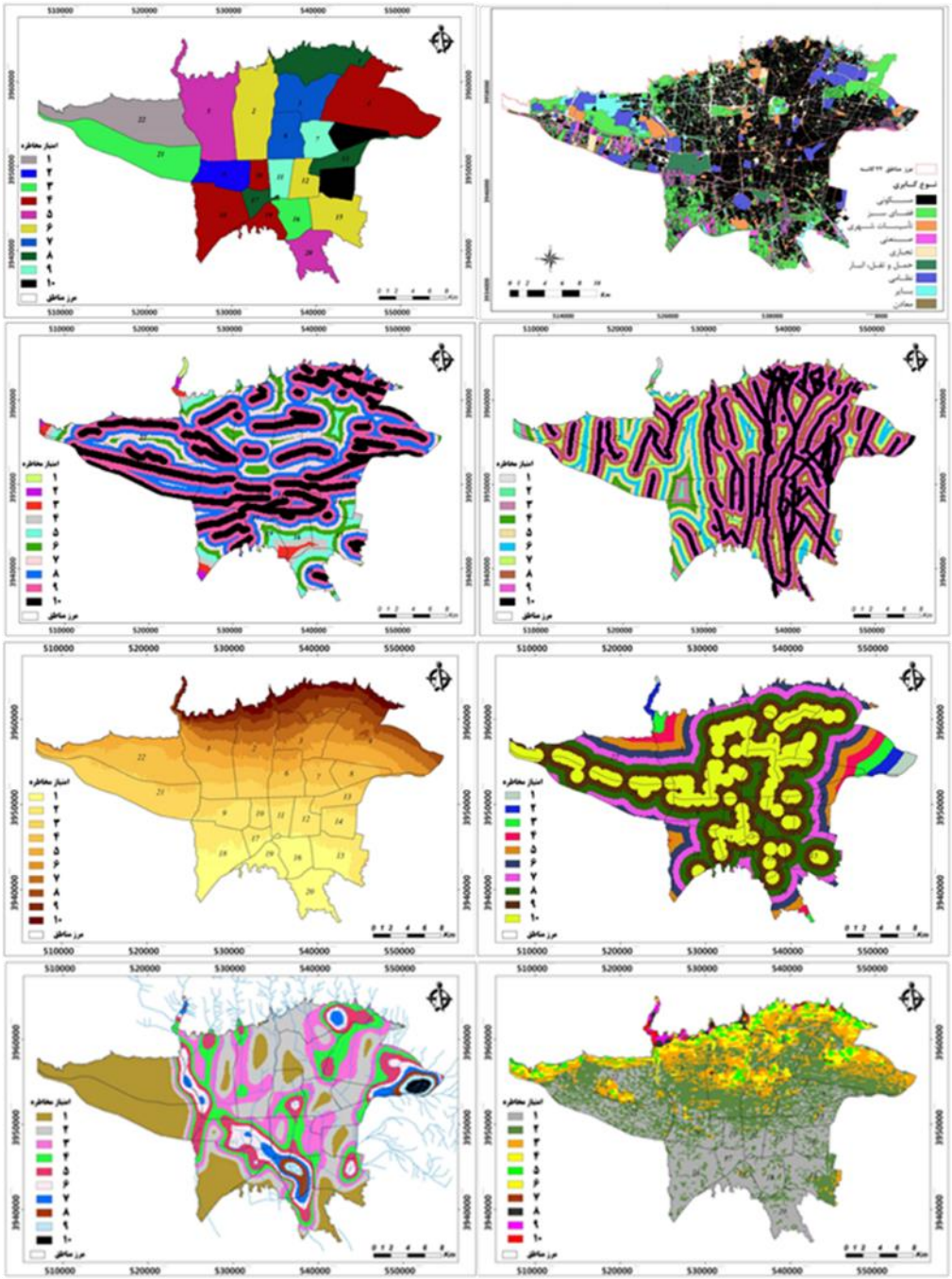
شکل ۴: نقشه پراکنش حوضه‌های هیدرولوژی شهری نمونه در شهر تهران

از تابع فاصله[۱] بر مبنای حداکثر فاصله[۲] جهت رستری کردن لایه‌های شبکه ارتباطی (شمالی - جنوبی و شرقی - غربی) و پل استفاده گردید. برای اندازه‌گیری میزان تراکم شبکه زهکشی تابع تراکم[۳] به کار گرفته شد. این تابع براساس شعاع مشخص در هر نقطه، مجموع طول آبراهه‌ها را بر مساحت تقسیم می‌کند؛ در این پژوهش شعاع در نظر گرفته شده برای محاسبه تراکم شبکه زهکشی ۲۰۰۰ متر است. درصد سطح زیربنای مسکونی در هر منطقه برای تهیه لایه‌ی رستری آن مورد استفاده قرار گرفت و مدل ارتفاعی رقومی نیز مبنایی برای تهیه لایه‌های ارتفاعی و شیب شد. در ادامه جهت آماده‌سازی لایه‌های رستری، هر یک از آن‌ها از طریق روش شکست‌های طبیعی[۴] به ده طبقه تقسیم شدند. انتخاب این روش طبقه‌بندی به دلیل تبعیت آن از توزیع نرمال (منحنی گوس) ارزش داده‌ها می‌باشد. این طبقه‌بندی بر اساس رابطه هر متغیر با هدف اصلی انجام گرفت؛ بدین‌معنا که اگر رابطه بین این دو خطی مستقیم باشد، مقدار ۱ به پایین‌ترین و مقدار ۱۰ به بالاترین ارزش آن متغیر اختصاص داده شد. در صورت معکوس بودن رابطه خطی، بالاترین ارزش متغیر مقدار ۱ و پایین‌ترین ارزش آن مقدار ۱۰ می‌گیرد (شکل ۵).

جدول ۱ الگوی این ارزش‌دهی‌ها و رابطه‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به جدول، متغیرهای کاربری اراضی، سطح زیربنای مسکونی، ارتفاع، شیب و تراکم شبکه آبراهه با مخاطره رابطه مستقیم دارند؛ بدین معنا که مقدار ۱ به پایین‌ترین و مقدار ۱۰ به بالاترین ارزش این متغیرها اختصاص داده می‌شود. اما با افزایش فاصله از شبکه ارتباطی و پل‌ها، پتانسیل ایجاد خطر کم‌تر شده و رابطه به‌صورت منفی تعریف می‌گردد.

۱. Distance
۲. Maximum Distance
۳. Density
۴. Natural Breaks

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.125]



شکل ۵: متغیرهای مؤثر در مخاطره سیلاب شهر تهران (از بالا راست به چپ: کاربری اراضی، سطح زیربنا، شبکه ارتباطی شمالی-جنوبی، شبکه ارتباطی شرقی-غربی، پل، ارتفاع، شیب و آبراهه)

در ستون آخر وزن‌دهی یا اولویت‌بندی متغیرها نسبت به هم در روش AHP مشاهده می‌شود؛ این وزن‌دهی بر اساس میزان اهمیت هر متغیر در ایجاد خطر (پتانسیل تولید رواناب) انجام شده است؛ مبنای این وزن‌دهی و مقایسه، دو به دو می‌باشد. بالاترین وزن مربوط به متغیر شبکه ارتباطی با جهت شمالی - جنوبی است که آن را به‌عنوان مهم‌ترین شاخص در تولید رواناب‌های شهری تهران معرفی می‌کند. پس از آن به‌ترتیب متغیرهای شبکه ارتباطی با جهت شرقی - غربی، سطح زیربنای مسکونی، کاربری اراضی، شیب، پل، تراکم آبراهه و ارتفاع اهمیت کم‌تری در تولید رواناب و مخاطره ناشی از آن دارند.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.125]

جدول ۱: الگوی وزن‌دهی طبقات متغیرها و اولویت‌بندی آن‌ها در محیط AHP بر اساس مخاطره سیلاب

متغیر / وزن		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	رابطه	وزن معیار
کاربری اراضی (CN)		بایر	فضای سبز	معدن	جاده	نظامی	حمل و نقل	صنعتی	تأسیسات	تجاری	مسکونی	خطی مستقیم	۵
سطح زیربنای مسکونی (درصد)		۰ - ۵	۵ - ۱۲	۱۲ - ۱۹	۱۹ - ۲۲	۲۲ - ۲۵	۲۵ - ۲۹	۲۹ - ۳۱	۳۱ - ۳۵	۳۵ - ۴۰	۴۰ - ۴۶	خطی مستقیم	۶
فاصله از شبکه ارتباطی (هزار متر)	شمالی جنوبی	۴/۳ - ۵/۷	۳/۳ - ۴/۳	۲/۷ - ۳/۳	۲/۲ - ۲/۷	۱/۷ - ۲/۲	۱/۳ - ۱/۷	۰/۹ - ۱/۳	۰/۵ - ۰/۹	۰/۲ - ۰/۵	۰ - ۰/۲	خطی معکوس	۸
	شرقی غربی	۵/۷ - ۷/۷	۴/۴ - ۵/۷	۳/۵ - ۴/۴	۲/۸ - ۳/۵	۲/۴ - ۲/۸	۱/۷ - ۲/۴	۱/۲ - ۱/۷	۰/۸ - ۱/۲	۰/۳ - ۰/۸	۰ - ۰/۳	خطی معکوس	۷
فاصله از پل (متر)		۸/۸ - ۱۰/۴	۷/۴ - ۸/۸	۶/۲ - ۷/۴	۴/۸ - ۶/۲	۳/۸ - ۴/۸	۳/۱ - ۳/۸	۲/۲ - ۳/۱	۱/۵ - ۲/۲	۰/۸ - ۱/۵	۰ - ۰/۸	خطی معکوس	۳
ارتفاع (متر)		۱۰۱۸ - ۱۱۱۴	۱۱۱۴ - ۱۱۷۶	۱۱۷۶ - ۱۲۴۰	۱۲۴۰ - ۱۳۰۸	۱۳۰۸ - ۱۳۸۶	۱۳۸۶ - ۱۴۳۶	۱۴۳۶ - ۱۵۳۸	۱۵۳۸ - ۱۶۱۵	۱۶۱۵ - ۱۷۰۲	۱۷۰۲ - ۱۸۴۵	خطی مستقیم	۱
شیب (درجه)		۰ - ۱/۸۶	۱/۸۶ - ۳/۵	۳/۵ - ۵/۵	۵/۵ - ۸/۰۶	۸/۰۶ - ۱۱/۲	۱۱/۲ - ۱۵/۳	۱۵/۳ - ۲۰/۴	۲۰/۴ - ۲۶/۴	۲۶/۴ - ۳۰/۳	۳۰/۳ - ۵۳	خطی مستقیم	۴
تراکم آبراهه (کیلومتر/ کیلومتر مربع)		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	خطی مستقیم	۲

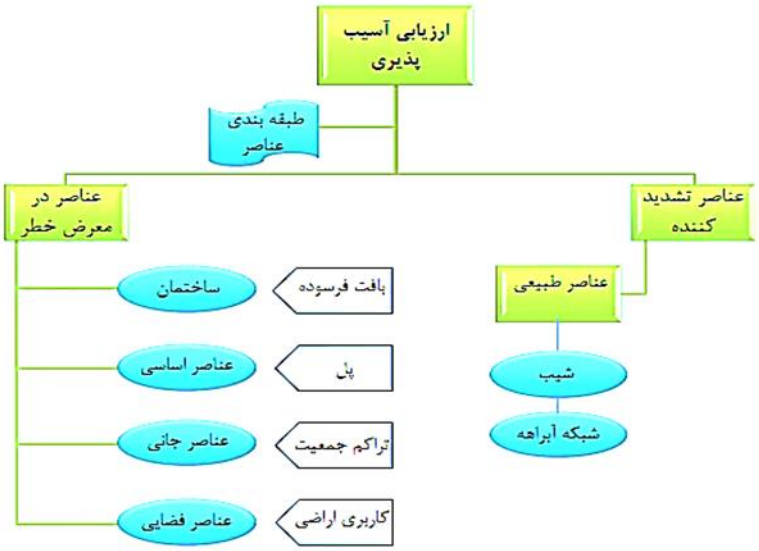
- **آسیب‌پذیری سیلاب[1]**

اولین گام در ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت‌های فیزیکی تعریف عناصر در معرض خطر و عناصر تشدید کننده‌ی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب می‌باشد. شکل ۶ عناصر فیزیکی و تشدید کننده آسیب‌پذیری تعریف شده در این پژوهش را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، متغیرهای بلوک‌های با بافت فرسوده، تراکم جمعیت، کاربری اراضی و پل به‌عنوان عناصر فیزیکی در معرض خطر و متغیرهای شیب و شبکه آبراهه به‌عنوان متغیرهای تشدید کننده آسیب‌پذیری تعریف شده‌اند.

[1]. Flood vulnerability

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.125]



شکل ۶: متغیرهای مؤثر در آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در کلان‌شهر تهران

در این بخش از پژوهش همانند ارزیابی مخاطره سیلاب، هر کدام از لایه‌های استفاده شده با روش شکست‌های طبیعی و بر مبنای تعریف روابط هر یک با آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب به ۱۰ طبقه تقسیم و وزن‌دهی شدند. در حالت رابطه مستقیم مقدار ۱ به پایین‌ترین و مقدار ۱۰ به بالاترین ارزش متغیر اختصاص داده شد (شکل ۷). جدول ۲ الگوی این وزن‌دهی‌ها و روابط تعریف شده را بیان می‌کند. با توجه به جدول، متغیرهای تراکم جمعیت، شیب و تراکم آبراهه با آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب رابطه مستقیم و متغیر فاصله از پل رابطه معکوس دارد. در مورد متغیر کاربری اراضی باید گفت که این متغیر رابطه خطی با هدف مورد بررسی ندارد؛ بدین معنا که هر کاربری میزان و نوع خاصی از آسیب‌پذیری را در مقابل سیلاب دارد. بیش‌ترین ارزش این متغیر به کاربری مسکونی داده شده که مسلماً آسیب‌پذیری جانی و مالی بیش‌تری را در قیاس با سایر کاربری‌ها شامل می‌شود. پس از آن کاربری‌های تجاری، تأسیسات و تجهیزات شهری، صنعتی، حمل و نقل و انبار، نظامی، آسفالت‌ها (شبکه راه)، معادن، فضای سبز و اراضی بایر به ترتیب از ارزش آسیب‌پذیری کم‌تری در برابر سیلاب‌های شهر تهران برخوردارند و به تبع از مقدار ارزشی آن‌ها نیز در ارزیابی آسیب‌پذیری کاسته می‌شود.

بلوک‌های بافت فرسوده[۱] بر اساس سه شرط ناپایداری[۲]، نفوذناپذیری[۳] و ریزدانگی[۴] به ۶ طبقه تقسیم شدند. طبقه ۱ بخش‌هایی از شهر تهران را در بر می‌گیرد که هیچ یک از این سه شرط را نداشته و در واقع بافتی فرسوده ندارند؛ ارزش ۲ به بلوک‌های ریزدانه، ارزش ۴ به بلوک‌های نفوذناپذیر و ارزش ۶ به بلوک‌های ناپایدار اختصاص داده شد. بلوک‌های ناپایدار ـ ریزدانه و ناپایدار ـ نفوذناپذیر به ترتیب ارزش ۸ و ۹ گرفتند. بلوک‌هایی هم که هر سه شرط فرسودگی را دارا می‌باشند، آسیب‌پذیرترین بافت‌های شهر تهران در مقابل مخاطره سیلاب بوده و ارزش ۱۰ برای آن‌ها در نظر گرفته شد. بر مبنای اهمیت متغیرها در ارتباط با آسیب‌پذیری، اولویت‌بندی آن‌ها جهت اجرای مدل آسیب‌پذیری با روش AHP به گونه‌ای است که بیش‌ترین ارزش به تراکم جمعیت و پس از آن به ترتیب به لایه‌های بافت فرسوده، کاربری اراضی، پل، شیب و تراکم آبراهه اختصاص داده شده است (ستون آخر جدول ۲).

[۱]. بلوک‌های فرسوده، بلوک‌هایی هستند که ۵۰ درصد قطعات آن‌ها مشمول سه شرط اصلی ذکر شده باشند.

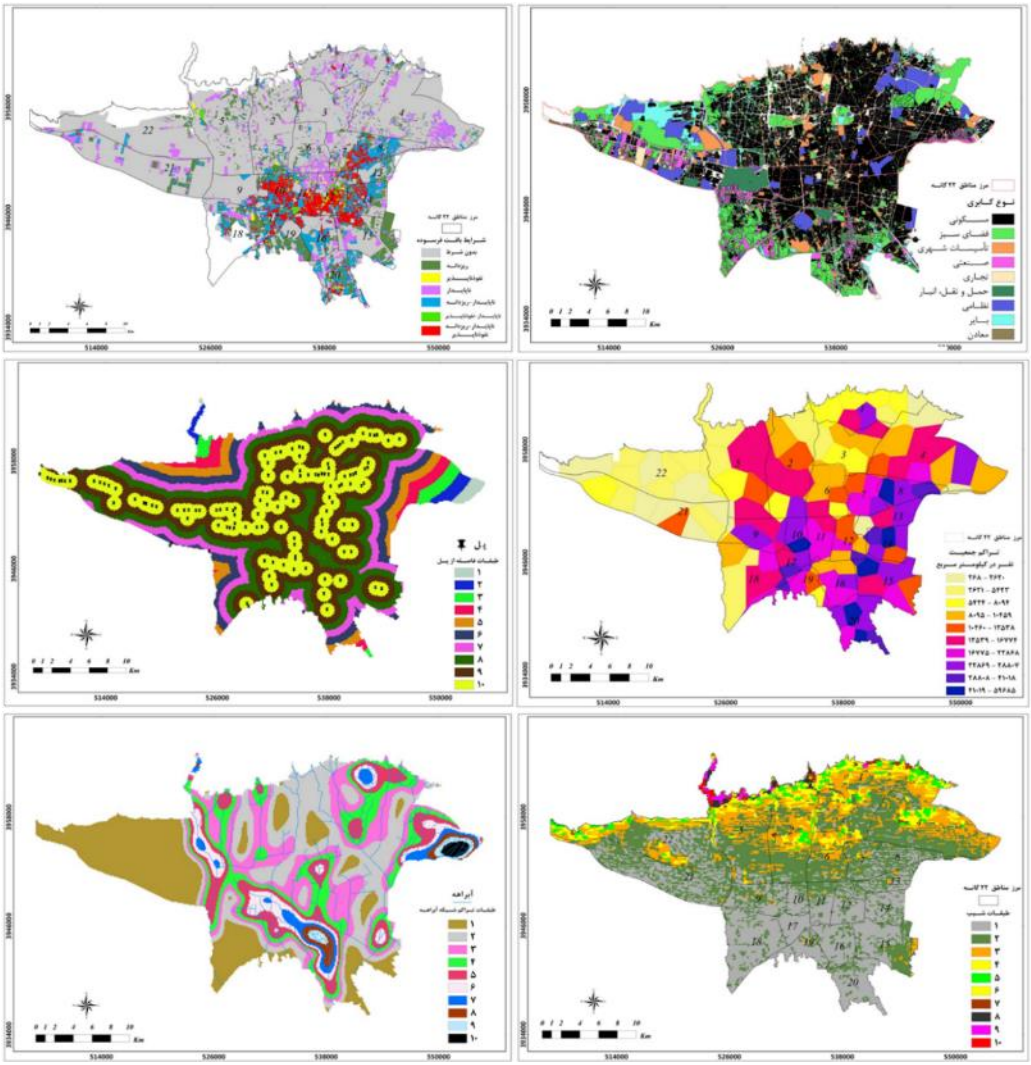
[۲]. بلوک‌های ناپایدار بلوک‌هایی هستند که حداقل ۵۰ درصد قطعات آن‌ها غیر مقاوم است.

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

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

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.125]



شکل ۷:متغیرهای مؤثر در آسیب‌پذیری سیلاب شهر تهران (از بالا راست به چپ: کاربری اراضی، بافت فرسوده، تراکم جمعیت، پل، ارتفاع، شیب و آبراهه)

عوامل تغییرپذیری ریسک سیلاب

ریسک سیلاب شهری منتج از مخاطره و آسیب‌پذیری، پدیده‌ای است که در ابعاد زمانی و مکانی بسته به شرایط محیطی تغییر پیدا می‌کند. این متغیر بودن ریسک در کلان‌شهر تهران می‌تواند از دیدهای جغرافیایی مختلفی مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. در پژوهش حاضر این دیدهای جغرافیایی شامل ارزیابی تغییرپذیری ریسک سیلاب کلان‌شهر تهران در ارتباط با متغیرهای مؤثر، ارزیابی تغییرپذیری ریسک درون حوضه‌های شهری نمونه و در نهایت ارزیابی ریسک بین حوضه‌های نمونه می‌باشد تا بر مبنای این ارزیابی سلسله مراتبی بتوان به الگوی رفتار سیلاب‌های شهر تهران دست یافت.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.125]

جدول ۲: الگوی وزن‌دهی طبقات متغیرها و اولویت‌بندی آن‌ها در محیط AHP بر اساس آسیب‌پذیری

متغیر / وزن	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	رابطه	وزن معیار
کاربری اراضی (CN)	فضای سبز	بایر	معدن	مسکونی	نظامی	تجاری	جاده	صنعتی	حمل و نقل	تأسیسات	غیر خطی	۴
بافت فرسوده	بدون شرط	ریزدانه	-	نفوذناپذیر	-	ناپایدار	-	-	ناپایدار، نفوذناپذیر	ناپایدار، نفوذناپذیر، ریزدانه	غیر خطی	۵
فاصله از پل (هزار متر)	۸/۸ - ۱۰/۴	۷/۴ - ۸/۸	۶ - ۷/۴	۴/۸ - ۶	۳/۸ - ۴/۸	۳ - ۳/۸	۲/۲ - ۳	۱/۵ - ۲/۲	۰/۸ - ۱/۵	۰ - ۰/۸	معکوس	۳
تراکم جمعیت (نفر در کیلومتر مربع)	۲۶۸ - ۲۸۲۱	۲۸۲۱ - ۵۶۰۶	۵۶۰۶ - ۷۹۲۷	۷۹۲۷ - ۱۰۷۱۲	۱۰۷۱۲ - ۱۳۷۲۹	۱۳۷۲۹ - ۱۷۴۴۳	۱۷۴۴۳ - ۲۲۷۸۱	۲۲۷۸۱ - ۲۸۵۸۴	۲۸۵۸۴ - ۴۰۸۸۵	۴۰۸۸۵ - ۵۹۶۸۵	خطی مستقیم	۶
شیب (درجه)	۰ - ۱/۸۶	۱/۸۶ - ۳/۵	۳/۵ - ۵/۵	۵/۵ - ۸/۰۶	۸/۰۶ - ۱۱/۲	۱۱/۲ - ۱۵/۳	۱۵/۳ - ۲۰/۴	۲۰/۴ - ۲۶/۴	۲۶/۴ - ۳۰/۳	۳۰/۳ - ۵۳	خطی مستقیم	۲
تراکم زهکشی	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	خطی مستقیم	۱

ارزیابی سلسله مراتبی، نیاز به برقراری ارتباط بین شاخص‌های تأثیرگذار و ریسک سیلاب دارد. با توجه به پراکنش مکانی زیاد داده‌ها و هم‌چنین متفاوت بودن واحدهایشان، در ابتدا همسان‌سازی متغیرهای استفاده شده صورت گرفت. بدین منظور روش کریجینگ بر مبنای تابع کوواریانس[۱] جهت همسان‌سازی متغیرها (لایه‌های رستری) بکار گرفته شد (شکل ۸). کریجینگ بهترین تخمین‌گر خطی نااریب است و عاری از خطای سیستماتیک می‌باشد. کوواریانس شاخصی برای بیان پیوستگی مکانی است و امکان بررسی همبستگی مکانی بین داده‌های اندازه‌گیری شده را فراهم می‌کند. در همبستگی مکانی فرض بر این است که نقاط نزدیک به هم دارای مقادیر مشابهی می‌باشند. داده‌های استفاده شده به‌عنوان متغیرهای مؤثر در تغییرپذیری ریسک سیلاب، داده‌های مکانی هستند؛ بنابراین تابع کوواریانس بخوبی می‌تواند همبستگی بین این متغیرها را با همدیگر و نیز با متغیر ریسک سیلاب نشان دهد. کوواریانس میانگین حاصلضرب انحرافات از میانگین دو جامعه است که با استفاده از رابطه ۱ به‌دست می‌آید.

رابطه ۱)

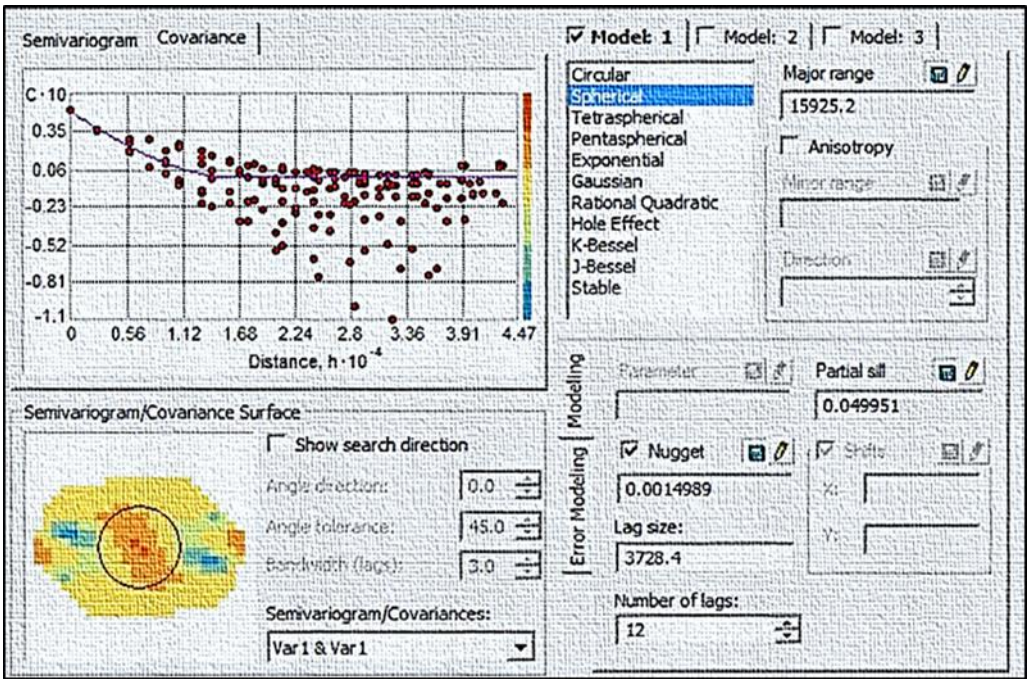
$$Cxy = \frac{\sum Ni(xi-\bar{x})(yi-\bar{y})}{N}$$

۱. Covariance

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.125]

بنابراین شـاخص کمی کوواریانس با هدف همسـان‌سـازی و هم‌چنین با فرض پیوسـتگی مکانی بین داده‌های متغیرها، جهت اعمال این پیوستگی نیز مورد استفاده قرار گرفت. با انجام دادن این مرحله از پژوهش، لایه‌های رستری مربوط به متغیرهای مؤثر در ریسـک سـیلاب بر مبنای شـاخص کمی پیوسـتگی مکانی کوواریانس به پهنه‌های رسـتری همسـان جدیدی تبدیل شدند که در تحلیل تغییرات ریسک سیلاب شهر تهران و حوضه‌های نمونه مورد استفاده قرار گرفتند.



شکل ۸: نمونه‌ای از ایجاد شاخص کمی پیوستگی مکانی کوواریانس برای متغیرهای مؤثر در ریسک سیلاب کلان‌شهر تهران

- **عوامل تغییرپذیری ریسک سیلاب**

پس از به‌دست آمدن متوسط وزنی همه متغیرها به‌صورت جداگانه در ۱۲ حوضه نمونه، این متوسط‌ها از طریق رابطه ۲ استانداردسازی شده‌اند. از این داده‌های استاندارد شده در اجرای تکنیک آماری تحلیل عاملی[۱] استفاده شد تا بر مبنای نتایج این تکنیک آماری بتوان عامل‌های مؤثر در تغییرپذیری ریسـک سـیلاب بین حوضـه‌های نمونه و در نهایت کلان‌شهر تهران را تعیین نمود.

رابطه ۲)

$$\text{Standardized}=X-\frac{\text{Mean}}{\text{Standard divition}}$$

تحلیل عاملی برای تبدیل متغیرهای اصلی به یک متغیر ناهمبسته جدید که ترکیبی خطی از مؤلفه اصلی می‌باشد، طراحی شـده اسـت. محورها (متغیرها)ی جدید در امتداد حداکثر واریانس قرار می‌گیرند. مؤلفه اصـلی اطلاعاتی درباره پارامترهای با بیش‌ترین معناداری به‌دسـت می‌دهد که کل یک مجموعه داده به‌دسـت آمده از فرآیند تقلیل داده‌ها را با حداقل از دست‌رفت داده‌های اولیه (رابطه ۳) توصیف می‌کند (Helena et al., ۲۰۰۰).

رابطه ۳)

$$z_{ij}=a_{i1}x_{1j}+a_{i2}x_{2j}+a_{i3}x_{3j}+\dots+a_{im}x_{mj}$$

که Z امتیاز مؤلفه، a بار مؤلفه، x ارزش لندازه‌گیری شـده متغیر، i شـماره مؤلفه، j شـماره نمونه و m تعداد کل متغیرهاست. تحلیل عاملی از تحلیل مؤلفه‌های اصلی پیروی می‌کند. هدف اصلی این تحلیل، کاهش سهم متغیرهای با معناداری کم جهت سـاده‌سـازی هرچه بیش‌تر سـاختار داده به‌دسـت آمده از تحلیل مؤلفه‌های اصـلی اسـت. این هدف

[۱]. Factor Analysis

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.125]

می‌تواند با چرخش محور تعریف شده (چرخش واریماکس)[۱] از طریق تحلیل مؤلفه‌های اصلی، عملی شده و متغیرهای جدیدی ایجاد گردد که عامل‌های تغییر[۲] نامیده می‌شوند. مؤلفه اصلی ترکیبی خطی از متغیرهای قابل مشاهده ریسک سیلاب است، در حالیکه VF می‌تواند شامل متغیرهای غیرقابل مشاهده، فرضی و پنهان نیز باشد.

شرح و تفسیر نتایج

- **نقشه مخاطره سیلاب**

به‌منظور تهیه این نقشه، از متغیرهای کاربری اراضی، درصد سطح زیر بنای مسکونی، فاصله از شبکه‌های ارتباطی، فاصله از پل، ارتفاع، شیب و تراکم آبراهه استفاده شد (جدول ۳). بر طبق شکل ۹ وزن معیار برای عامل فاصله از شبکه ارتباطی با جهت شمالی - جنوبی ۰/۳۳، فاصله از شبکه ارتباطی با جهت شرقی - غربی ۰/۲۳، سطح زیربنای مسکونی ۰/۱۶، کاربری اراضی ۰/۱۱، فاصله از پل ۰/۰۷، شیب ۰/۰۵، تراکم شبکه آبراهه ۰/۰۳ و ارتفاع ۰/۰۲ محاسبه شده است. وزن معیار متغیرها نشان می‌دهد که شبکه ارتباطی با جهت شمالی - جنوبی، مهم‌ترین متغیر در مخاطره یا به‌عبارتی پتانسیل ایجاد رواناب در کلان‌شهر تهران است؛ در صورتی‌که متغیر ارتفاع با وزن معیار ۰/۰۲۴ به‌عنوان کم‌اهمیت‌ترین شاخص در مخاطره سیلاب شهری مطرح می‌باشد.

وزن نسبی محاسبه شده برای متغیرهای مؤثر در مخاطره سیلاب، ضرایبی هستند که در تهیه این نقشه بکار گرفته شدند. بنابراین مخاطره می‌تواند به صورت تابعی از این متغیرها تعریف شده و از طریق رابطه ۴ به‌دست آید.

رابطه ۴)

$$H=(۰,۳۳۱۳R(n,s))+(۰,۲۳۰۷R(e,w))+(۰,۱۵۷۲I)+(۰,۱۰۵۹L)+(۰,۰۷۰۹B)+(۰,۰۴۷۷S)+(۰,۰۳۲۷D)+(۰,۰۲۳۶E)$$

که در این رابطه، R(n,s) فاصله از شبکه ارتباطی با جهت شمالی - جنوبی، R(e,w) فاصله از شبکه ارتباطی با جهت شرقی - غربی، I سطح زیربنای مسکونی، L کاربری اراضی، B فاصله از پل، S شیب، D تراکم شبکه آبراهه و E ارتفاع است.

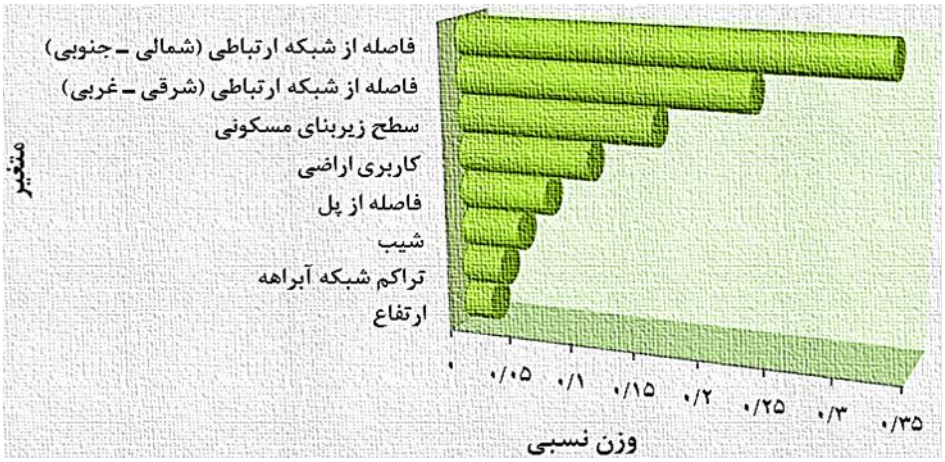
جدول ۳: ماتریس متغیرهای مؤثر در تهیه نقشه مخاطره سیلاب کلان‌شهر تهران

متغیر	شبکه ارتباطی (شمالی ـ جنوبی)	شبکه ارتباطی (شرقی ـ غربی)	سطح زیربنا	کاربری اراضی	فاصله از پل	شیب	تراکم آبراهه	ارتفاع
فاصله از شبکه ارتباطی (شمالی ـ جنوبی)	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸
فاصله از شبکه ارتباطی (شرقی ـ غربی)	۰,٥	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷
سطح زیربنای مسکونی	۰,۳۳	۰,٥	۱	۲	۳	٤	٥	٦
کاربری اراضی	۰,۲٥	۰,۳۳	۰,٥	۱	۲	۳	٤	٥
فاصله از پل	۰,۲	۰,۲٥	۰,۳۳	۰,٥	۱	۲	۳	٤
شیب	۰,۱٦	۰,۲	۰,۲٥	۰,۳۳	۰,٥	۱	۲	۳
تراکم شبکه آبراهه	۰,۱٤	۰,۱٦	۰,۲	۰,۲٥	۰,۳۳	۰,٥	۱	۲
ارتفاع	۰,۱۲	۰,۱٤	۰,۱٦	۰,۲	۰,۲٥	۰,۳۳	۰,٥	۱

CR = ۰ *

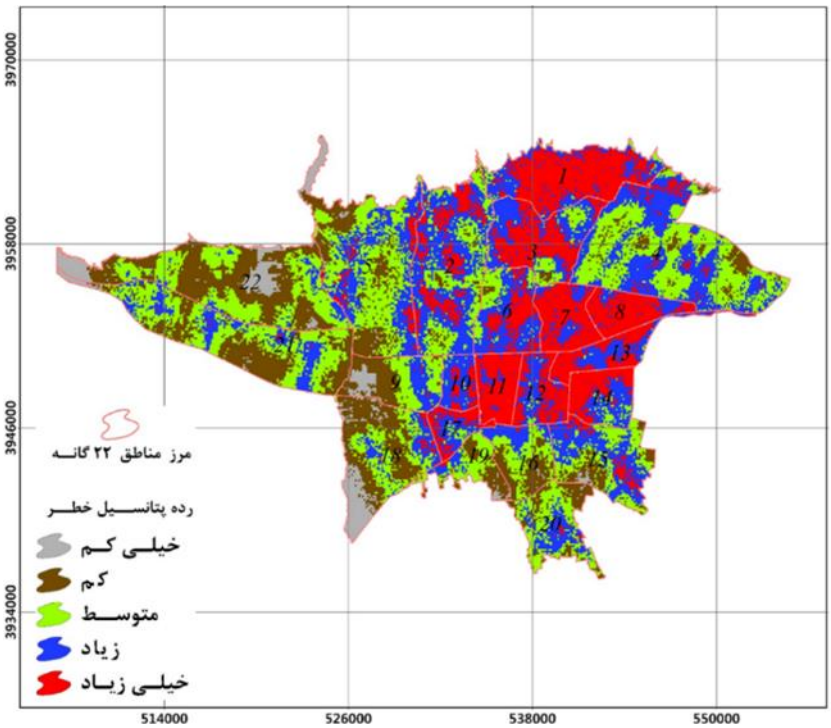
[۱]. Varimax Rotation
[۲]. Varifactor (VF)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.125]



شکل ۹: وزن نسبی متغیرهای مؤثر در تهیه نقشه پهنه‌بندی مخاطره سیلاب کلان‌شهر تهران

با استفاده رابطه ۴، نقشه پتانسل خطر سیلاب کلان‌شهر تهران بدست آمد که در شکل ۱۰ نشان داده شده است. بر طبق این شکل، مخاطره سیلاب دامنه‌ای از صفر تا یک دارد؛ ارزش صفر بیانگر پهنه‌های بدون مخاطره یا با مخاطره کم و ارزش یک بیانگر پهنه‌های با بالاترین مخاطره سیلاب در سطح شهر تهران می‌باشد. با در نظر گرفتن این دامنه و بر مبنای روش شکست‌های طبیعی، مخاطره به پنج رده پتانسیلی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شد.



شکل ۱۰: نقشه پهنه‌بندی مخاطره سیلاب کلان‌شهر تهران

با توجه به نقشه پهنه‌بندی مخاطره سیلاب در کلان‌شهر تهران، مساحت پهنه‌های با مخاطره خیلی زیاد، ۱۲۹/۶ کیلومتر مربع است که ۲۱/۲ درصد از سطح کل شهر را به‌خود اختصاص داده است. پهنه‌های با مخاطره زیاد ۲۸/۶ درصد از مجموع مساحت شهر تهران را در بر می‌گیرند؛ این میزان بیانگر این است که بیش‌ترین مساحت شهر (۱۷۴/۴۱ کیلومتر مربع) در این رده قرار دارد. پس از آن نیز رده مخاطره متوسط ۲۸/۴۸ درصد از مساحت شهر را

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.125]

شامل می‌شود. پهنه‌های رده خیلی کم با ۳/۵۳ درصد از مجموع مساحت، کم‌مساحت‌ترین پهنه‌های شهر به حساب می‌آیند که تنها ۲۱/۵۱ کیلومتر مربع مساحت این رده است. در مجموع ۷۸/۳۲ درصد از مجموع مساحت شهر در رده‌های متوسط تا خیلی زیاد قرار دارند که چالش شهر تهران را در برابر مخاطره ناشی از سیلاب بخوبی منعکس می‌سازد.

- **نقشه آسیب‌پذیری سیلاب**

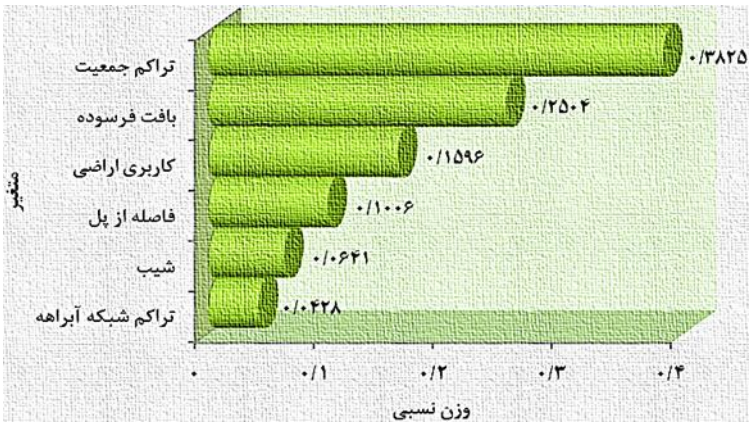
کاربری اراضی، بلوک‌های با بافت فرسوده، فاصله از پل، تراکم جمعیت، شیب و تراکم شبکه آبراهه متغیرهای مؤثر در تهیه نقشه آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در کلان‌شهر تهران می‌باشند که در قسمت روش کار، الگوی روابط و وزن‌دهی آن‌ها تشریح شد. جهت تعیین وزن کلی، اولویت‌بندی متغیرهای مؤثر در آسیب‌پذیری و تهیه‌ی مقادیر کمی آن‌ها بر اساس نظرات کارشناسی ماتریسی به ابعاد ۶×۶ ایجاد شد (جدول ۳). مقایسه دو به دو متغیرها، مبنای تعیین ارجحیت آن‌ها در ارتباط با آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب قرار گرفت.

جدول ۳: ماتریس متغیرهای مؤثر در تهیه نقشه آسیب‌پذیری سیلاب کلان‌شهر تهران

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	۰.۵	۱

* CR = ۰

بر اساس شکل ۱۱، وزن معیار برای عامل تراکم جمعیت ۰/۳۸، بافت فرسوده ۰/۲۵، کاربری اراضی ۰/۱۶، فاصله از پل ۰/۱، شیب ۰/۰۶۴۱ و تراکم شبکه آبراهه ۰/۰۴۲۸ محاسبه شده است. بنابراین، تراکم جمعیت بیش‌ترین و تراکم شبکه آبراهه کم‌ترین وزن را در تهیه نقشه آسیب‌پذیری دارند.



شکل ۱۱: وزن نسبی متغیرهای مؤثر در آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در کلان‌شهر تهران

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

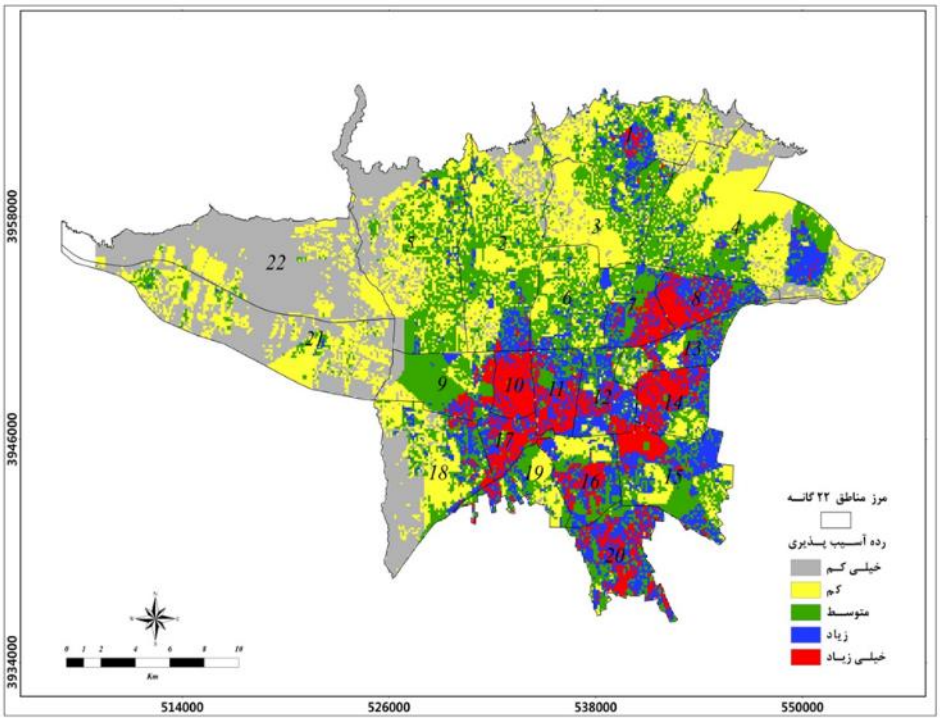
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.125]

این وزن‌های نسبی (ضرایب)، به‌عنوان میزان تأثیرگذاری هر متغیر در ایجاد نقشه آسیب‌پذیری مورد استفاده قرار گرفتند. به عبارتی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در کلان‌شهر تهران به صورت تابعی از این ضرایب تعریف و از رابطه ۵ بدست آمد.

رابطه ۵) (V=(۰,۳۸۲۵P)+(۰,۲۵۰٤T)+(۰,۱۵۹٦T)+(۰,۱۰۰٦B)+*۰,٦٤١S)+(۰,۰٤۲۸D

که در این رابطه، V آسیب‌پذیری، P تراکم جمعیت، T بلوک‌های با بافت فرسوده، B فاصله از پل، S شیب و D تراکم شبکه آبراهه می‌باشد.

با توجه به شکل ۱۲، 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 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 پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سیلاب نشان می‌دهد که مناطق ۱۰، ۱۷، ۸ و ۱۱ آسیب‌پذیرترین بخش‌های شهر در برابر سیلاب هستند. در حالی‌که مناطق ۲۲، ۲۱، ۱۸ و ۵ کم‌ترین آسیب‌پذیری را در برابر وقوع سیلاب شهری را دارند؛ این مناطق تقریباً عاری از بلوک‌های بافت فرسوده بوده و از نظر تراکم جمعیتی نیز نسبت به متوسط شهر تهران در سطح خیلی کم‌تراکم‌تری قرار دارند. به‌ویژه منطقه ۲۲ که به‌دلیل جدید بودن بافت شهری، نبود بافت فرسوده و تراکم خیلی پایین جمعیت و همچنین توان آبگذری بالا (مسیل رودخانه کن)، آسیب‌پذیری پایینی دارد.



شکل ۱۲: نقشه آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در کلان‌شهر تهران

- **نقشه ریسک سیلاب**

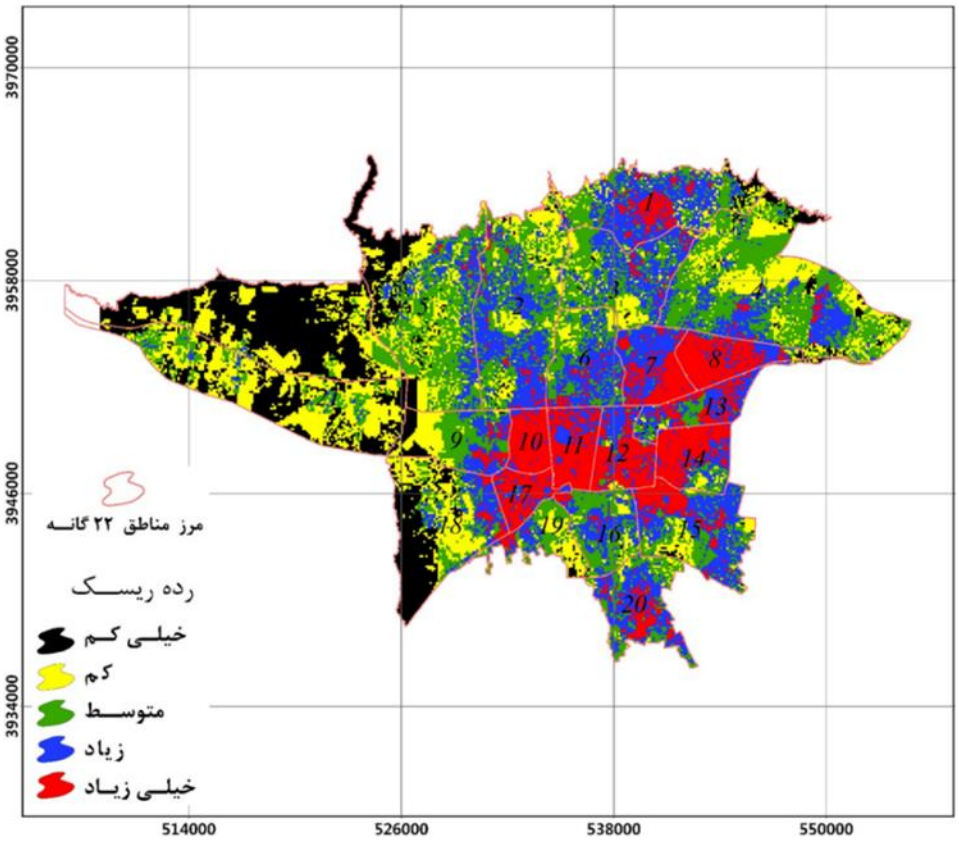
محاسبه ارزش ریسک می‌تواند در زمینه‌های خسارت اجتماعی ـــ اقتصادی و یا در ارتباط با مقیاس خسارت ایجاد شده توسط سیل انجام بگیرد که در این پژهش، بعد اجتماعی و اقتصادی ریسک سیلاب مورد توجه قرار گرفت. تهیه نقشه ریسک و ارزیابی آن بر مبنای نتایج حاصل از مخاطره و آسیب‌پذیری انجام شد. نتیجه این محاسبه، ارزش ریسک با دامنه‌ای از صفر تا یک می‌باشد که سطح احتمال خسارت را توسط سیلاب بیان می‌کند. رابطه ۶ فرمول محاسبه

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.125]

ارزش ریسک سیلاب را در کلان‌شهر تهران نشان می‌دهد. با توجه به رابطه، میزان ارزش‌دهی یا تأثیر گذاری متغیر آسیب‌پذیری بیش‌تر از پتانسیل مخاطره سیلاب در نظر گرفته شده است. دلیل این ارزش‌دهی بیش‌تر به آسیب‌پذیری این است که شهر تهران بیش از آنکه با معضل یا چالش مخاطره ناشی از تولید رواناب مواجه باشد، با آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر و هم‌چنین تفاوت‌های مکانی این عناصر درگیر است. به عبارتی، هنگامی‌که رواناب در سطح شهر جریانی سیلابی به خود می‌گیرد، پهنه‌های بافت فرسوده که هم بلوک‌هایی ناپایدار هستند و هم تراکم جمعیتی بالایی دارند، احتمال ریسک سیلاب و خسارت بالایی را نیز می‌توانند تجربه کنند. نتیجه این سخن می‌تواند در سطح کیفی زندگی بخش‌های مختلف شهر تهران خلاصه شود.

رابطه ۶) (۰/۳۳ × مخاطره) + (۰/۶۶ × آسیب‌پذیری) = ریسک سیلاب

بر اساس شکل ۱۳، ۱۶۳/۱۲ کیلومتر مربع از مساحت شهر تهران در رده ریسک زیاد قرار گرفته که بیش‌ترین میزان را در بین رده‌های ریسک سیلاب در کلان‌شهر تهران دارد (۲۶/۸۹ درصد). رده ریسک خیلی کم با ۸۰/۱۰ کیلومتر مربع، کم‌مساحت‌ترین رده ریسک است که ۱۳/۲ درصد از مجموع مساحت شهر تهران در این رده قرار دارد. در کل، قرار گرفتن ۴۲/۵۴ درصد از مجموع مساحت شهر در دو رده با ریسک زیاد و خیلی زیاد بیانگر ریسک بالای سیلاب می‌باشد. نقشه پهنه‌بندی ریسک سیلاب شهر تهران نشان می‌دهد که مناطق ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و بخش‌هایی از مناطق ۱۶، ۱۹ و حتی منطقه ۱ در رده‌های با سطح بالای ریسک قرار گرفته‌اند که دلیل اصلی آن می‌تواند گسترش زیاد پهنه‌های با بافت فرسوده در این مناطق، تراکم جمعیتی بالا، معابر و دسترسی‌های کم عرض باشد. در مقابل، مناطق ۲۲، ۲۱ و تا حدی مناطق ۱۸ و ۵ از سطح ریسک سیلاب شهری پایین‌تری برخوردار هستند.



شکل ۱۳: نقشه پهنه‌بندی ریسک سیلاب کلان‌شهر تهران

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.125]

- **عوامل مؤثر در تغییرپذیری الگوی ریسک سیلاب بین حوضه‌های نمونه**

متغیرهای مؤثر در ریسک سیلاب حوضه‌های نمونه کلان‌شهر تهران در تغییرات مکانی الگوی ریسک مؤثر هستند؛ به‌عبارتی تغییرات مکانی متغیرها سبب متغیر بودن ریسک در ۱۲ حوضه نمونه هیدرولوژیک شهری شده است. با این فرض، فاصله از پل، فاصله از شبکه‌های ارتباطی (شمالی - جنوبی و شرقی - غربی)، شیب، بلوک‌های با بافت فرسوده، تراکم شبکه آبراهه، ارتفاع، کاربری اراضی، تراکم جمعیت، تفاضل رواناب از بارش و سطح زیربنای مسکونی به‌عنوان متغیرهای مؤثر در تغییرات مکانی ریسک سیلاب حوضه‌های نمونه درنظر گرفته شدند.

جدول ۴: متوسط وزنی متغیرهای مؤثر در ریسک سیلاب حوضه‌های هیدرولوژیک شهری نمونه در سطح کلان‌شهر تهران

حوضه نمونه	متوسط ریسک	فاصله از پل	فاصله از شبکه ارتباطی		بافت فرسوده	کاربری اراضی
			شمالی ـ جنوبی	شرقی ـ غربی		
۱	۷.۶۷	۵۷۶۷.۹۷	۲۸۵.۹۸	۴۲۵.۵۲	۱.۸۷	۹۱.۲۸
۲	۵.۳۴	۱۱۴۳.۶۷	۵۳۲.۷۳	۱۵۳۰.۵۴	۱.۸۴	۹۱.۲۴
۳	۶.۷۴	۹۹۴.۹۲	۲۴۸.۰۹	۱۱۱۵.۵۳	۱.۴۳	۹۳.۲۵
۴	۷.۸۵	۷۵۱.۷۴	۱۹۴.۰۹	۸۱۲.۴۸	۱.۴۱	۹۳.۹۸
۵	۸.۴۴	۹۷۹.۱۷	۱۸۰.۶۸	۱۲۹۷.۸۵	۱.۷۰	۹۲.۳۴
۶	۳.۵۰	۳۲۳۰.۲۵	۳۴۲.۶۹	۴۸۴.۹۹	۱.۵۰	۸۶.۱۷
۷	۱.۹۵	۷۳۵.۹۸	۸۸۵.۲۷	۴۲۱.۳۲	۲.۸۳	۷۸.۸۶
۸	۱۵.۷۵	۲۱۸۳.۵۱	۴۰۵.۱۵	۸۹۱.۸۳	۶.۸۸	۹۲.۸۹
۹	۶.۱۵	۱۶۰۵.۵۸	۵۰۰.۰۵	۲۰۷۳.۵۸	۳.۵۷	۹۱.۸۲
۱۰	۱۲.۲۸	۸۵۸.۸۷	۳۹۹.۳۳	۳۷۲.۰۰	۵.۶۲	۹۳.۵۹
۱۱	۱.۶۶	۷۵۱.۵۱	۳۵۱.۸۹	۴۸۱.۹۸	۱.۰۳	۷۲.۹۴
۱۲	۲.۸۰	۱۷۲۵.۸۰	۶۹۴.۱۶	۷۹۷.۶۶	۱.۷۳	۸۸.۱۶
Mean	۶.۶۸	۱۷۲۷.۴۲	۴۱۸.۳۴	۸۹۲.۱۱	۲.۶۲	۸۸.۸۸
Std	۴.۰۱۹۶۴۷	۱۴۱۰.۸۵۹	۱۹۹.۵۴۱۹	۵۰۶.۳۸۲۹۸	۱.۷۶۹۵۰۵	۶.۳۰۸۷۹۲

حوضه نمونه	تراکم جمعیت	سطح زیربنای مسکونی	شیب	تراکم شبکه آبراهه	ارتفاع	تفاضل بارش و رواناب
۱	۱۷۸۴۸.۸۱	۲۵.۱۳	۳.۰۷	۱۲.۳۹	۱۴۱۹.۴۳	۲.۶۹
۲	۸۹۴۹.۵۸	۲۲.۰۰	۳.۹۴	۵.۶۱	۱۴۷۵.۱۶	۲.۵۹
۳	۷۸۴۵.۹۳	۳۰.۴۷	۳.۷۲	۲.۶۸	۱۴۴۶.۹۶	۱.۸۲
۴	۱۰۷۱۰.۸۵	۲۸.۰۰	۳.۴۹	۰.۹۴	۱۴۸۹.۵۷	۱.۶۰
۵	۱۳۶۵۱.۲۵	۲۵.۳۵	۳.۲۴	۴.۰۹	۱۳۵۶.۶۶	۲.۲۴
۶	۵۷۶۱.۷۳	۱۷.۱۸	۳.۱۴	۱۲.۵۱	۱۳۳۵.۳۳	۴.۸۸
۷	۱۵۱۱.۰۰	۵.۳۵	۵.۶۴	۰.۰۰	۱۲۸۶.۱۶	۷.۸۹
۸	۴۰۹۳۶.۲۴	۳۹.۸۵	۱.۶۵	۰.۶۰	۱۱۵۶.۲۵	۲.۰۰
۹	۱۲۶۹۶.۷۸	۱۸.۵۷	۱.۸۸	۱۱.۴۸	۱۰۹۷.۱۶	۲.۴۰
۱۰	۱۹۵۰۵.۱۰	۱۶.۸۳	۱.۵۷	۱۱.۷۱	۱۱۳۴.۱۷	۱.۶۲
۱۱	۲۵۰۸.۳۵	۶.۱۱	۴.۲۱	۰.۰۰	۱۲۵۱.۴۳	۱۰.۶۶
۱۲	۵۵۰۹.۷۹	۸.۶۴	۱.۵۷	۰.۸۴	۱۲۵۲.۱۸	۳.۸۴
Mean	۱۲۲۸۶.۲۸	۲۰.۲۹	۳.۰۹	۵.۲۴	۱۳۰۸.۳۷	۳.۶۸
Std	۱۰۱۶۳.۰۱۴۱	۹.۹۲۶۱۷۷	۱.۱۹۸۹۱۲	۵.۰۵۹۴۸۹	۱۲۹.۱۷۶۵۲	۲.۷۱۸۴۱

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.125]

جهت رسیدن به عامل‌های مؤثر، ابتدا متوسط وزنی ریسک و هر یک از متغیرهای ذکر شده در ۱۲ حوضه نمونه با استفاده از تحلیل زونی[1] در محیط ArcGIS به‌دست آمد. با توجه به جدول ۴، متوسط وزنی ریسک سیلاب در حوضه‌های ۱ تا ۱۲ به‌ترتیب ۷/۶۷، ۵/۳۴، ۶/۷۴، ۷/۸۵، ۸/۴۴، ۳/۵، ۱/۹۵، ۱۵/۷۵، ۶/۱۵، ۱۲/۲۸، ۱/۶۶ و ۲/۸ است که بر مبنای آن، حوضه‌های شماره ۱۱ و ۸ به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین میزان ریسک سیلاب را دارند.

پس از محاسبه متوسط‌های وزنی، تحلیل عاملی بر اساس ۱۱ متغیر به‌منظور تعیین مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در تغییرات ریسک سیلاب حوضه‌های نمونه انجام گرفت. برای انجام تحلیل عاملی از روش واریماکس استفاده شده و مبنای انتخاب عامل‌ها، ارزش‌های بیش از ۱ مقادیر ویژه[2] برای تعیین مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در تغییرات ریسک سیلاب می‌باشد؛ نتایج حاصل از این تحلیل در جدول ۵ آورده شده است. بر مبنای نتایج به‌دست آمده، چهار مؤلفه معنادار با مجموع کل واریانس ۸۷/۷۶ درصد در تغییرات الگوی ریسک سیلاب ۱۲ حوضه وجود دارد؛ در مؤلفه ۱، ارتباط ریسک سیلاب با متغیرهای مستقل ۰/۷۸۸ به‌دست آمده که این مؤلفه را به‌عنوان مؤلفه اصلی در تغییرات ریسک سیلاب بین حوضه‌های نمونه نشان می‌دهد. مؤلفه یک، با توجیه ۳۱/۷۵ درصد از مجموع واریانس تغییرات، متغیرهای بافت فرسوده، تراکم جمعیت و درصد سطح زیربنای مسکونی را به‌عنوان عامل‌های تغییرپذیری ریسک سیلاب بین حوضه‌های نمونه معرفی می‌کند؛ این مؤلفه با هر سه متغیر به صورت قوی مثبت مرتبط می‌باشد. نکته حائز اهمیت این است که مهم‌ترین عامل در توجیه تغییرپذیری ریسک سیلاب در سطح کلان‌شهر تهران، بلوک‌های با بافت فرسوده (مقدار ویژه: ۰/۹۷۵) و سپس عامل‌های سطح زیربنای مسکونی (مقدار ویژه: ۰/۸۵۲) و تراکم جمعیت (مقدار ویژه: ۰/۸۴۱) است.

جدول ۵: تحلیل عامل متغیرهای مؤثر در تغییرات ریسک سیلاب حوضه‌های هیدرولوژیک شهری نمونه در کلان‌شهر تهران

متغیر	مؤلفه ۱	مؤلفه ۲	مؤلفه ۳	مؤلفه ۴
ریسک	**۰.۷۸۸**	۰.۵۹۷	۰.۰۹۶	۰.۰۱۶
فاصله از پل	۰.۰۱۱	۰.۱۹۳	-۰.۲۵۲	۰.۸۳۹
فاصله از شبکه شرقی - غربی	۰۰/۰	-۰.۰۲۳	-۰.۹۱۲	-۰.۱۱۶
شیب	-۰.۶۷۲	-۰.۰۶۹	-۰.۳۴۷	-۰.۳۸
بافت فرسوده	**۰.۹۷۵**	-۰.۰۰۲	-۰.۰۰۵	-۰.۰۴۷
تراکم شبکه آبراهه	۰.۱۰۷	-۰.۰۰۵	۰.۲	۰.۸۸۴
ارتفاع	-۰.۷۵۱	۰.۵۶۸	-۰.۰۱۲	-۰.۰۵۱
کاربری اراضی	۰.۳۲۷	۰.۶۲۹	۰.۶۰۴	۰.۲۳۲
فاصله از شبکه شمالی - جنوبی	۰.۰۹۳	۸۰۲-۰.	-۰.۰۲۴	-۰.۱۸۳
تراکم جمعیت	**۰.۸۴۱**	۰.۴۵۸	۰.۰۰۳	۰.۰۷۵
تفاضل بارش و رواناب	-۰.۳۳	-۰.۶۱۱	-۰.۶۱۲	-۰.۲۳۲
سطح زیربنای مسکونی	**۰.۸۵۲**	۰.۳۴۵	۰.۲۴۱	۰.۰۰۱
مقادیر ویژه	۴.۴۴۶	۴.۱۲۶	۱.۹۱۱	۱.۸۰۳
درصد واریانس	۳۱.۷۵۶	۲۹.۴۷۱	۱۳.۶۵۱	۱۲.۸۸۲
درصد واریانس تجمعی	۳۱.۷۵۶	۶۱.۲۲۷	۷۴.۸۷۹	۸۷.۷۶

تهیه نقشه‌های مخاطره، آسیب‌پذیری و ریسک سه گام اساسی جهت دست‌یابی به تحلیل تغییرپذیری ریسک سیلاب در گستره کلان‌شهر تهران است. نقشه مخاطره، فرآیندی برای تولید اطلاعات از میزان مخاطره سیلاب در بخش‌های

[1]. Zonal statistics
[2]. Eigenvalues

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.125]

مختلف شهر است. اما این نقشه به تنهایی جهت تشریح مسائل سیلاب در نواحی شهری کافی نیست، چرا که سکونتگاه شهری اجزای گوناگونی دارد که می‌تواند به شکل‌های متفاوتی از سیلاب متأثر شود. بر این مبنا، تحلیل آسیب‌پذیری گامی جهت بهبود نتایج حاصل از تحلیل مخاطره از طریق اضافه شدن موجودیت شهر به مدل‌های تحلیلی است. ترکیب مخاطره و آسیب‌پذیری، ریسک سیلاب نامیده می‌شود که به وجود داشتن دو بعد تعریف شده است: مخاطره سیلاب و عناصر در معرض خطر. این پژوهش تلاشی جهت انجام تحلیل آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر سیل انجام داد که البته به علت محدودیت‌هایی، تحلیل آسیب‌پذیری بر مبنای همه عناصر در معرض خطر سیل در کلان‌شهر تهران انجام نگرفت.

با توجه به نقشه پهنه‌بندی مخاطره سیلاب در کلان‌شهر تهران، مساحت پهنه‌های با مخاطره خیلی زیاد، ۱۲۹/۶ کیلومتر مربع است که ۲۱/۲ درصد از سطح کل شهر را به‌خود اختصاص داده است. پهنه‌های با مخاطره زیاد ۲۸/۶ درصد از مجموع مساحت شهر تهران را در بر می‌گیرند؛ این میزان بیانگر این است که بیش‌ترین مساحت شهر (۱۷۴/۴ کیلومتر مربع) در رده زیاد به‌لحاظ مخاطره سیلاب قرار دارد که با یافته‌های فنی و قشمی (۱۳۹۶) همخوانی دارد. پس از آن نیز رده مخاطره متوسط ۲۸/۵ درصد از مساحت شهر را شامل می‌شود. پهنه‌های رده خیلی کم با ۳/۵۳ درصد از مجموع مساحت، کم‌مساحت‌ترین پهنه‌های شهر به حساب می‌آیند که تنها ۲۱/۵ کیلومتر مربع مساحت این رده است. در مجموع ۷۸/۳ درصد از مجموع مساحت شهر در رده‌های متوسط تا خیلی زیاد قرار دارند که چالش شهر تهران را در برابر مخاطره ناشی از سیلاب بخوبی منعکس می‌سازد.

نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری کلان‌شهر تهران نشان داد که رده آسیب‌پذیری کم با ۱۸۷/۷ کیلومتر مربع بیش‌ترین مساحت از شهر تهران را در برگرفته است که معادل ۳۰/۹ درصد از مجموع مساحت شهر می‌باشد؛ پس از آن، پهنه‌های با رده آسیب‌پذیری متوسط ۱۵۲/۳ 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. بر اساس نقشه پهنه‌بندی ریسک سیلاب کلان‌شهر تهران، ۱۶۳/۱ کیلومتر مربع از مساحت شهر تهران در رده ریسک زیاد قرار گرفته که بیش‌ترین میزان را در بین رده‌های ریسک سیلاب در کلان‌شهر تهران دارد (۲۶/۹ درصد). رده ریسک خیلی کم با ۸۰/۱ کیلومتر مربع، کم‌مساحت‌ترین رده ریسک است که ۱۳/۲ درصد از مجموع مساحت شهر تهران در این رده قرار دارد. در کل، قرار گرفتن ۴۲/۵ درصد از مجموع مساحت شهر در دو رده با ریسک زیاد و خیلی زیاد بیانگر ریسک بالای سیلاب می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در مجموع، هدف نهایی پژوهش استفاده از نقشه ریسک سیلاب به‌دست آمده به‌عنوان شاخص رفتار سیلاب در کلان‌شهر تهران بود. شاخصی که با استفاده از ماهیت وابسته بودن، بتواند نقش متغیرهای مستقل را در بخش‌های مختلف شهر در ارتباط با تغییرپذیری فضایی آن بسنجد. سنجش این تغییرپذیری و ارتباط ریسک با متغیرهای مستقل در حوضه‌های نمونه انجام گرفت؛ حوضه‌هایی که نماینده بخش‌های مختلف با ویژگی‌های خاصی در شهر تهران هستند. نتایجی که در این پژوهش به‌دست آمد، نشان داد که ریسک به‌عنوان شاخص رفتار سیلاب در کلان‌شهر تهران توزیع مکانی ثابتی ندارد. در بخش‌های مختلف مشاهده شد که این ثابت نبودن توزیع مکانی به تفاوت‌های موجود در شاخص‌های شهری تهران البته در ارتباط با بستر طبیعی شهر برمی‌گردد. ترکیب این شاخص‌های طبیعی و شهرسازی متفاوت در بخش‌های مختلف شهر تهران الگوی متفاوتی از میزان ریسک سیلاب درست می‌کند که بحث آشفتگی سیلاب (به ویژه سیلاب‌های کوتاه مدت غیر قابل پیش‌بینی) را پیش می‌آورد.

نتایج تحلیل عاملی بر مبنای شاخص متوسط وزنی ریسک سیلاب و متغیرهای مؤثر در آن، چهار مؤلفه تأثیرگذار را در تغییرات فضایی ریسک در سطح حوضه‌های ۱۲ گانه نمونه نشان داد. مؤلفه اول با توجیه ۳۱/۸ درصد از مجموع

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.125]

واریانس عامل‌ها و با مقدار ویژه ۰/۷۸۸ (ارتباط ریسک سیلاب با متغیرهای مستقل) به‌عنوان مؤلفه اصلی در تغییرات ریسک سیلاب بین حوضه‌های، متغیرهای بافت فرسوده، تراکم جمعیت و درصد سطح زیربنای مسکونی را به‌عنوان عامل‌های تغییرپذیری ریسک سیلاب بین حوضه‌های نمونه معرفی می‌کند؛ این مؤلفه با هر سه متغیر به‌صورت قوی مثبت مرتبط می‌باشد. نکته حائز اهمیت این است که مهم‌ترین عامل در توجیه تغییرپذیری ریسک سیلاب در سطح کلان‌شهر تهران، بلوک‌های با بافت فرسوده (مقدار ویژه: ۰/۹۷۵) و سپس عامل‌های سطح زیربنای مسکونی (مقدار ویژه: ۰/۸۵۲) و تراکم جمعیت (مقدار ویژه: ۰/۸۴۱) است. بنابراین، بافت فرسوده، سطح زیربنای مسکونی و تراکم جمعیت سبب می‌شود که سیلاب در سطح حوضه‌های ۱۲ گانه نمونه و به تبع آن در سطح کلان‌شهر تهران توزیع مکانی ثابتی نداشته باشد. این مطالب با یافته‌های مجیدی هروی و همکاران (۱۳۹۴) مبنی بر اهمیت بالای بافت فرسوده در آسیب‌پذیری و ریسک سیلاب مطابق دارد؛ این بافت‌ها به‌دلیل اینکه زهکشی مناسبی ندارند و همچنین شبکه‌های مسیل در این مناطق عمدتاً در بخش زیرین (شبکه زهکشی مدفون) شهر قرار گرفته‌اند، باعث پدیده تشدید آبگرفتی و حتی گاهی اوقات شروع سیلاب می‌شوند.

آماده‌سازی تهران برای جلوگیری از بروز آب‌گرفتگی فعالیتی تدریجی بوده که همچنان در حال انجام است. حالا پایتخت شرایط بهتری را نسبت به دهه‌های قبل از ۸۰ تجربه می‌کند و آب‌گرفتگی‌های احتمالی، دیگر سرتاسری نمی‌شوند؛ بلکه به نقاطی از شهر محدود می‌مانند و رفع مشکل آسان‌تر و سریع‌تر شده است. با این حال، نوسازی کانال‌های اصلی آب از طریق لوله‌گذاری و بتون‌ریزی و ساخت حوضچه‌های رسوب‌گیر در مسیر دفع آب‌های سطحی، حفر چاه‌های جذبی و توسعه هر چه بیش‌تر کانال‌های هدایت آب سر باز و پوشیده در بهبود شرایط بسیار مؤثر خواهد بود.

منابع

جاویدان، نرگس؛ بهره‌مند، عبدالرضا؛ جاویدان، رعنا؛ اونق، مجید، و کمکی، چوقی بایرام. (۱۳۹۷). بررسی تأثیر سناریوهای تغییر کاربری اراضی بر روی مؤلفه‌های بیلان آبی با استفاده از مدل WetSpa (مطالعه موردی: حوزه آبخیز زیارت استان گلستان). *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، **۹(۱۷)**: ۱۶۸-۱۸۱.

درفشی، خه‌بات. (۱۳۹۰). بررسی تغییرات فضایی سیلاب در کلان‌شهر تهران. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ۱۳۰ صفحه.

شنانی هویزه، سیده مائده؛ زارعی، حیدر، و رمضانی، حبیب. (۱۳۹۶). بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر هیدروگراف سیل (مطالعه موردی: حوضه آبریز ابوالعباس). *علوم و مهندسی آبیاری*، **۴۰(۱)**: ۲۱۹-۲۲۹.

فنی، زهره، و قشمی، سید محمدرضا. (۱۳۹۷). پهنه‌بندی و تحلیل فضایی حساسیت مخاطرات چهارگانه محیطی زمین‌لغزش، سیل، زلزله و فرونشست مورد پژوهشی: مناطق ۲۲ گانه شهر تهران. *اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، **۲۷(۱۰۸)**: ۷۷-۸۹.

قهرودی تالی، منیژه، و درفشی، خه‌بات. (۱۳۹۴). بررسی آشفتگی در الگوی خطر سیلاب در تهران. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، **۲(۲)**: ۱-۱۶.

مجیدی هروی، آنیتا؛ قهرودی تالی، منیژه؛ حکمت‌نیا، حسن؛ فرهودی، رحمت‌الله، و جاوری، مجید. (۱۳۹۴). آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب شهری در شمال‌غرب تهران (حوضه‌های فرحزاد تا کن). *جغرافیا (فصل‌نامه علمی - پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران)*، دوره جدید، **۱۳(۴۶)**: ۱۸۱-۲۰۱.

Abe, C., Lobo, F., Dibike, Y., Costa, M., Dos Santos, V., and Novo, E. ۲۰۱۸. Modelling the effects of historical and future land cover changes on the hydrology of an Amazonian Basin. *Water*, **۱۰(۷)**: ۱-۱۹.

Beighley, R.E., and Moglen, G.E. ۲۰۰۲. Trend Assessment in rainfall-runoff behavior in urbanizing watersheds. *Hydrologic Engineering Journal*, **۷(۱)**: ۲۷-۳٤.

Bhattacharya, N. ۲۰۱۰. Flood risk assessment in Barcelonnette, France. Master of Science, *International institute for Geo-information Science and Earth Observation (ITC), the Netherlands*, Pp. ۹۱.

Campana, N.A., and Tucci, E.M.C. ۲۰۰۱. Predicting floods from urban development scenarios: Case study of the Diluvio basin, Porto Alegre, Brazil. *Urban Water*, **۳**: ۱۱۳-۱۲٤.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.125]

Hassaballah, K., Mohamed, Y., Uhlenbrook, S., and Biro, K. ۲۰۱۷. Analysis of streamflow response to land use and land cover changes using satellite data and hydrological modelling: case study of Dinder and Rahad tributaries of the Blue Nile. (Ethiopia–Sudan). *Hydrology of Earth System Science*, **۲۱**: ۵۲۱۷-۵۲٤۲.

Hawley, R.J., and Bledsoe, B.P. ۲۰۱۱. How Do Flow Peaks and Durations Change in Suburbanizing Semi-Arid Watersheds? A Southern California Case Study. *Journal of Hydrology*, **٤۰۵**: ٦۹-۸۲. DOI۱۰,۱۰۱٦/j.jhydrol.۲۰۱۱,۰۵,۰۱۱.

Helena, B., Pardo, R., Vega, M., Barrado, E., Ferna´ndez, J.M., and Fernandez, L. ۲۰۰۰. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. *Water Resources*, **۳٤(۳)**: ۸۰۷-۸۱٦.

Kilbler, D.F., Froelich, C.D., and Aron, G. ۲۰۰۷. Analyzing urbanization impacts on Pennsylvania flood peak. *Journal of American Water Resources Association*, **۱۷(۲)**: ۲۷۰-۲۷٤.

Lastra, J., Fernandez, E., Diez-Herrero, A., and Marquinez, J. ۲۰۰۸. Flood hazard delineation combining geomorphological and hydrologic method: an example in the Northern Iberian Peninsula. *Natural Hazards*, **٤۵**: ۲۷۷-۲۹۳.

Liu, Y.B., De Smedt, F., Hoffmann, F., and Pfister, L. ۲۰۰٤. Assessing land use impact on flood processes in complex terrain by using GIS and modeling approach. *Environmental modeling and assessment*, **۹**: ۲۲۷-۲۳۵.

Nirupama, N., and Simonovic, S. P. ۲۰۰۷. Increase of flood risk due to urbanization: A Canadian example. *Natural Hazards*, **٤۰**: ۲۵-٤۱.

Poff, N.L., Bledsone, B.P., and Cuhaciyan C.O. ۲۰۰٦. Hydrologic variation with land use across the contiguous United States: geomorphic and ecological for stream ecosystems. *Geomorphology Journal*, **۷۹(۳-٤)**: ۲٦٤-۲۸۵.

Poff, N.L., Bledsone, B.P., and Cuhaciyan C.O. ۲۰۰٦. Hydrologic variation with land use across the contiguous United States: geomorphic and ecological for stream ecosystems. Geomorphology Journal, **۷۹(۳-٤)**: ۲٦٤-۲۸۵.

Puno, R.C.C., Puno, G.R., and Talisay, B.A.M. ۲۰۱۹. Hydrologic responses of watershed assessment to land cover and climate change using soil and water assessment tool model. *Global Journal of Environmental Science Management*, **۵(۱)**: ۷۱-۸۲.

Saghafian, B., Farzjoo, Hassan., Bozorgy, Babak., and Yazdandoost, Farhad. ۲۰۰۸. Flood intensification due to changes in land use. *Water Resource Management*, **۲۲**: ۱۰۵۱-۱۰٦۷.

Sauer, V.B., Thomas, W.O.J., Stricker, V.A., and Wilson, K.V. ۱۹۸۳. Flood Characteristics of Urban Watersheds in the United States. *U.S. Geological Survey Water Supply Paper*, Pp. ٦۳.

Schick, A.P. ۱۹۹۹. Hydrologic processes and geomorphic constraints on urbanization of alluvial fan slopes. *Geomorphology*, **۳۱(۳-٤)**: ۳۲۵-۳۳۵.

Sheng, J., and Wilson, J.P. ۲۰۰۹. Watershed urbanization and changing flood behavior across the Los Angeles metropolitan region. *Natural Hazards*, **٤۸**: ٤۱-۵۷.

Smith, J.A., Baeck, M.L., Morrison, J.E., Sturdevant-Rees, P., Turner-Gillespie, D.F. and Bates, P.D. ۲۰۰۲. The regional hydrology of extreme floods in an urbanizing drainage basin. *Journal of Hydrometeorology*, American Meteorological Society, **۳(۳)**: ۲٦۷-۲۸۲.

Suriya, S., and Mudgal, B.V. ۲۰۱۲. Impact of urbanization on flooding: the Thirusoolam sub watershed – a case study. *Journal of Hydrology*, **٤۱۲**: ۲۱۰-۲۱۹, DOI۱۰,۱۰۱٦/j.jhydrol.۲۰۱۱,۰۵,۰۰۸.

Zhang, J., and Smith, K.R. (۲۰۰۳) Indoor air pollution: a global health concern. *British Medical Bulletin*, ٦۷: ۲۰۹-۲۲۵.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.125]