



Research paper

(Received 21 Sep. 2025

Accepted 11 Dec. 2025)

## **Analysis of the impact of the quality of the urban environment on flood risk in District One of Tehran**

Fahimeh Madadi<sup>1</sup>, Romina Sayahnia<sup>2\*</sup>, Salma Ommi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Master of Environmental Planning, Department of Environmental Planning and Design, Institute of Environmental Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.*

<sup>2</sup>*Associate Professor, Department of Environmental Planning and Design, Institute of Environmental Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.*

<sup>3</sup>*Assistant Professor, Department of Environmental Planning and Design, Institute of Environmental Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.*

### **Abstract**

In recent decades, financial and life losses caused by flood risks have increased in cities, posing challenges for urban environmental planners. Identifying the effectiveness of different uses and indicators of the urban environment is a crucial factor in mitigating the consequences of this risk. To assess the risk after identifying the effective indicators for flood occurrence and the quality of the urban environment, a risk map of the first district of Tehran was created based on physical indicators, vulnerability, and exposure to risk, using ArcGIS 10.5 software. The layers of the factors affecting risk, including elevation, slope, distance from the river, vegetation, and road length, were prepared using a risk formula that combines risk components, elements at risk, and vulnerability to estimate risk. Subsequently, the paired relationships between the risk variables and the components of the urban environment were investigated using the factor analysis method through XLSTAT software. The results indicate that among the 10 regions of Region One, regions 2, 3, 5, 6, and 10 are at high risk, while regions 1, 4, and 8 are at low risk. The analyses for the first district of Tehran show a strong correlation between vegetation cover, slope, elevation, worn texture, and residential use with the risk of flooding, particularly in the 1st, 3rd, and 8th districts. The results of the risk assessment and factor analysis indicate a strong relationship between the factors of elevation, slope, vegetation, road length, and service centers in flood risk in areas 1, 3, and 8. This study demonstrates that priority measures to reduce the consequences of natural hazards should be determined based on the risk potential and environmental indicators of each district in Tehran.

**Keywords:** land use, environmental components, flood vulnerability, factor analysis.

---

\*Corresponding Author: Romina Sayahnia

Doi: 10.48306/juem.2025.547092.1101

Email: [r\\_sayahnia@sbu.ac.ir](mailto:r_sayahnia@sbu.ac.ir)

Phone: +982122431971-73



مقاله پژوهشی

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۳۰

## تحلیل تاثیر کیفیت محیط زیست شهری بر خطرپذیری سیل در منطقه یک شهر تهران

فهیمة مددی<sup>۱</sup>، رومینا سیاح نیا<sup>۲\*</sup>، سلما امی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد برنامه ریزی محیط زیست، گروه برنامه ریزی و طراحی محیط، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران.  
<sup>۲</sup> دانشیار گروه برنامه ریزی و طراحی محیط، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران.  
<sup>۳</sup> استادیار گروه برنامه ریزی و طراحی محیط، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران.

### چکیده

در دهه های اخیر خسارت های مالی و جانی ناشی از مخاطره سیل در شهرها افزایش یافته است که نوعی چالش برای برنامه ریزان محیط زیست شهری محسوب می شود. شناسایی اثر بخشی کاربری های مختلف و شاخص های محیط شهری، عامل موثری در کاهش پیامدهای ناشی از این مخاطره است. از اینرو تخمین خطرپذیری پس از شناسایی شاخص های موثر در بروز سیل و کیفیت محیط زیست شهری، نقشه ی خطرپذیری نواحی منطقه یک تهران بر اساس شاخص های فیزیکی و آسیب پذیری و در معرض خطرپذیری قرار گرفتن با استفاده از نرم افزار (Arcgis10.5) برآورد شد. لایه های مولفه های موثر در خطرپذیری شامل ارتفاع، شیب، فاصله از رود، پوشش گیاهی و طول راه ها تهیه شده و با استفاده از فرمول خطرپذیری که تلفیق مولفه های خطر، عناصر در معرض خطر و آسیب پذیری است، سپس ارتباط زوجی بین متغیرهای خطرپذیری و مولفه های محیط شهری با بهره گیری از روش تحلیل عاملی از طریق نرم افزار (XLSTAT) مورد بررسی قرار گرفت. این شیوه به طراحی راهکارهای متناسب با پتانسیل موجود در هر ناحیه و سطح خطرپذیری کمک می کند. نتیجه نشان می دهد در بین نواحی ۱۰ گانه منطقه ی یک، نواحی ۲، ۳، ۶، ۵ و ۱۰ خطرپذیری بالا و ناحیه ۱، ۸ و ۴ از خطرپذیری پایین برخوردار می باشند. تحلیل ها برای منطقه ۱ تهران میزان همبستگی قوی پوشش گیاهی، شیب، ارتفاع، بافت فرسوده و کاربری مسکونی را با خطرپذیری سیل به ویژه در نواحی ۱ و ۳ و ۸ نشان می دهد. نتایج برآورد ریسک و تحلیل عاملی حاکی از ارتباط قوی عوامل ارتفاع، شیب، پوشش گیاهی، طول راهها و همچنین مراکز خدماتی در خطرپذیری سیل در ناحیه ۱ و ۳ و ۸ است. نتایج این مطالعه نشان می دهد که اقدامات الویت دار جهت کاهش پیامدهای ناشی از مخاطرات طبیعی لازم است براساس پتانسیل خطرپذیری و شاخص های محیطی هر ناحیه از مناطق تهران تعیین گردد.

**واژگان کلیدی:** کاربری اراضی، مولفه های محیطی، خطرپذیری سیل، تحلیل عاملی.

## ۱- مقدمه

افزایش شهرنشینی، گسترش شهرها و فضاهای شهری اگرچه سبب ایجاد تسهیلات زیادی می‌شود درعین حال عامل تشدید کننده بحران نیز می‌باشد و در صورت عدم مدیریت و برنامه ریزی درست می‌تواند تبدیل به تهدید شود [۱]. از آنجا که جمعیت ساکن در شهرها از ۳۰٪ در سال ۱۹۵۰ میلادی به ۵۵٪ در سال ۲۰۲۰ افزایش یافته است و پیش‌بینی می‌شود این مقدار تا سال ۲۰۵۰ به ۶۸٪ افزایش یابد [۲] انتظار می‌رود وقوع مخاطرات طبیعی موجب خسارات و پیامدهای مختلفی در جنبه‌های مختلف زندگی بشر گردد. این اثرات در زمینه‌ی برخی مخاطرات که دوره بازگشت کوتاه‌تری دارند مانند سیلاب‌های شهری گسترده‌تر است. سیل خسارات زیادی به منازل و مشاغل انسان وارد و بسیاری از مردم را بی‌خانمان کرده، به سیستم حمل و نقل نیز به شدت آسیب می‌زند و جاده‌ها و پل‌ها از بین می‌رود. آسیب جانی ناشی از سیل تنها به زمان وقوع آن محدود نمی‌گردد، بلکه پس از وقوع از طریق آلودگی آب و گسترش بیماری‌ها سلامت انسان‌ها را تهدید می‌کند [۳]. از اینرو طراحی استراتژی‌ها متناسب با سطح خطرپذیری و عناصر آسیب‌پذیری هر منطقه جهت کاهش اثرات این مخاطره از اهمیت ویژه برخوردار است.

طبق گزارشات سازمان جهانی هواشناسی<sup>۱</sup> سیل به عنوان یک رویداد طبیعی در اثر عوامل مختلفی که مهم‌ترین آنها عبارتند از: عوامل اقلیمی، عوامل هیدرولوژیکی و عوامل انسانی رخ می‌دهد [۴]. تخمین سطح خطرپذیری نخستین ابزار شناخت نقاط پرخطر است که از طریق برآوردها بر اساس شاخص‌های خطر سیل ممکن می‌گردد. شاخص‌های خطر سیل برای ارزیابی خطرپذیری در یک منطقه خاص ممکن است شامل طیف وسیعی از عوامل از جمله حوادث سیل گذشته، بارندگی شدید، فراوانی و شدت طوفان‌ها، ظرفیت سیستم‌های زهکشی محلی و ماهیت زمین باشد [۵]. پهنه بندی خطرپذیری سیل در واقع ابزار اصلی برای مدیریت و کاهش اثر مخاطره سیل است و وسیله‌ای قانونی در دست دولت و مسئولان برای کنترل و مدیریت کاربری‌های اراضی و برنامه‌های توسعه در راستای کاهش اثر مخاطره سیل و حفاظت از محیط زیست است [۶، ۷]. با این هدف مطالعات بسیاری جهت تدوین نقشه خطرپذیری در شهرهای بزرگ جهان انجام شده است. در مطالعه‌ی خطرپذیری سیل شهر لائوآن<sup>۲</sup> نقشه خطرپذیری سیل برای توسعه شهری بررسی شده و هماهنگی بین اهداف اقتصادی و اهداف حفاظت از محیط زیست در کاهش پیامدهای سیل مورد توجه قرار گرفته است و عامل شهرنشینی و روند گسترش شهری به عنوان عوامل موثر افزایش خطرپذیری معرفی شده است [۳]. در پژوهشی دیگر نقشه‌ی آسیب‌پذیری سیل ناگهانی برای استان عقبه اردن برآورد و چگونگی تاب‌آوری برای آماده‌سازی بهتر ساکنان ارائه شده است [۸].

ارزیابی خطر سیل شامل شناسایی مناطق آسیب‌پذیر، ارزیابی احتمال و شدت سیل، و تعیین تأثیر بالقوه بر مردم و اموال است [۹]. در مناطق شهری که اغلب فضای محدودی برای ذخیره و زهکشی آب وجود دارد، شاخص‌هایی مانند شدت بارندگی و میزان جریان رودخانه، فواصل تا رودخانه، نوع کاربری اراضی می‌توانند در ارزیابی خطرات سیل اهمیت ویژه‌ای داشته باشند [۱۰، ۱۱]. نوع کاربری اراضی در مناطق شهری از عوامل مهم تأثیرگذار بر خطر سیل است [۱۲، ۱۳] به عنوان مثال مناطقی با تمرکز بالای فعالیت‌های صنعتی یا تجاری ممکن است بیشتر در معرض آلودگی و نشت سمی باشند که می‌تواند آبراهه‌ها را آلوده و اثرات سیل را تشدید کند. به طور مشابه، مناطقی با تراکم بالای توسعه مسکونی ممکن است به دلیل وجود فضاهای زندگی با درجه پایین، بیشتر در معرض سیل زیرزمین باشند [۱۴]. همچنین عواملی مانند جمعیت همبستگی قوی با میزان آسیب‌پذیری در فاکتور خطرپذیری سیل دارد. این شاخص‌ها می‌توانند به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر کمک کند [۱۵، ۱۶]. کاواگوچی<sup>۳</sup> و همکاران [۱۷] پیشنهاد کردند برای تعیین میزان همبستگی برهمکنش مولفه‌های موثر بر آسیب‌پذیری ناشی از سیل از تحلیل عاملی بهره گرفته شود تا ارتباط عوامل روشن گردد و براساس آن نوع اقدام جهت کاهش و سازگاری پیامد ناشی از سیل در شهرها روشن گردد.

نخستین گام برای طراحی استراتژی‌ها تخمین خطر سیل در یک منطقه و شناسایی میزان همبستگی عوامل فزاینده‌ی پیامدهای آن است. بر این اساس در این مطالعه ابتدا با مروری بر پژوهش‌های انجام شده شاخص‌های خطرپذیری سیل شناسایی شدند (جدول ۱).

<sup>1</sup> Meteorological Organization (WMO)

<sup>2</sup> Lao Cai

<sup>3</sup> Kawaguchi

جدول ۱: شاخص های موثر بر خطرپذیری سیل

منبع	سنجه	معیار
<b>معیارهای ساختاری - طبیعی</b>		
[۹، ۲۶-۱۸]	گسل	مخاطرات طبیعی
	مسیل - رود دره ها	
	فضای سبز	پوشش گیاهی
	درصد شیب	فیزیوگرافی زمین
	ارتفاع	
	جهت	
	متوسط اندازه لکه ها	ترکیب و توزیع فضایی - زمانی عناصر ساختاری سیمای سرزمین
	تعداد لکه ها	
	شاخص میانگین شکل	
	نسبت مساحت لکه ها	
<b>معیارهای ساختاری - کالبدی</b>		
[۵، ۹، ۱۸، ۱۹، ۲۱، ۲۲، ۳۴-۲۷]	قدمت بنا	وضعیت ابنیه
	سطح اشغال	
	دانه بندی	
	تعداد طبقات	
	بافت	
	درجه محصوریت معابر	
	عرض معابر	
	پارک ها	فضاهای باز و سبز
	میادین	
	زمین های بایر	
	فضاهای ورزشی	
	باغات	کاربری های امدادی - خدماتی
	آتش نشانی	
	مراکز انتظامی	
	درمانی	کاربری های پرخطر
	اسکان موقت	
	پمپ بنزین	
	پست برق	
	پمپ گاز	راه های دسترسی
	مراکز صنعتی	
	دسترسی به شبکه معابر	
	درصد مساحت شبکه دسترسی	کیفیت مراکز مسکونی
سرانه شبکه دسترسی		
سرانه مراکز مسکونی		
تراکم خانوار در واحد مسکونی		
تراکم نفر در اتاق		

معیارهای اجتماعی - فرهنگی	
[۲۱-۱۹, ۲۹, ۳۷-۳۴]	جمعیت
	ورزشی
	آموزشی
	فرهنگی
	بهداشتی - درمانی
	اداری - انتظامی
	گردشگری
معیارهای اقتصادی	
[۲۰-۱۸, ۴۱-۳۸]	کاربری های تجاری
	مالکیت
	بیمه
	بیکاری
	اشتغال
	جمعیت فعال اقتصادی

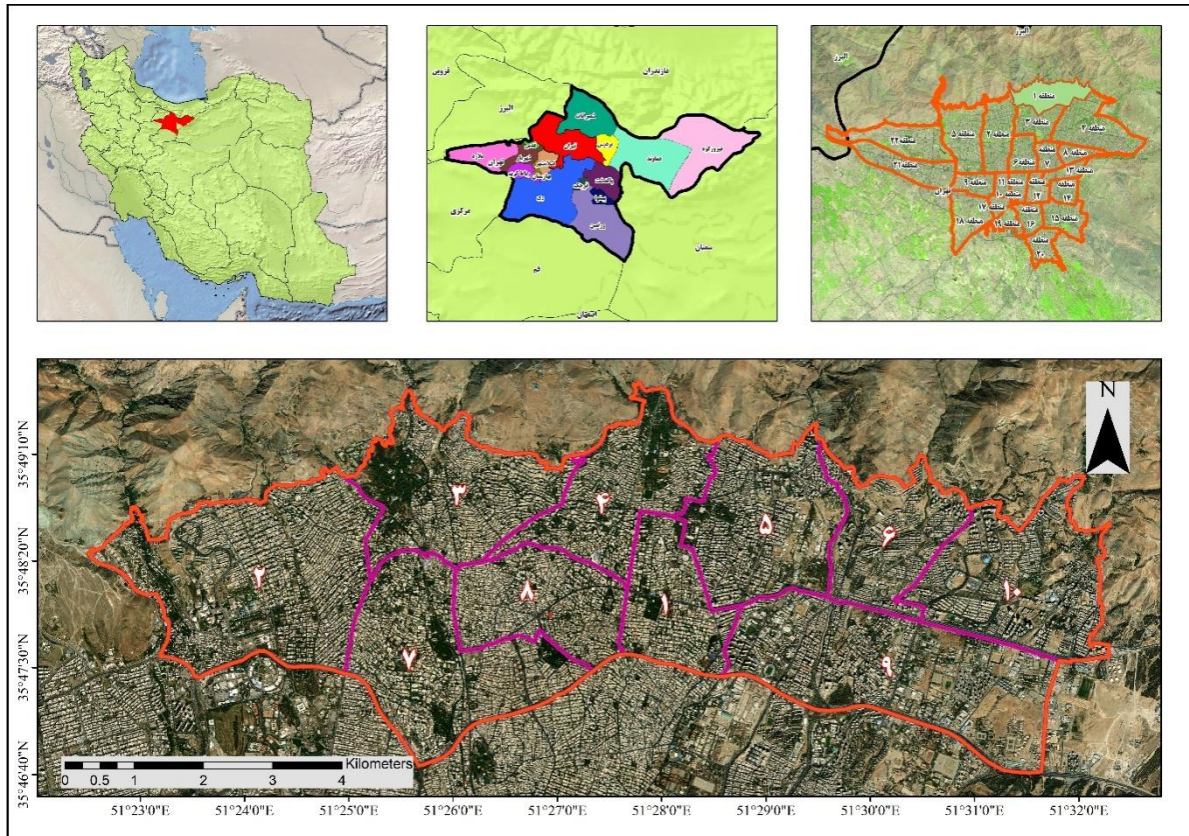
تهران به عنوان پایتخت ایران با جمعیت بالغ بر ۸/۵ میلیون نفر در معرض مخاطره سیل قرار دارد [۲۱]. باتوسعه‌ی شهرنشینی و تراکم بالای ساختمانی در شهر تهران، خطرپذیری خسارت مالی و تلفات جانی توسط سیل به طور چشم گیری بالا رفته است [۱۹]. در ارتفاعات شمال تهران ساخت و ساز و تغییر کاربری و وارد شدن به حریم رودخانه‌ها و بهره برداری نادرست از مسیل‌ها، آن را بیش از پیش در معرض خطرپذیری ناپایداری و سیل قرار داده است [۲۰].

طبق قانون پیشگیری و مبارزه با خطرات سیل که در سال ۱۳۴۸ تصویب شد که شامل ۸ ماده و ۲ تبصره می‌باشد، ضرورت دارد در جهت پیشگیری از اثرات مخاطره سیل، برنامه ریزی و مدیریت صورت بگیرد. در برنامه توسعه هفتم در ماده ۳۸ به مدیریت یکپارچه منابع آب و تبصره در موارد پیشگیری سیلاب‌ها اشاره شده است. مطالعه‌ی اثرات مخاطره سیل بر عناصر محیط شهری در روشن شدن روابط پنهان عوامل در افزایش یا کاهش خطرپذیری مخاطرات گامی موثر است. از اینرو در این مطالعه در گام نخست نقشه‌ی خطر سیل برای منطقه‌ی یک تهران برآورد می‌شود و تلاش می‌شود با انجام تحلیل عاملی روابط بین مولفه‌های موثر بر خطرپذیری بررسی گردد تا ضمن روشن شدن روابط مولفه‌های خطرپذیری با یکدیگر میزان همبستگی آنها بر خطرپذیری نیز مشخص گردد. این دستاورد مقدمات برنامه‌ریزی را جهت کاهش پیامدها فراهم و الویت‌ها را در برنامه‌ریزی شهری تعیین می‌کند. با توجه به موقعیت کلانشهر تهران به عنوان پایتخت و تراکم جمعیت ساکن در این شهر و احتمال وقوع سیل در برخی مناطق، تحلیل خطرپذیری سیل و مطالعه‌ی روابط عوامل محیطی با آن به تفکیک نواحی در منطقه یک تهران از اهداف این پژوهش است.

## ۲- داده‌ها و روش‌ها

### ۲-۱- محدوده‌ی مورد مطالعه

منطقه یک تهران از لحاظ موقعیت جغرافیایی در شمال و شمال شرق تهران واقع شده است. این منطقه از تهران از سمت شمال به دامنه‌های جنوبی رشته کوه‌های البرز، از غرب به درکه و از شرق به پارک جنگلی قوچک و از سمت جنوب به بزرگراه چمران منتهی می‌شود. وسعت منطقه یک تهران ۴۹,۹ کیلومتر مربع و حریم ۱۳۱,۱ کیلومتر مربع می‌باشد. این منطقه دارای ۱۰ ناحیه و ۲۶ محله می‌باشد (شکل ۱). طول رودخانه ۱۱,۵۶ کیلومتر و طول کانال ۳۴,۴۰ کیلومتر است. جمعیت منطقه براساس سالنامه آماری سال ۱۴۰۰ حدود ۴۸۵۹۸۹ هزار نفر برآورد می‌شود.



شکل ۱: نواحی ده‌گانه منطقه ۱ تهران

## ۲-۲- روش انجام پژوهش

در این مطالعه با توجه به تعریف خطرپذیری (فرمول ۱) که حاصل ضرب آسیب‌پذیری، عناصر در معرض خطرپذیری قرار گرفتن و همچنین مخاطره است و با توجه به مطالعات انجام شده متغیرهای مربوط به هر یک از این عناصر شامل ارتفاع، شیب، فاصله از رود، پوشش گیاهی، طول راه‌ها برای نواحی ده‌گانه منطقه یک جهت برآورد خطرپذیری بکار گرفته شد.

$$Risk = P_{(Hazard)} \times V \times A \quad (1)$$

$P_{(Hazard)}$  احتمال زمانی (مثلاً سالیانه) وقوع سناریوی مخاطره مشخص در یک منطقه است؛  
 $V$  آسیب‌پذیری فیزیکی است به‌ویژه میزانی از آسیب خاص عنصر در معرض ریسک که با توجه به شدت محلی ناشی از وقوع سناریوی مخاطره ( $Hazard$ ) مشخص شده است؛

$A$  ارزیابی کمی نوع خاصی از عنصر در معرض ریسک است (مثلاً تعداد ساختمان‌ها، جمعیت و ...).

لایه‌های مولفه‌های موثر در خطرپذیری جهت تخمین خطرپذیری تهیه شده و براساس استفاده از فرمول خطرپذیری که تلفیق مولفه‌های خطر، عناصر در معرض خطر و آسیب‌پذیری است لایه‌های جغرافیایی مذکور با وزن یکسان ضرب شده و از همپوشانی این لایه‌ها نقشه خطرپذیری (شکل ۲) تدوین شد. در این مطالعه مولفه‌های موثر در خطرپذیری با وزن یکسان در محاسبات در نظر گرفته می‌شوند زیرا در تخمین ریسک سیل توصیه می‌شود که وزن‌دهی عوامل آسیب‌پذیری و خطر به‌طور متعادل انجام شود تا ارزیابی جامعی از ریسک فراهم گردد [۴۲-۴۵]. این رویکرد به‌ویژه در زمینه‌های چندمخاطره‌ای و تحت تأثیر تغییرات اقلیمی اهمیت دارد.

۱. **تعادل در مؤلفه‌ها:** ریسک سیل به‌عنوان تابعی از خطر، میزان مواجهه و آسیب‌پذیری تعریف می‌شود. وزن‌دهی برابر به این وابستگی‌ها توجه می‌کند و از نادیده گرفتن آسیب‌پذیری‌های اجتماعی جلوگیری می‌کند.

۲. **عدالت اجتماعی:** وزن‌دهی برابر نابرابری‌ها را در اثرات سیل کاهش می‌دهد و مسئولیت اجتماعی را در بین سازمان‌ها تقویت می‌کند. این رویکرد از تسلط مناطق پرجمعیت بر منابع جلوگیری می‌کند.

۳. **بهبود دقت پیش‌بینی:** وزن‌دهی متعادل دقت مدل‌ها را با کاهش عدم قطعیت افزایش می‌دهد و می‌تواند خطاها را در شبیه‌سازی سناریوها کاهش دهد.

۴. **تسهیل مدیریت تطبیقی:** این وزن‌دهی به حکمرانی تطبیقی کمک کرده و از شفافیت و مشارکت ذینفعان حمایت می‌کند. در نهایت، وزن‌دهی برابر به ارزیابی دقیق و عادلانه ریسک سیل کمک می‌کند و از حفاظت از محیط زیست و حکومت مشارکتی حمایت می‌نماید.

برای تعیین مناطق الویت‌دار با توجه به نقشه‌ی خطر، نواحی دارای خطر بالا استخراج شد و براساس نسبت مساحت پهنه با خطر بالا به کل مساحت ناحیه، نواحی پرخطر تعیین شدند. در گام بعدی سایر متغیرهای به تفکیک نواحی منطقه‌ی یک جمع آوری شد تا میزان همبستگی آن با خطرپذیری و رابطه آن بر یکدیگر براساس تحلیل عاملی مطالعه گردد تا راهکار متناسب با بار عاملی هر شاخص آسیب‌زا برای کاهش پیامدهای ناشی از سیل پیشنهاد گردد. این امر جهت برنامه‌ریزی در صورت بودجه برای هر ناحیه راهگشا است. سایر شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها در زمینه خطرپذیری سیل و کیفیت محیط زیست نیز جمع آوری شدند. شاخص‌های مخازن زباله و تعداد مخازن زباله به طور جداگانه از بخش خدمات شهری ناحیه مربوطه منطقه یک دریافت شد. مخازن زباله از دو جهت جمع‌آوری و مدیریت پسماند مانع از انتشار آلودگی‌ها در زمان سیل می‌شود که به عنوان ظرفیت‌های مقابله با پیامدهای سیل قلمداد می‌شود. این مخازن باعث می‌شود، هنگام وقوع سیل شهری، زباله‌ها پراکنده و با سیل جابه‌جا نشوند و همچنین مانع گرفتگی جوی‌های آب و دریچه‌های موجود در کف خیابان‌ها در پایین دست می‌شوند. تعداد بیشتر مخازن زباله می‌تواند به عنوان یک شاخص برای کیفیت بهتر زندگی شهری در نظر گرفته شود که مانع انتشار آلودگی به هنگام سیل است [۴۶-۴۸]؛ شواهد نشان می‌دهد که در مناطقی مانند دارآباد و درکه که گردشگران به طور مداوم حضور دارند، افزایش تعداد مخازن زباله منجر به کاهش ریختن زباله‌ها در جوی‌ها می‌شود. این امر در زمان بارش و سیل، از آلودگی آب و آب‌گرفتگی جلوگیری می‌کند. ایستگاه‌های آتش‌نشانی، بیمارستان، مراکز اسکان اضطراری، زیر ساخت‌ها (آب، گاز، فاضلاب...)، خدمات عمومی، پوشش گیاهی، بافت فرسوده، کارگاهی و صنعتی، تجاری، مسکونی، باغ و باغ مسکونی، اداری، جمعیت به عنوان مولفه‌های معرف کیفیت محیط زیست نیز جمع آوری شدند. به منظور مطالعه‌ی اثرات مولفه‌های کیفیت شهری بر خطرپذیری پس از تدوین نقشه خطرپذیری، سطح خطرپذیری به مانند پژوهشگران دیگر [۱۷]، از نقشه‌ی خطرپذیری سیل استخراج شد تا از طریق تحلیل عاملی روابط آن با مولفه‌های کیفیت محیط زیست شهری ارزیابی گردد. به دلیل دقت بالای تحلیل عاملی و توانایی این روش در تعیین عامل اول و مشخص کردن میزان همبستگی عوامل به تفکیکی مشاهدات (در هر ناحیه از منطقه یک) در نمودار بار عاملی، این روش برای این پژوهش برگزیده شد. هدف در تحلیل عاملی، تشخیص عامل‌های مشاهده‌ناپذیر برپایه مجموعه‌ای از متغیرهای مشاهده‌پذیر است. عامل، متغیر جدیدی است که از طریق ترکیب خطی نمره‌های اصلی متغیرهای مشاهده شده برآورد می‌شود تا با تعداد کمی از این عامل‌ها، بتوان به همه‌ی اطلاعاتی که توسط مجموعه‌ی بزرگتری از متغیرها به دست می‌آید و در نتیجه توصیف ویژگی‌های مشاهده را ساده می‌سازد، دست یافت. جدول بارهای عاملی (Factor Loadings) بیانگر میزان همبستگی یک متغیر توسط یک عامل است که می‌توانند در دامنه ۱- تا ۱+ قرار گیرند. بارهای نزدیک به ۱- یا ۱ نشان می‌دهند که عامل به شدت با متغیر همبستگی دارد یا به عبارتی متغیر توسط آن عامل بهتر توضیح داده می‌شود. مراحل انجام تحلیل عاملی بشرح ذیل می‌باشد:

۱- تشکیل ماتریسی از ضرایب همبستگی متغیرها.

۲- استخراج عامل‌ها از ماتریس ضریب همبستگی.

۳- چرخش عامل‌ها به منظور به حداکثر رساندن رابطه بین متغیرها و عامل‌ها.

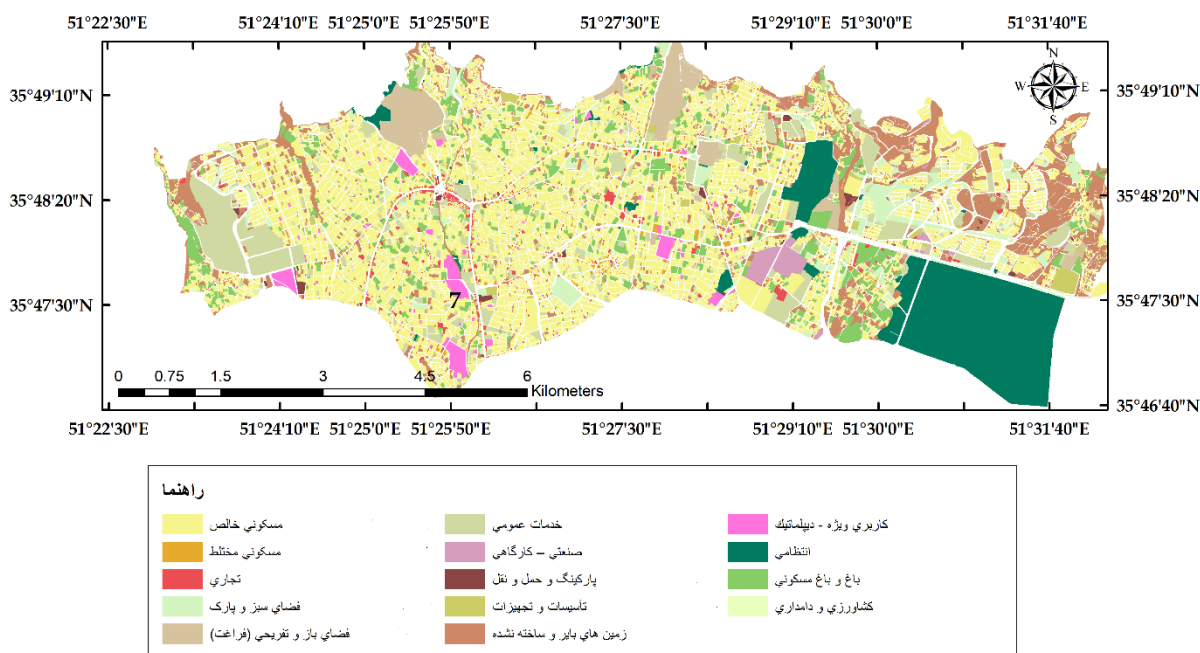
۴- محاسبه بار عاملی (نمره عامل‌ها) برای تعیین عامل‌های مورد نظر.

این شیوه در شناسایی عواملی که همبستگی بالا با سطح خطرپذیری دارند، جهت تبیین راهکارها و افزایش ظرفیت مقابله با سیل، راهگشا است. برای اجرای تحلیل عاملی نخست با توجه به شرط نرمال بودن داده‌ها برای انجام تحلیل عاملی از آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) و برای تشخیص نرمال بودن داده‌ها استفاده شد و سپس براساس روش تبدیل باکس-کاکس (Box-Cox) نرمال سازی داده‌ها برای داده‌های غیر نرمال انجام شد و سایر آزمون‌های نرمال بودن برای اطمینان بکار گرفته شد. شایان ذکر است که از نرم افزار (XLSTAT) جهت تحلیل‌ها بهره گرفته شد. جمع آوری اطلاعات از طریق روش اسنادی آمار و اطلاعات نقشه‌های جغرافیایی طرح جامع تفضیلی شهر تهران که در سال ۱۴۰۰ تهیه و استفاده شد. سایر اطلاعات کاربری‌ها و موقعیت

مولفه‌های موثر در مدیریت بحران و خدمات اورژانسی از شهرداری تهران منطقه یک دریافت شد. همچنین داده‌های جمعیت نواحی منطقه یک تهران براساس اطلاعات مرکز آمار ایران استخراج شده است.

### ۳- یافته‌های تحقیق

کاربری‌های شهری به عنوان یکی از ویژگی‌های معرف توزیع فضا جهت برنامه‌ریزی محیطی شهر برای کاهش اثر مخاطرات طبیعی موثر است. با این هدف جهت شناسایی وضعیت توزیع فضاهای شهر، نقشه کاربری‌های نواحی منطقه ۱ تهران به تفکیک پهنه فضای سبز، پهنه مسکونی، پهنه فعالیت (تجاری، خدماتی، اداری)، بافت فرسوده و راه استخراج شده است (شکل ۲). تحلیل‌های مکانی این پژوهش از داده‌های برداری و رستری استاندارد همراه با متادیتای مربوطه در سامانه مختصات WGS 84 / UTM Zone 39N استفاده شد. در این لایه‌ها مقدار ارتفاعی ذخیره نشده است و داده‌ها به صورت دوبعدی به کار رفته‌اند. با توجه به نوع منبع و روش تهیه، دقت افقی داده‌های برداری در محدوده‌ای بین ۵ تا ۱۰ متر قابل انتظار است، در حالی که دقت عمودی برای این لایه‌ها تعریف نشده است. برای داده‌های رستری مرتبط با توپوگرافی، از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) با دقت مکانی ۳۰ متر و دقت عمودی تقریبی  $\pm 15$  متر استفاده شد که با استاندارد محصولات SRTM همخوانی دارد. تمامی تحلیل‌های مکانی بر اساس واحد محاسباتی متر انجام شد و تبدیلات مختصاتی در محیط ArcGIS انجام گرفت. ارزش‌های سلولی لایه‌های رستری در تمامی تحلیل‌ها بر اساس رزولوشن ۳۰ متر پردازش شد.

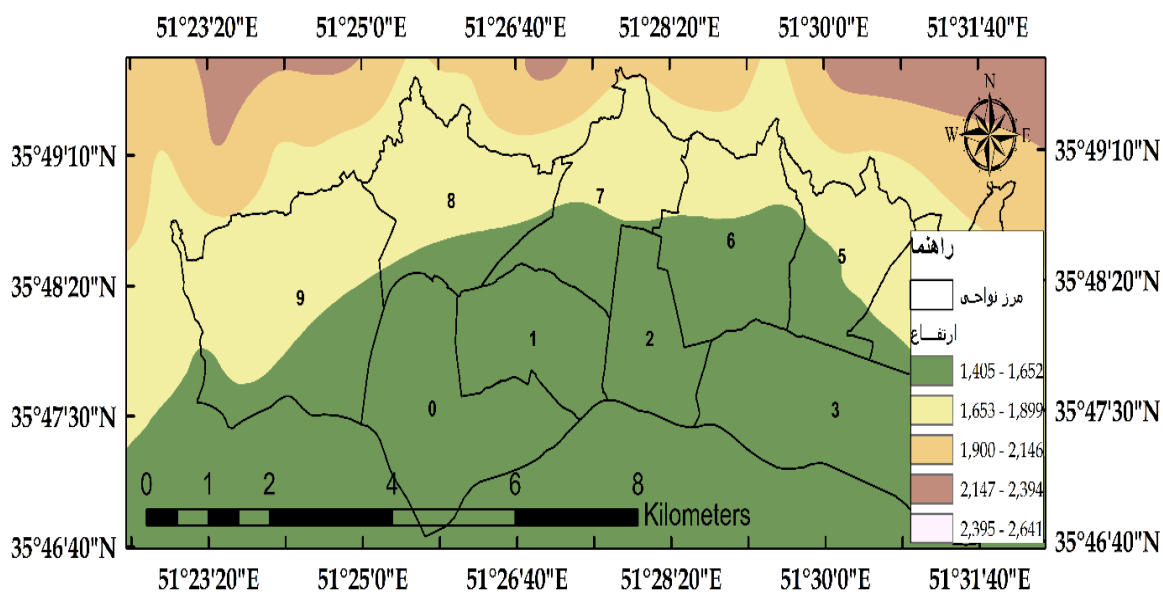


شکل ۲: کاربری‌های منطقه یک تهران

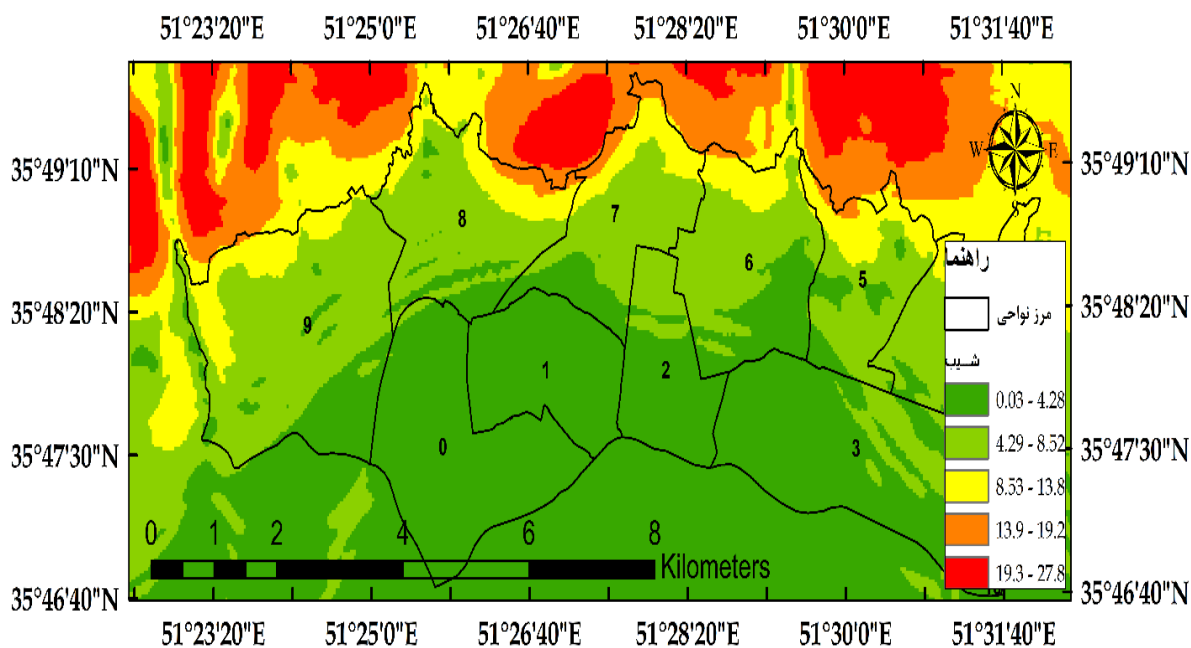
کاربری‌های مختلف در محیط شهری چنانچه درست جانمایی نشده باشند ایجاد خطر کرده و کیفیت محیط زیست را پایین می‌آورند. در منطقه یک تهران نیز به دلیل وجود رودها و کاربری‌های مختلف در محدوده رود و با تغییر کاربری کیفیت محیط زیست هم دچار تغییر شده و خطرپذیری سیل را بالا برده است. عواملی مانند بافت فرسوده و طول راه‌های کمتر از ۶ متر به عنوان مولفه‌ی آسیب‌پذیری در میزان خطرپذیری دخیل است [۲۹]. لازم به ذکر است طول تمامی راه‌های موجود در هر ناحیه محاسبه شد و سپس مساحت کل ناحیه بر طول راه تقسیم گردید. عدد به دست آمده نمایانگر طول راه‌های هر ناحیه است. در هنگام وقوع خطر سیل، این راه‌ها برای امداد رسانی و ارائه خدمات به افراد مورد استفاده قرار می‌گیرند. هرچه درصد مساحت شبکه راه‌های دسترسی بیشتر باشد، آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد [۲۱]. همچنین عامل مهم دیگر در افزایش خطرپذیری در قالب میزان خطر ارتفاع، شیب، پوشش گیاهی، و نزدیکی به چشمه خطر (رود) است [۲۱، ۱۸] که در این مطالعه در نظر گرفته شده است.

### ۳-۱- برآورد خطرپذیری سیل نواحی دهگانه منطقه یک تهران

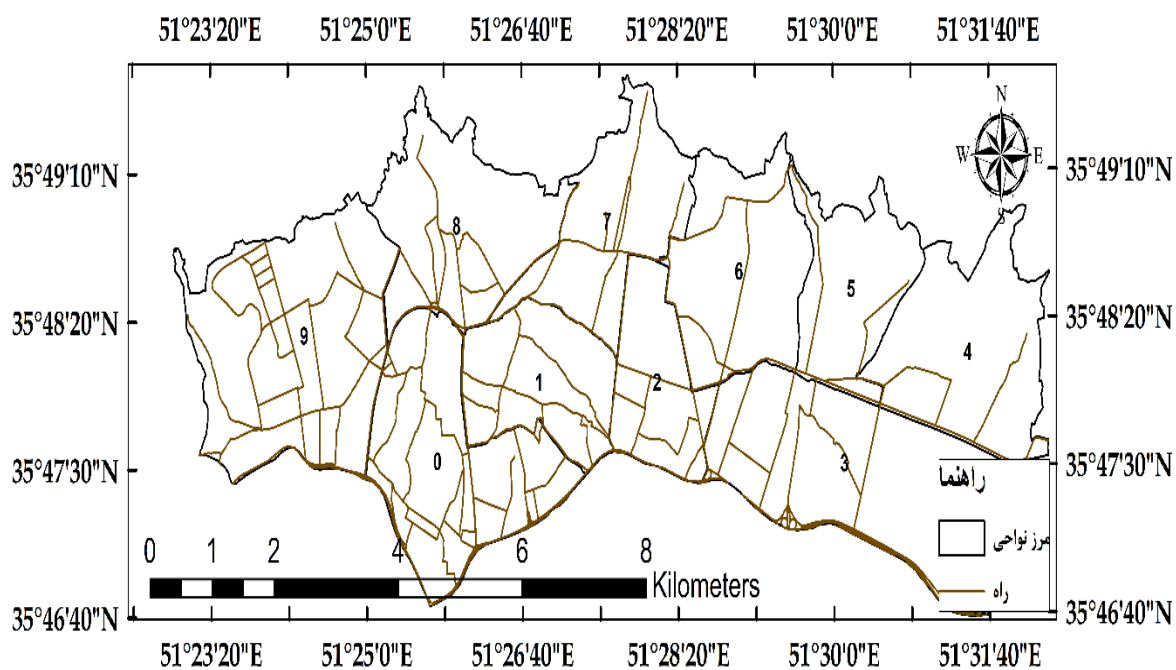
با توجه به تعریف خطرپذیری که متشکل از خطر، عناصر در معرض خطر و آسیب‌پذیری است، متغیرهای مربوط به هر یک از این عناصر برای نواحی ده‌گانه منطقه جهت برآورد خطرپذیری بکارگرفته شد. جمعیت، به عنوان گروه‌های در معرض خطر در نظر گرفته شده است. پس از تدوین لایه‌های ورودی شامل ارتفاع (شکل ۳)، شیب (شکل ۴)، طول راه (شکل ۵)، فاصله از رود (شکل ۶) و پوشش گیاهی (شکل ۷) برای نواحی منطقه یک شهر تهران پس از همپوشانی لایه‌ها با در نظر گرفتن وزن یکسان، نقشه خطرپذیری سیل منطقه‌ی یک تهران تدوین شد (شکل ۸). سپس، مساحت هر ناحیه محاسبه شد تا الویت نواحی پرخطر منطقه یک براساس نسبت مساحتی که در پهنه پرخطر اشغال می‌کند، تعیین گردد. لازم به ذکر است نقشه‌ها در شکل‌های ۳ تا ۷ براساس بانک اطلاعات لایه‌های جغرافیایی ۱۴۰۰ شهرداری تهران توسط نگارندگان تولید شده است. با توجه به نتایج (شکل ۸) بیشترین سطح خطرپذیری به ناحیه ۳ و کمترین به ناحیه ۱ اختصاص پیدا کرد. اطلاعات مربوط به آسیب‌پذیری و مخاطره با استفاده از روش توصیف شده در بخش ۲-۲ ترکیب شده و به‌منظور نمایش در نقشه‌ها از طیف رنگی کم و زیاد بهره‌گیری شده است. تعیین سطوح خطر (زیاد و کم) بر اساس میانگین توزیع داده‌ها انجام می‌شود به‌طوری که مقادیر بالاتر نشان‌دهنده خطر بیشتر هستند. برای ایجاد نقشه ریسک، از روش طبقه‌بندی کوانتایل (Quantile) استفاده شده است.



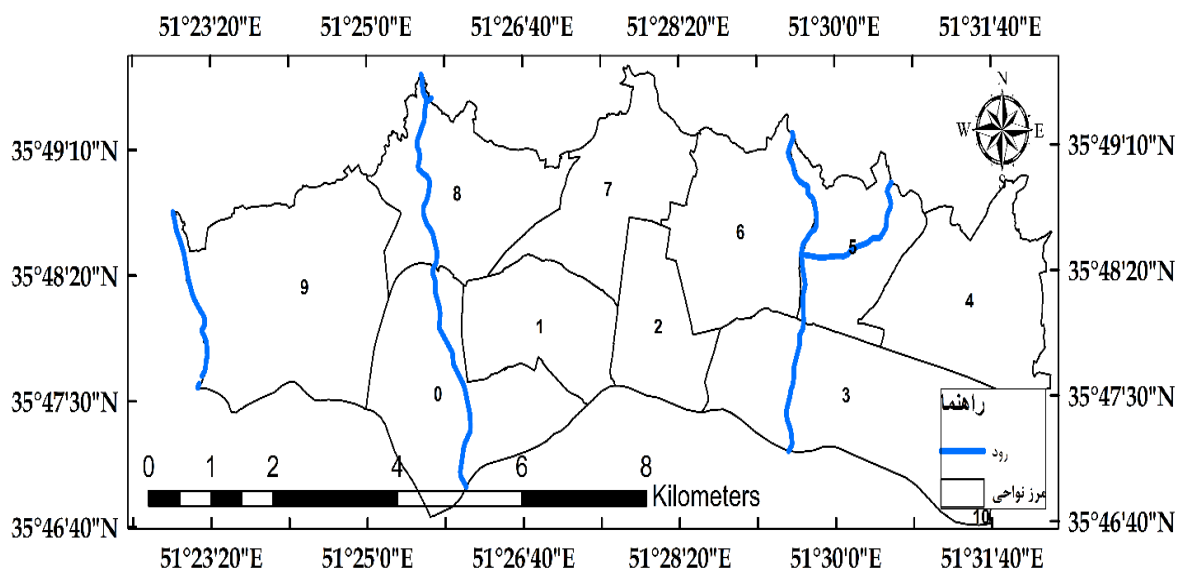
شکل ۳: طبقات ارتفاع منطقه یک تهران



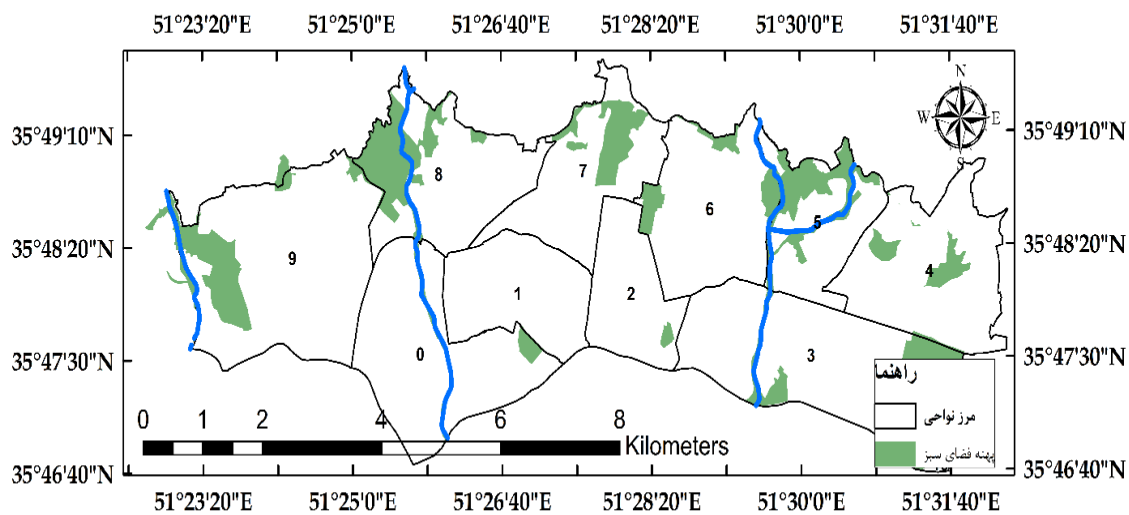
شکل ۴: طبقات شیب نواحی منطقه یک تهران



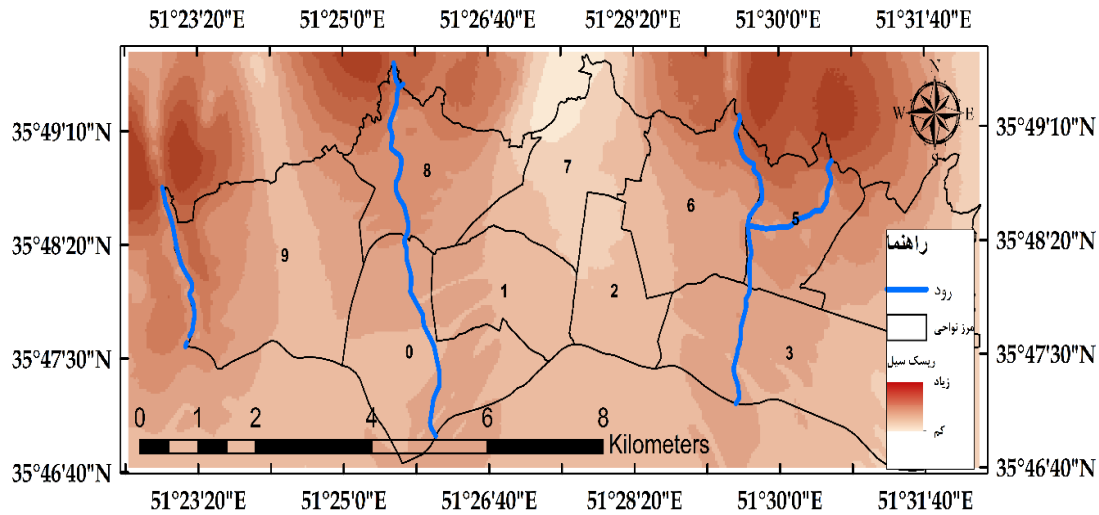
شکل ۵: موقعیت راه‌های منطقه یک تهران



شکل ۶: موقعیت رودهای منطقه یک تهران



شکل ۷: پراکنش پوشش گیاهی منطقه یک تهران



شکل ۸: نقشه خطرپذیری سیل منطقه یک تهران

جدول ۲ سطح ریسک هر ناحیه نشان می‌دهد، بالاترین مقدار سطح برای ناحیه ریسک بالا و کمترین سطح برای ناحیه با خطر پایین را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در جدول ۲ عدد حاصل مقدار ریسک که از فرمول ۱ برای هر ناحیه محاسبه شده است به مساحت ناحیه تقسیم شده است تا سطح ریسک هر ناحیه بدست آید.

جدول ۲: برآورد سطح خطرپذیری براساس نحوه توزیع عناصر تشکیل دهنده خطرپذیری برای نواحی منطقه یک تهران.

ناحیه	ارتفاع	فاصله رودخانه	پوشش گیاهی	طول راهها	جمعیت	سطح ریسک
۱	۱۵۲۸,۵ ۷	۲۲۹۹,۳۰۵۳	۵۳۵۹۵,۷	۱۱۱,۸۴	۳۵۹۴۲	۱
۲	۱۷۴۳,۰ ۳	۱۵,۸۷۵۰۳	۵۷۵۳۰۲۵	۱۶۸,۰۱	۸۱۷۲۰	۸
۳	۱۷۵۱	۴۹۵,۷۵۴۶	۵۷۲۸۴۰۰	۵۲۰,۴۳	۴۹۳۵۱	۱۰
۴	۱۷۷۹,۵ ۱	۳۳۴۸,۸۴۱۶	۵۴۵۹۶۰۰	۲۹۶,۴۷	۳۳۳۴۲	۳
۵	۱۶۷۳,۴ ۳	۱۰۹۱,۱۱۲۵	۶۵۶۱۱۰۴	۲۲۲,۳۳	۴۵۴۵۲	۷
۶	۱۶۸۸,۳ ۴	۶۲۵,۶۵۶۱	۶۵۰۵۶۷۸	۲۷۸,۹۲	۲۷۱۸۵	۹
۷	۱۵۴۲,۸ ۵	۵۴۱,۳۷۷۹	۵۶۵۴۳۳,۷	۱۱۱,۵	۵۶۷۸۳	۶
۸	۱۵۳۷,۵	۱۵۴۹,۲۱۳۳	۱۲۴۱۴۱	۱۷۰,۶۱	۵۹۴۲۹	۲
۹	۱۵۷۱,۴ ۲	۱۲۶۹,۲۶۷۱	۸۰۸۸۰۵۵	۱۹۸,۶۲	۴۱۷۷۰	۵
۱۰	۱۸۱۳,۳ ۳	۱۷۰۳,۹۶۱۱	۷۸۲۶۶۳۰	۴۲۱,۳۸	۵۵۰۱۵	۴

### ۳-۲- تحلیل عاملی شاخص‌های محیطی نواحی دهگانه منطقه یک تهران

برای کشف روابط متغیرها بر خطرپذیری در این پژوهش، تحلیل عاملی از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (Principal Component Analysis - PCA) استفاده شد. این روش به دلیل توانایی بالا در کاهش ابعاد و تبیین حداکثر واریانس داده‌های محیطی انتخاب گردید. جهت اطمینان از نرمال بودن متغیرها از آزمون‌های نرمالیتی بهره گرفته شد. با توجه به این مهم که آزمون نرمالیتی شاپیرو-ویلک برای نمونه‌های کوچک ( $n > 50$ ) مناسب‌تر است، برای تمامی متغیرها اجرا شد. نتایج نشان داد که ۹ متغیر از ۱۵ متغیر (۶۰٪) از توزیع نرمال برخوردار بودند ( $p < 0.05$ ). متغیرهایی که فرض نرمالیتی را رد کردند شامل: مساحت کاربری کارگاهی-صنعتی ( $W=0.712, p=0.003$ )، مساحت باغ و باغ مسکونی ( $W=0.768, p=0.008$ )، مساحت کاربری تجاری ( $W=0.801, p=0.018$ )، و جمعیت ( $W=0.694, p=0.001$ ) بودند.

برای متغیرهای غیرنرمال، پارامتر  $\lambda$  در روش باکس-کاکس بهینه‌سازی شد. مقادیر  $\lambda$  برای این متغیرها عبارت بودند از: کاربری کارگاهی  $\lambda=0.23$ ، باغ و باغ مسکونی  $\lambda=0.15$ ، کاربری تجاری  $\lambda=0.31$  و جمعیت  $\lambda=0.28$ . پس از تبدیل، آزمون شاپیرو-ویلک مجدداً اجرا شد و نتایج نشان داد که توزیع داده‌ها به سمت نرمالیتی بهبود یافته است ( $p < 0.05$ ) برای تمامی متغیرهای تبدیل‌شده. نتایج آزمون نرمالیتی در جدول پیوست ۱ گزارش شده است.

با توجه به محدودیت حجم نمونه و احتیاط در تفسیر نتایج، علاوه بر ضرایب همبستگی پیرسون، ضرایب همبستگی اسپیرمن (Spearman) نیز محاسبه شد. مقایسه ضرایب پیرسون و اسپیرمن در جدول پیوست ۲ گزارش شده است. مقایسه دو روش نشان داد که الگوی همبستگی‌ها تقریباً یکسان است (همبستگی میانگین بین دو ماتریس:  $p=0.94$ ) که نشان‌دهنده پایداری نتایج است. قبل از اجرای تحلیل عاملی، کفایت حجم نمونه و مناسب بودن داده‌ها برای این تحلیل مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمون کایزر-مایر-اولکین (Kaiser-Meyer-Olkin - KMO) برای سنجش کفایت نمونه‌گیری انجام شد. مقدار KMO برابر ۰,۵۸ به دست آمد که در محدوده قابل قبول (بالتر از ۰,۵) قرار دارد و نشان‌دهنده کفایت نسبی حجم نمونه برای انجام تحلیل عاملی است. هرچند این مقدار در سطح "متوسط" طبقه‌بندی می‌شود، اما برای مطالعات اکتشافی در سطح نواحی شهری قابل پذیرش است.

آزمون کرویت بارتلت (Bartlett's Test of Sphericity) برای بررسی معناداری ماتریس همبستگی انجام شد. نتایج نشان داد که آماره  $\chi^2$  برابر ۱۵۶,۳۴ با درجه آزادی ۱۰۵ و سطح معناداری  $p=0.002$  به دست آمد. این نتیجه نشان می‌دهد که ماتریس همبستگی متغیرها به‌طور معناداری از ماتریس همانی متفاوت است و انجام تحلیل عاملی مناسب می‌باشد. نتایج آزمون‌های کفایت نمونه و معناداری در جدول پیوست ۳ ضمیمه است.

برای تعیین تعداد بهینه عوامل قابل استخراج، از نمودار اسکری (Scree Plot) و معیار مقدار ویژه بزرگ‌تر از یک (Kaiser Criterion) استفاده شد. نمودار اسکری نشان داد که شیب نمودار پس از عامل چهارم به شدت کاهش می‌یابد و به سمت یک خط افقی میل می‌کند. این "نقطه آرنج" (elbow point) نشان‌دهنده آن است که عوامل پنجم به بعد سهم قابل توجهی در تبیین واریانس ندارند. بنابراین، چهار عامل اول برای تفسیر نتایج انتخاب شدند که در مجموع ۷۸,۳۹٪ از واریانس کل را تبیین می‌کنند. این میزان واریانس تبیین شده برای مطالعات خطرپذیری محیطی قابل قبول است و همسو با مطالعات مشابه می‌باشد.

پس از استخراج چهار عامل به روش مؤلفه‌های اصلی (Principal Component Analysis)، کمونالیت‌ها (Communalities) برای هر متغیر محاسبه شد. کمونالیت‌ها نشان‌دهنده میزان واریانس هر متغیر است که توسط عوامل استخراج شده تبیین می‌شود. مقادیر کمونالیت‌ها در جدول ۴ پیوست ارائه شده است. مقادیر کمونالیت‌ها بالاتر از ۰,۵ برای اکثر متغیرها نشان می‌دهد که عوامل استخراج شده توانایی مناسبی در تبیین واریانس متغیرها دارند. بالاترین کمونالیت‌ها مربوط به ارتفاع (۰,۹۳۵) و پایین‌ترین مربوط به کاربری مسکونی (۰,۵۵۲) است.

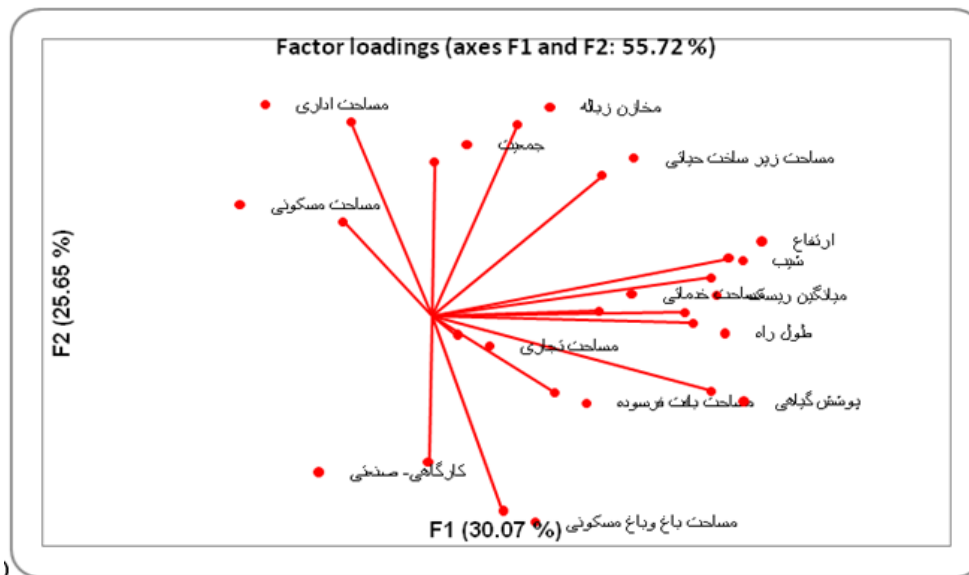
خطای استاندارد بارهای عاملی با استفاده از روش بوت‌استرپ (Bootstrap) با ۱۰۰۰ نمونه‌گیری مجدد برآورد شد. نتایج نشان داد که خطای استاندارد بارهای عاملی در محدوده ۰,۰۸ تا ۰,۱۸ قرار دارد که نشان‌دهنده پایداری نسبی بارهای عاملی برآورد شده است. بارهای عاملی بالاتر از ۰,۵ (که برای تفسیر استفاده شدند) همگی خطای استاندارد کمتر از ۰,۱۵ داشتند و در سطح ۰,۹۵ فاصله اطمینان آن‌ها شامل صفر نمی‌شد. مقادیر خطای استاندارد بارهای عاملی در جدول پیوست ۵ گزارش شده است. پس از استخراج

عوامل اولیه، از چرخش واریماکس (Varimax Rotation) برای به حداکثر رساندن بارهای عاملی و ساده‌سازی تفسیر عوامل استفاده شد. چرخش واریماکس به عنوان یک روش چرخش متعامد، برای متغیرهای محیطی که از یکدیگر مستقل هستند، مناسب‌تر است. نتایج مقادیر آماری و بارهای عاملی متغیرها در جدول ۳ گزارش شده است. بار عامل اول حاصل از میانگین خطرپذیری (۰,۷۷۷)، پوشش گیاهی (۰,۸۶۱)، مساحت کاربری خدماتی (۰,۵۱۵)، طول راه (۰,۸۰۴)، شیب (۰,۸۵۸)، و ارتفاع (۰,۹۱۷) حاصل شده است. مقدار متغیرها در عامل یک بیشترین اعتبار را با توجه به مقدار ویژه (۴,۵) دارند و این عامل ۳۰,۰۷ درصد واریانس کل را تبیین می‌کند. براساس مقادیر ضرایب همبستگی، متغیرهای میانگین خطرپذیری، پوشش گیاهی، مساحت کاربری خدماتی، طول راه، شیب، و ارتفاع ارتباط قوی را در تخمین عامل اول نشان دادند.

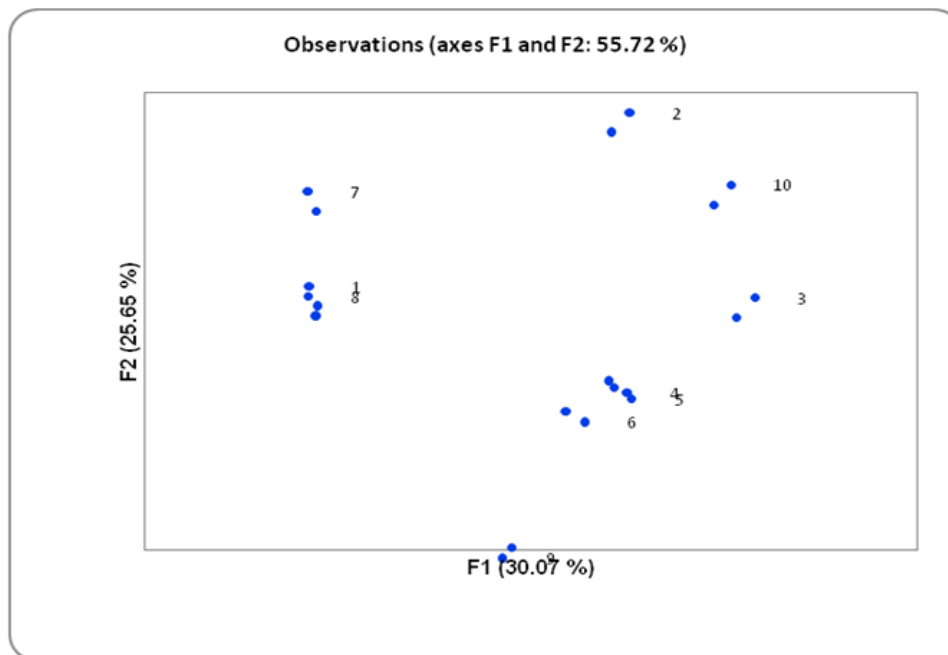
در عامل دوم، بار عامل مساحت کاربری کارگاهی و صنعتی که ۰/۶۶۳-، مساحت کاربری باغ و باغ مسکونی ۰/۸۵۰-، مساحت کاربری اداری ۰/۸۴۵، مساحت کاربری زیر ساخت حیاتی ۰/۶۱۱، جمعیت ۰/۶۶۹، مخازن زباله ۰/۸۳۳ حاصل شد. عامل یک و عامل دو بیشترین سهم را در تبیین واریانس دارد (به ترتیب ۳۰,۰۷ و ۲۵,۶۵ درصد). مقدار ویژه بالای ۲ برای عامل اول و مقادیر بالاتر از یک برای عامل دوم تا چهارم حاصل شده است. در عامل سوم مساحت کاربری مسکونی که ۰/۴۱۷-، مساحت کاربری تجاری ۰/۸۴۲- با میانگین خطرپذیری رابطه معکوس را نشان می‌دهد. در عامل چهارم مساحت کاربری بافت فرسوده مقدار ۰/۶۹۱- را نشان می‌دهد. در تحلیل عاملی، بارهای منفی به معنای ارتباط معکوس بین متغیر و عامل است.

جدول ۳: شاخص‌های آماری نهایی متغیرهای کیفیت محیط زیست شهری و خطرپذیری سیل

متغیرها	F1	F2	F3	F4
میانگین خطرپذیری	۰/۷۷۷	۰/۰۱۷	-۰/۰۵۳	-۰/۴۹۸
کاربری بافت فرسوده	۰/۳۷۵	-۰/۳۳۲	-۰/۱۶۹	-۰/۶۹۱
کاربری کارگاهی - صنعتی	-۰/۰۰۹	-۰/۶۳۳	-۰/۲۸۸	۰/۰۵۶
کاربری پوشش گیاهی	۰/۸۶۱	-۰/۳۲۶	-۰/۰۳۸	۰/۰۴۶
کاربری مسکونی	-۰/۲۷۵	۰/۴۱۰	-۰/۴۱۷	-۰/۴۱۵
کاربری باغ و باغ مسکونی	۰/۲۱۹	-۰/۸۵۰	-۰/۲۸۴	۰/۰۵۸
کاربری زیر ساخت حیاتی	۰/۵۲۳	۰/۶۱۱	۰/۴۵۲	-۰/۰۸۲
کاربری خدماتی	۰/۵۱۵	۰/۰۲۲	-۰/۳۹۹	۰/۰۳۷
کاربری تجاری	۰/۰۷۸	-۰/۰۸۵	-۰/۸۴۲	۰/۴۹۴
کاربری اداری (مترمربع)	-۰/۲۵۲	۰/۸۴۵	۰/۰۲۵	۰/۲۷۵
طول راه (متر)	۰/۸۰۴	-۰/۰۲۹	۰/۱۷۸	۰/۰۵۹
شیب (درجه)	۰/۸۵۸	۰/۱۶۸	۰/۰۳۵	۰/۳۴۸
ارتفاع (متر)	۰/۹۱۷	۰/۲۵۱	۰/۰۷۰	۰/۲۳۲
جمعیت	۰/۰۰۷	۰/۶۶۹	-۰/۵۳۰	-۰/۲۰۲
مخازن زباله (تعداد)	۰/۲۶۳	۰/۸۳۳	-۰/۴۱۶	-۰/۰۸۴
مقدار ویژه	۴/۵۱۰	۳/۸۴۷	۱/۹۴۰	۱/۴۶۱
واریانس تبیین شده (%)	۳۰/۰۷	۲۵/۶۵	۱۲/۹۳۱	۹/۷۴۲
درصد تراکم واریانس تبیین شده (%)	۳۰/۰۷	۵۵/۷۱۵	۶۸/۶۴۶	۷۸/۳۸۸



(الف)



(ب)

شکل ۹: (الف) نمودار امتیاز (ب) نمودار امتیاز (Score Plot) در تحلیل عاملی متغیرهای کیفیت محیط زیست شهری و خطرپذیری سیل

نمودار (۹-الف) رابطه‌ی بین متغیر و عامل‌ها را نشان می‌دهد در این نمودار برای عامل یک، بیشترین بار عاملی برای ارتفاع سپس پوشش گیاهی و شیب و طول راه و میانگین خطرپذیری و مساحت کاربری خدماتی حاصل شده است. در عامل دوم بیشترین بار عاملی برای مخازن زباله، مساحت کاربری اداری و جمعیت و زیر ساخت حیاتی و مساحت کاربری کارگاهی و صنعتی و مساحت کاربری باغ و باغ مسکونی حاصل شده است (جدول ۳). در این عامل مخازن زباله و مساحت کاربری اداری و جمعیت و زیر ساخت حیاتی همبستگی بالا و رابطه مثبت و مستقیم نشان می‌دهند. این ارتباط قوی براساس ضرایب همبستگی پیرسون برآورد شده، تایید می‌شود (جدول ۳ و جدول ۱ پیوست). کاربری کارگاهی و صنعتی ارتباط معکوسی با جمعیت نشان می‌دهد. عامل ۳، مساحت کاربری مسکونی را با بار عاملی بیشتری نسبت به مساحت کاربری تجاری نشان می‌دهد و رابطه معکوسی دارد. با توجه به نمودار Score Plot خطرپذیری سیل و سایر متغیرهای شهری (شکل ۹-ب) سهم ناحیه ۱ با بار عاملی ۱/۳۸۲- و ناحیه ۷ با بار عاملی ۱/۳۸۹- و ناحیه ۸

با بارعاملی ۱/۳۸۷- در عامل اول حاصل شده است. در ناحیه ۷،۱ و ۸ به ترتیب ارتفاع و پوشش گیاهی و شیب و طول راهها و مساحت کاربری خدماتی بیشترین اثر را بر خطرپذیری سیل نشان داده است. در عامل دوم ناحیه ۲ با بارعاملی ۱/۶۵۱ و ناحیه ۹ با بارعاملی ۱/۹۷۱- آشکار شدند. ناحیه ۲ و ۹ دارای بیشترین مقدار کاربری اداری و زیر ساخت حیاتی، باغ، باغ مسکونی، کارگاهی و صنعتی و مخازن زباله و همچنین بیشترین جمعیت است. در عامل سوم ناحیه ۶ با بارعاملی ۱/۸۴۱ نمایان شده است، بیشترین کاربری ناحیه ۶ مسکونی و تجاری است. بیشترین سهم در برآورد عامل ۴، مشاهدات ناحیه ۴ با بارعاملی ۱/۶۱۹ و ناحیه ۵ با بارعاملی ۱/۳۳۱- و ناحیه ۱۰ با بارعاملی ۱/۳۳۵ است که دارای بیشترین بافت فرسوده در میان نواحی منطقه یک شهر تهران است. در شکل (۹- الف) میانگین خطرپذیری با جمعیت و مخازن زباله و مساحت خدماتی، ارتفاع، شیب، پوشش گیاهی و مساحت زیر ساخت حیاتی همبستگی بالایی داشته به طوری که این متغیرها در فاکتور اول خود را نشان داده‌اند. در پژوهشی دیگر [۲۱] این همبستگی قوی با خطرپذیری تایید شده است که با نتایج این پژوهش نیز مطابقت دارد. در فاکتور اول بارهای عاملی قوی، ظاهر شده‌اند که ارتباط متقابل این متغیرها در کیفیت محیط زیست و میزان بستگی‌شان را با یکدیگر منعکس می‌کنند طبق یافته‌ها در شکل (۹- الف) پوشش گیاهی به عنوان یک مولفه‌ی معرف کیفیت محیط زیست موثر نشان داده شده که افزایش آن، کاهش آسیب پذیری را در پی دارد. شیب و ارتفاع بر سطح خطرپذیری و کیفیت محیط زیست موثر نشان داده شده است. به طوری که در ارتفاع و شیب بالا در نواحی ۳، ۶ و ۱۰ بیشترین خطر مشاهده می‌شود که در مطالعات دیگر نیز تایید شده است [۴۹]. طول راهها نیز با میانگین خطرپذیری به واسطه‌ی اقدامات فاز پاسخگویی پس از بحران (امدادسانی و خدمت رسانی) ارتباط مستقیم دارد [۱۸]. همبستگی میانگین خطرپذیری با طول راه در شکل (۹- ب) مشخص شده است. جمعیت با مساحت کارگاهی و صنعتی رابطه‌ی معکوس را نشان می‌دهد. در فاکتور دوم ۲ منعکس شده است که مساحت کارگاهی و صنعتی و هم چنین مساحت باغ و باغ مسکونی دارای ارتباط معکوس هستند. چهار فاکتور دیگر مساحت زیر ساخت حیاتی و مساحت اداری و جمعیت و مخازن زباله بار عاملی بزرگ نشان دادند. رابطه جمعیت و مساحت باغ و باغ مسکونی معکوس است. ارتباط مخازن زباله با مساحت باغ و باغ مسکونی رابطه معکوس نشان داده است و همچنین بافت فرسوده در فاکتور ۴ روابط پنهان خود را با سایر متغیرها نشان داده است که موید ارتباط نزدیک با خطرپذیری است. با توجه به یافته‌ها ۳۰ درصد پراکندگی داده‌ها متعلق به عامل اول و ۲۵ درصد پراکندگی داده‌ها متعلق به عامل دوم است. مشاهدات نواحی ۱ و ۸ و ۳ که در تشکیل عامل اول و مشاهدات نواحی ۲ و ۹ در عامل دوم نقش موثرتری داشتند. پوشش گیاهی طول راه همبستگی بالایی و همچنین طول راه با مساحت خدماتی همبستگی بالایی نشان داده که در عامل اول نمایان شده است. نتایج نشان دادند بیشترین کاربری موثر بر خطرپذیری سیل، پوشش گیاهی است با توجه به ظهور عوامل کاربری مسکونی، تجاری، اداری با جمعیت در فاکتور دوم ارتباط این عوامل با جمعیت محرز است و رابطه کمتر با خطرپذیری سیل نتیجه‌گیری می‌شود. فاکتور دوم مبتنی بر مشاهدات در نواحی ۲ و ۶ و ۹ و به مقدار کمتر ۴ و ۵ است. ناحیه ۶ دارای بیشترین کاربری تجاری و مسکونی است و از نظر خطرپذیری در رتبه دوم بعد از ناحیه ۳ قرار می‌گیرد. ناحیه ۵ و ۴ رتبه خطر بالا را به دلیل بافت فرسوده نشان می‌دهد. از این رو کاهش سطح خطر در این منطقه در کاهش مساحت این متغیر در این نواحی منوط می‌گردد. مزیت تحلیل عاملی در مطالعه‌ی برهم کنش متغیرهای محیطی با خطرپذیری مخاطرات آن است که امکان طراحی راهکارها را به تفکیک مناطق و نواحی میسر می‌سازد.

### ۳-۳- نتایج تحلیل حساسیت نقشه خطرپذیری سیل

به منظور ارزیابی صحت نقشه خطرپذیری تهیه‌شده، از بانک اطلاعات سیلاب‌های تاریخی سازمان مدیریت بحران کشور استفاده شد. این بانک اطلاعات شامل ۹۵ رخداد سیل ثبت‌شده در بازه زمانی ۱۳۳۳-۱۳۷۴ در محدوده شهر تهران و حومه است که ۶۸ مورد آن مربوط به بخش مرکزی تهران می‌باشد. داده‌های سیل شامل مختصات جغرافیایی، تاریخ وقوع، نوع خسارت (تلفات انسانی، خسارات ساختمانی، خسارات کشاورزی) بود. انطباق این داده‌ها با لایه نواحی ده‌گانه همپوشانی نقاط رخداد سیل با نقشه خطرپذیری نشان داد که از ۶۸ رخداد سیل ثبت‌شده در تهران، ۴۵ مورد (۶۲٪)

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{تعداد رخدادهای درست پیش‌بینی شده}}{\text{رخدادهای کل}} = \frac{45}{68} = 66.2$$

در محدوده نواحی با سطح خطر "بالا" و "خیلی بالا" واقع شده‌اند. ناحیه ۳ که در مدل به عنوان پرخطرترین ناحیه شناسایی شد، بیشترین تطابق را با رخدادهای تاریخی سیل نشان داد. از ۶۸ رخداد ثبت‌شده، ۲۴ مورد (۳۵،۳٪) در این ناحیه یا مجاورت آن رخ داده

است. دهستان سیاهرود که در ناحیه ۳ واقع شده، به تنهایی ۱۸ رخدادهای سیل با خسارات جانی و مالی قابل توجه را تجربه کرده است. مختصات جغرافیایی غالب رخدادهای سیل (طول ۵۱،۲۴ درجه، عرض ۳۵،۴۱ درجه) با مرکز ناحیه ۳ همپوشانی دارد. این یافته‌ها اعتبار مدل خطرپذیری ارائه شده را تأیید می‌کند (جدول ۴). افزودن اطلاعات دهه اخیر سیل شهر تهران می‌تواند به بهبود اعتبارسنجی منجر شود.

جدول ۴- توزیع رخدادهای سیل در نواحی منطقه یک تهران

ناحیه	تعداد رخداد سیل	درصد	سطح خطر (مدل)	تطابق
ناحیه ۳	۲۴	۳۵،۳ %	خیلی بالا	✓
ناحیه ۲	۱۵	۲۲،۱ %	بالا	✓
ناحیه ۹	۱۲	۱۷،۶ %	بالا	✓
ناحیه ۶	۸	۱۱،۸ %	متوسط	-
سایر نواحی	۹	۱۳،۲ %	متوسط/پایین	✓

### ۳-۴- تحلیل رگرسیون خطی چند متغیره

این پژوهش با محدودیت در تفسیر نتایج تحلیل عاملی روبرو است. زیرا واحد تحلیل در این پژوهش، نواحی ده‌گانه منطقه یک تهران است که تعداد آن توسط تقسیمات اداری شهرداری به ۱۰ ناحیه محدود شده است این تعداد محدود مشاهدات ( $n=10$ ) در برابر تعداد متغیرها، از نسبت ایده‌آل ۵-۱۰ مشاهده به ازای هر متغیر در تحلیل عاملی کمتر است. به منظور تکمیل یافته‌های تحلیل عاملی و افزایش اعتبار نتایج، از رگرسیون خطی چندمتغیره به‌عنوان روش تأییدی استفاده شد. در این تحلیل، سطح خطرپذیری نهایی هر ناحیه (محاسبه شده از مدل AHP و ارائه شده در جدول ۲) به‌عنوان متغیر وابسته و متغیرهای محیطی-کالبدی به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. هدف از این تحلیل، تعیین سهم کمی هر یک از عوامل در تغییرات خطرپذیری و ارزیابی معناداری روابط بود. متغیرهای مستقل شامل: پوشش گیاهی (هکتار)، میانگین ارتفاع (متر)، میانگین شیب (درجه)، فاصله از رودخانه (متر)، جمعیت (نفر)، مساحت کاربری مسکونی (هکتار)، و مساحت بافت فرسوده (هکتار) بودند. مدل رگرسیون به‌صورت معادله (۲) تعریف شد:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \epsilon_i \quad (2)$$

که در آن  $Y_i$  سطح خطرپذیری ناحیه  $i$ ام،  $X_{1i}$  تا  $X_{ki}$  متغیرهای مستقل،  $\beta_0$  عرض از مبدأ،  $\beta_1$  تا  $\beta_k$  ضرایب رگرسیونی، و  $\epsilon_i$  خطای تصادفی است.

قبل از برآورد مدل، فرض‌های اساسی رگرسیون خطی مورد بررسی قرار گرفت. نرمال بودن باقیمانده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک (Shapiro-Wilk test) تأیید شد ( $W=0.94, p < 0.05$ ). استقلال خطاها با محاسبه آماره دوربین-واتسون (Durbin-Watson) بررسی شد که مقدار آن در محدوده قابل قبول (۱،۵ تا ۲،۵) قرار گرفت. برای شناسایی هم‌خطی چندگانه بین متغیرهای مستقل، از شاخص عامل تورم واریانس (Variance Inflation Factor - VIF) استفاده شد؛ تمامی مقادیر VIF کمتر از ۵ به دست آمد که نشان‌دهنده عدم وجود هم‌خطی مشکل‌ساز است. برای انتخاب متغیرهای معنادار و دستیابی به مدل بهینه، از روش گام‌به‌گام (Stepwise regression) با معیار ورود  $p > 0.1$  و خروج  $p < 0.15$  استفاده شد. این روش به‌طور خودکار متغیرهایی که سهم معناداری در تبیین واریانس متغیر وابسته ندارند را از مدل حذف می‌کند. تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد و سطح معناداری آماری  $0.05$  در نظر گرفته شد. برای ارزیابی کیفیت برازش مدل، از شاخص‌های ضریب تعیین تعدیل شده ( $R^2$  Adjusted)، و آماره F استفاده شد. همچنین، برای مقایسه توان پیش‌بینی دو روش، ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن (Spearman's rank correlation) بین رتبه‌بندی نواحی حاصل از مدل رگرسیون و روش AHP محاسبه شد. این رویکرد ترکیبی

(تحلیل عاملی اکتشافی به همراه رگرسیون تأییدی) امکان شناسایی الگوهای پیچیده همبستگی و در عین حال، تعیین کمی روابط علی را فراهم می‌آورد و اعتماد به یافته‌های پژوهش را افزایش می‌دهد. مدل رگرسیون گام‌به‌گام با ورود متغیرهای مستقل انجام شد. نتایج نشان داد که از میان ۷ متغیر اولیه، ۵ متغیر شامل پوشش گیاهی، ارتفاع، شیب، فاصله از رودخانه و جمعیت توانستند وارد مدل نهایی شوند. متغیرهای مساحت کاربری مسکونی و مساحت بافت فرسوده به دلیل عدم معناداری آماری ( $p < 0.15$ ) از مدل حذف گردیدند. مدل نهایی برآورد شده به صورت زیر است:

$$\hat{Y} = 2.85 + 0.00023X_1 + 0.0042X_2 + 0.31X_3 - 0.0018X_4 + 0.000015X_5 \quad (2)$$

که در آن  $\hat{Y}$  سطح خطرپذیری پیش‌بینی شده (رتبه ۱ تا ۱۰)،  $X_1$  پوشش گیاهی (هکتار)،  $X_2$  ارتفاع (متر)،  $X_3$  شیب (درجه)،  $X_4$  فاصله از رودخانه (متر) و  $X_5$  جمعیت (نفر) است. نتایج آزمون معناداری ضرایب رگرسیون در جدول (۵) ارائه شده است. مدل نهایی دارای ضریب تعیین  $R^2 = 0.78$  و ضریب تعیین تعدیل شده  $R^2 = 0.65$  بود که نشان‌دهنده توانایی بالای مدل در تبیین تغییرات خطرپذیری است. آماره F برابر ۵,۹۴ با سطح معناداری  $p=0.041$  به دست آمد که معناداری کلی مدل را تأیید می‌کند. مقدار خطای استاندارد برآورد (SEE) برابر ۱,۸۲ محاسبه شد.

جدول ۵- ضرایب رگرسیون و آماره‌های معناداری متغیرهای مدل نهایی (معنادر در سطح ۰,۰۵)

متغیر	ضریب B	خطای استاندارد	ضریب استاندارد Beta	آماره t	سطح معناداری	VIF
عرض از مبدأ	2.85	1.24	-	2.30	0.069	-
پوشش گیاهی	0.00023	0.00008	0.52	2.88	0.036*	2.41
ارتفاع	0.0042	0.0015	0.48	2.80	0.040*	2.85
شیب	0.31	0.12	0.44	2.58	0.050*	2.12
فاصله از رودخانه	-0.0018	0.0007	-0.38	-2.57	0.051	1.68
جمعیت	0.000015	0.000009	0.29	1.67	0.154	1.92

براساس ضرایب استاندارد (Beta)، پوشش گیاهی ( $\beta=0.52$ ) بیشترین تأثیر را بر خطرپذیری سیل داشت، پس از آن به ترتیب ارتفاع ( $\beta=0.48$ )، شیب ( $\beta=0.44$ ) و فاصله از رودخانه ( $\beta=-0.38$ ) قرار دارند. علامت منفی ضریب فاصله از رودخانه نشان می‌دهد که با افزایش فاصله از رودخانه، سطح خطرپذیری کاهش می‌یابد که با انتظارات نظری سازگار است. برای مقایسه نتایج دو روش، رتبه‌بندی نواحی براساس مدل رگرسیون انجام شد. همان‌طور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود همبستگی رتبه‌های اسپیرمن بین رتبه‌بندی حاصل از روش AHP و مدل رگرسیون برابر ۰,۸۹ ( $p > 0.1$ ) به دست آمد که نشان‌دهنده تطابق بسیار بالای دو روش است (جدول ۶).

جدول ۶- مقایسه رتبه‌بندی نواحی براساس روش‌های مختلف

رتبه تاریخی	تعداد سیل تاریخی	رتبه رگرسیون	پیش‌بینی رگرسیون	رتبه AHP	میانگین خطر AHP	ناحیه
10	0	10	3.2	10	3.6	1
1	22	2	9.8	1	10.4	2
2	24	1	10.2	2	10.0	3
7-8	1	8	5.1	8	4.6	4
10	0	5	6.8	5	7.0	5
10	0	3	8.2	3	8.6	6
10	0	4	7.5	4	7.8	7
5-6	3	9	4.8	9	4.4	8
7-8	1	6	6.3	6	6.2	9
10	0	7	5.9	7	5.8	10

همبستگی اسپیرمن (AHP-رگرسیون) مقدار  $p=0.89$ ،  $p > 0.01$  به دست آمده است. همچنین همبستگی اسپیرمن (AHP- داده تاریخی) مقدار  $p=0.018$ ،  $p=0.72$  و همبستگی اسپیرمن (رگرسیون- داده تاریخی) مقدار  $p=0.030$ ،  $p=0.68$  حاصل شده است. این یافته‌ها نشان می‌دهند که هر دو روش (AHP و رگرسیون) به نتایج بسیار مشابهی در شناسایی نواحی پرخطر منجر می‌شوند. نواحی ۲ و ۳ در هر دو روش به‌عنوان پرخطرترین نواحی شناسایی شدند که با تعداد بالای رخدادهای سیل تاریخی نیز تطابق دارد. تطابق رتبه‌بندی‌های مختلف، اعتبار یافته‌های پژوهش را تقویت می‌کند و نشان می‌دهد که متغیرهای محیطی-کالبدی انتخاب شده توانایی بالایی در تبیین الگوی خطرپذیری سیل دارند. نمودار پراکنش مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده خطرپذیری (شکل ۱۰) نشان می‌دهد که مدل رگرسیون با دقت مناسبی قادر به پیش‌بینی سطح خطر در نواحی مختلف است. بیشترین انحراف مربوط به ناحیه ۲ است که می‌تواند ناشی از تأثیر عوامل محلی خاص این ناحیه باشد.

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی همبستگی عوامل محیطی بر خطرپذیری سیل انجام شد و با محدودیت‌هایی مواجه بود که باید در تفسیر نتایج مدنظر قرار گیرد. واحد تحلیل این پژوهش، منطقه یک تهران است که به دلیل تقسیمات اداری شهرداری به ۱۰ ناحیه محدود شده است. این تعداد کم مشاهدات ( $n=10$ ) در برابر تعداد متغیرها کمتر از نسبت ایده‌آل ۵-۱۰ مشاهده به ازای هر متغیر در تحلیل عاملی است. برای رفع این محدودیت، اقدامات زیر انجام شد:

- استفاده از تحلیل رگرسیون خطی به‌عنوان روش تکمیلی برای تأیید نتایج.
- تفسیر محتاطانه نتایج تحلیل عاملی به‌صورت اکتشافی.
- اعتبارسنجی یافته‌ها با داده‌های تاریخی رخدادهای سیل.

با این حال، نتایج تحلیل عاملی باید با احتیاط تفسیر شود و به‌عنوان فرضیه‌های اولیه برای مطالعات آتی در نظر گرفته شوند. همچنین، تحلیل در مقیاس ناحیه‌ای ممکن است تنوعات درون‌ناحیه‌ای را نادیده بگیرد. پیشنهاد می‌شود مطالعات آتی با استفاده از واحدهای تحلیل ریزتر (مقیاس محله یا شبکه سلول‌های  $500 \times 500$  متر) انجام شود تا علاوه بر افزایش تعداد مشاهدات، تنوعات مکانی دقیق‌تری شناسایی شود.

داده‌های تاریخی سیل نیز محدود به بازه زمانی ۱۳۳۳-۱۳۷۴ بوده و اطلاعات جامع‌تری از سیلاب‌های دو دهه اخیر در دسترس نبود. بنابراین، گزارش‌های دقیق‌تر و به‌روزتر می‌تواند اعتبارسنجی بهتری را ممکن سازد. همچنین، عدم بررسی صریح اتوکورلیشن مکانی (Spatial Autocorrelation) در داده‌های ناحیه‌ای از دیگر محدودیت‌هاست.

تحلیل عاملی کلاسیک فرض استقلال مشاهدات را دارد، اما در داده‌های مکانی ممکن است نواحی همسایه همبستگی فضایی داشته باشند [۵۰، ۵۱]. با این حال این محدودیت کمتر در نتایج دخیل است زیرا، در این پژوهش واحد تحلیل ۱۰ ناحیه اداری است که هر کدام واحدهای مدیریتی مستقل هستند و شاخص‌ها به صورت تجمیع‌یافته (aggregated) در سطح ناحیه محاسبه شده‌اند. با این وجود، نتایج با روش رگرسیون خطی ( $R^2=0.78$ ) تأیید شده و همبستگی رتبه‌بندی نواحی بر اساس دو روش برابر با  $p=0.89$   $> 0.01$  است که نشان‌دهنده پایداری نتایج می‌باشد. به‌طور کلی با وجود محدودیت حجم نمونه، یافته‌های پژوهش از ثبات لازم برخوردار بوده و الگوهای شناسایی شده قابل اتکا هستند. این یافته‌ها، اطلاعات جامعی را از اقدامات ضروری در منطقه یک شهر تهران برای افزایش ظرفیت مقابله با بحران ارائه می‌دهند. میزان ارتباط متغیرهای کیفیت محیط زیست شهری با خطرپذیری سیل در تجزیه و تحلیل عاملی نشان داده است که بر اساس ارتباط متغیرها در ساخت عوامل اول و دوم، پوشش گیاهی، ارتفاع، شیب، طول راه‌ها و کاربری خدماتی رابطه بالایی و همبستگی قوی دارد که در تشکیل عامل اول با واریانس ۳۰/۰۷ شرکت کرده است. اهمیت این مولفه‌ها در خطرپذیری سیل توسط مطالعات دیگر نیز تأیید شده است [۲۰]. این مطالعه با کمی کردن درجه اهمیت هر یک از متغیرها استراتژی‌های کاهش پیامدهای ناشی از مخاطره سیل را الویت بندی نموده است. بررسی بار عاملی و مطالعه‌ی ضریب پیرسیون نشان داد که ارتباط قوی بین سطح خطرپذیری و کاربری پوشش گیاهی وجود دارد، که این را می‌توان به دلیل نقش پوشش گیاهی در کاهش اثر سیل دانست. همچنین کاربری‌های جایگزین در قالب کاربری‌های ساخته شده در حاشیه رود دره‌ها که بستر افزایش خطرپذیری سیل را فراهم می‌کند از دیگر دلایل اهمیت این کاربری است. در این مطالعه ابتدا سطح خطرپذیری (جدول ۲) در هر ناحیه منطقه

یک تعیین شده و سپس با انجام تحلیل عاملی اثرات عوامل بر یکدیگر و بر سطح خطرپذیری (جدول ۳) تحقیق شده است تا راهکارها تدقیق شود. یافته‌های حاصل از بارهای عاملی (۹-ب) تایید می‌کند که ارتباط قوی بین عوامل ارتفاع، شیب، پوشش گیاهی، طول راه‌ها و همچنین مراکز خدماتی در سطح خطرپذیری وجود دارد. شایان ذکر است، ناحیه ۹ بیشترین پوشش گیاهی را به خود اختصاص داده از این رو مشاهده می‌شود سطح خطرپذیری متوسط (۵) را به دست آورده است. ناحیه ۲ و ۹ به خاطر بالاترین میزان زیر ساخت حیاتی و جمعیت و مخازن زباله و پهنه فعالیت اداری و صنعتی و باغ مسکونی سطح خطرپذیری ۸ و ۵ را به دست آوردند در این دو منطقه پوشش گیاهی بالا میزان خطرپذیری را متعادل کرده و ظرفیت مقابله با بحران را بهبود بخشیده است. توجه به این نکته ضروری است نمره بالاتر خطرپذیری بالاتر است، باید در نظر داشت پتانسیل خطرپذیری در ناحیه ۶ به دلیل ارتفاع و شیب بالا و همچنین بیشترین مساحت کاربری مسکونی و تجاری (سطح ۹) به دست آمده است. در ناحیه ۵ و ۴ و ۱۰ مساحت بافت فرسوده موجب کاهش ظرفیت مقابله با بحران شده است. ناحیه ۱، ۸ و ۴ کمترین میزان خطرپذیری را دارا می‌باشند. با توجه به یافته‌های پژوهش مبتنی بر سطح خطرپذیری و تحلیل عاملی و توجه به وضعیت موجود از امکانات مدیریت بحران و خدمات اورژانسی در نواحی ۲ و ۹ ضروری است زیرا کاربری باغ مسکونی و جمعیت بالا موجب افزایش خطرپذیری در این نواحی شده است. از این رو توزیع متناسب جمعیت در جهت کاهش خطر موثر به نظر می‌رسد. همچنین کاربری‌های پرخطر مانند ۸ جایگاه سوخت در ناحیه ۲ زمینه افزایش خطرپذیری را فراهم می‌کند. بنابراین انجام جایابی بهینه این جایگاه‌ها در آن ناحیه ضروری است. ناحیه ۴ دارای بیشترین بافت فرسوده و شیب و ارتفاع بالا و پوشش گیاهی اندک است. کاهش بافت فرسوده و افزایش پوشش گیاهی در این ناحیه موجب بهبود وضعیت خطرپذیری است. همچنین بافت فرسوده در ناحیه ۵ قابل توجه است که فاقد بیمارستان و کاربری پرخطر می‌باشد و از ۲ ایستگاه آتش‌نشانی برخوردار است. کاهش بافت فرسوده در قالب مقاوم سازی و بازسازی برای این ناحیه نیز ضروری است. ناحیه ۳ پرخطرترین ناحیه، دارای ۲ بیمارستان و یک ایستگاه آتش‌نشانی و پوشش گیاهی پایینی به نسبت خطرپذیری ناحیه دارد و دارای ارتفاع و شیب بالایی است. افزایش پوشش گیاهی جهت کاهش خطرپذیری در این ناحیه اقدام مناسبی به نظر می‌رسد. ناحیه ۳ سطح خطرپذیری بالا (۱۰) را کسب کرده است. باید توجه داشت این ناحیه فاقد مراکز پرخطر است و سطح بالای خطرپذیری این منطقه به دلیل نزدیکی به دلیل احتمال بالای مخاطره یعنی رود است. ناحیه ۶ سطح خطرپذیری ۹ را کسب نموده است. این ناحیه دارای تعداد ۳ بیمارستان و یک ایستگاه آتش‌نشانی و فاقد کاربری پرخطر می‌باشد و دارای بیشترین کاربری مربوط به کاربری مسکونی و تجاری است. این ناحیه سطح خطرپذیری ۸ را دارد. بیشترین کاربری در محدوده را به خود اختصاص داده است با توجه به قرارگرفتن رود در ناحیه ۲ و واقع شدن مراکز پرخطر همچون ۸ پمپ بنزین و خطر انتشار آلودگی‌ها به هنگام جریان آب این ناحیه نیازمند برنامه‌ریزی قبل از وقوع سیل مانند مکانیابی مناسب جایگاه سوخت است. برای ناحیه ۵، سطح خطرپذیری ۷ حاصل شده است. همچنین ناحیه ۹ رتبه خطرپذیری ۵ را دارا است که به دلیل پوشش گیاهی بالا و بافت فرسوده پایین در نواحی الوایت‌دار قرار نمی‌گیرد. ناحیه ۱۰ سطح خطرپذیری ۴ و ناحیه ۴ سطح خطرپذیری ۳ را دارا است سطح خطرپذیری متعادل است اما با توجه به برخوردار بودن از بافت فرسوده و ارتفاع و شیب بالا، مقاوم سازی در محدوده ضروری به نظر می‌رسد. ناحیه ۸ سطح خطرپذیری ۲ را دارد. این ناحیه از رود فاصله دارد با توجه به اینکه فاقد بیمارستان است و دارای خطرپذیری سیل کمتر است محل مناسبی برای احداث مراکز خدمات درمانی است. شناسایی عوامل خطرپذیری مخاطرات طبیعی و تحلیل روابط این عوامل در مناطق شهری با توجه به ویژگی‌های محیطی هر منطقه برای تعیین الویت اقدامات به منظور کاهش پیامدهای ناشی از مخاطرات طبیعی دارای اهمیت فراوان است.

## ۵-منابع

1. Ghasemzadeh, B., et al., *A framework for urban flood resilience assessment with emphasis on social, economic and institutional dimensions: A qualitative study*. Sustainability, 2021. **13**(14): p. 7852.
2. Bera, S., B. Guru, and T. Oommen, *Indicator-based approach for assigning physical vulnerability of the houses to landslide hazard in the Himalayan region of India*. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2020. **50**: p. 101891.

3. Armah, F.A., et al., *Impact of floods on livelihoods and vulnerability of natural resource dependent communities in Northern Ghana*. *Water*, 2010. **2**(2): p. 120-139.
4. Poole, J.A., et al., *Impact of weather and climate change with indoor and outdoor air quality in asthma: A Work Group Report of the AAAAI Environmental Exposure and Respiratory Health Committee*. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 2019. **143**(5): p. 1702-1710.
5. Agonafir, C., et al., *A review of recent advances in urban flood research*. *Water Security*, 2023. **19**: p. 100141.
6. Becker, G., J.C. Aerts, and D. Huitema, *Influence of flood risk perception and other factors on risk-reducing behaviour: a survey of municipalities along the R hine*. *Journal of Flood Risk Management*, 2014. **7**(1): p. 16-30.
7. Rana, I.A., et al., *Disaster management cycle and its application for flood risk reduction in urban areas of Pakistan*. *Urban Climate*, 2021. **38**: p. 100893.
8. Al-Taani, A., Y. Al-husban, and A. Ayan, *Assessment of potential flash flood hazards. Concerning land use/land cover in Aqaba Governorate, Jordan, using a multi-criteria technique*. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 2023. **26**(1): p. 17-24.
9. Tariq, A., et al., *Flash flood susceptibility assessment and zonation by integrating analytic hierarchy process and frequency ratio model with diverse spatial data*. *Water*, 2022. **14**(19): p. 3069.
10. Boudou, M., B. Danière, and M. Lang, *Assessing changes in urban flood vulnerability through mapping land use from historical information*. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2016. **20**(1): p. 161-173.
11. Dammalage, T. and N. Jayasinghe, *Land-Use Change and Its Impact on Urban Flooding: A Case Study on Colombo District Flood on May 2016*. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 2019. **9**(۲)
12. Feng, B., Y. Zhang, and R. Bourke, *Urbanization impacts on flood risks based on urban growth data and coupled flood models*. *Natural Hazards*, 2021. **106**: p. 613-627.
13. Genovese, E., *A methodological approach to land use-based flood damage assessment in urban areas: Prague case study*. *Technical EUR Reports, EUR*, 2006. **22497**.
14. Lee, Y. and S.D. Brody, *Examining the impact of land use on flood losses in Seoul, Korea*. *Land use policy*, 2018. **70**: p. 500-509.
15. Moulds, S., et al., *Modeling the impacts of urban flood risk management on social inequality*. *Water Resources Research*, 2021. **57**(6): p. e2020WR029024.
16. Chen, Y., et al., *Urban flood risk warning under rapid urbanization*. *Environmental research*, 2015. **139**: p. 3-10.
17. Kawaguchi, L., et al., *Seroprevalence of leptospirosis and risk factor analysis in flood-prone rural areas in Lao PDR*. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 2008. **78**(6): p. 957-961.

18. Moarab, Y., et al., *Construction of a conceptual model for against disasters using a sustainable development approach*. Journal of Environmental Science and Technology, 1970. **21**(3): p. 139-156.
19. NOROUZI, T.R. and Y. Binai, *Zoning sensitive areas and environmental vulnerabilities in a District 1 of Tehran metropolitan by Fuzzy classification method and hierarchical process*. 2018.
20. Ghahroudi Tali, M., A. Majidi Heravi, and E. Abdoli, *Vulnerability of urban flooding case study: Tehran, Darake to Kan*. Journal of Geography and Environmental Hazards, 2016. **5**(1): p. 21-36.
21. Afsari, R., et al., *A spatial decision support approach for flood vulnerability analysis in urban areas: A case study of Tehran*. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2022. **11**(7): p. 380.
22. Sarker, M.S.H., *Assessing levels of migrant-friendliness in the context of vulnerability to climate variability ,change and environmental hazard: A comparison of two different-sized cities*. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2022. **68**: p. 102525.
23. Hosseinzadeh, S.R., et al., *An assessment of environmental sustainability in urban areas using multi-criteria decision making method-Linear assignment (Case Study: City of Bandar Turkman)*. 2011.
24. Waqas, H., et al., *Flash flood susceptibility assessment and zonation using an integrating analytic hierarchy process and frequency ratio model for the Chitral District, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan*. Water, 2021. **13**(12): p. 1650.
25. Haghghi Fard, S.M. and N. Doratli, *Evaluation of resilience in historic urban areas by combining multi-criteria decision-making system and GIS, with sustainability and regeneration approach: The case study of Tehran (IRAN)*. Sustainability, 2022. **14**(5): p. 2495.
26. Ghavami, S.M., *Multi-criteria spatial decision support system for identifying strategic roads in disaster situations*. International Journal of Critical Infrastructure Protection, 2019. **24**: p. 23-36.
27. Parizi, S.M., M. Taleai, and A. Sharifi, *Integrated methods to determine urban physical resilience characteristics and their interactions*. Natural Hazards, 2021. **109**(1): p. 725-754.
28. Lines, R.L., et al., *Stress, physical activity, sedentary behavior, and resilience—The effects of naturalistic periods of elevated stress: A measurement-burst study*. Psychophysiology, 2021. **58**(8): p. e13846.
29. Kodag, S., et al., *Earthquake and flood resilience through spatial Planning in the complex urban system*. Progress in disaster science, 2022. **14**: p. 100219.
30. Hemmati, M., B.R. Ellingwood, and H.N. Mahmoud, *The role of urban growth in resilience of communities under flood risk*. Earth's Future, 2020. **8**(3): p. e2019EF001382.
31. Van der Brugge, R. and R. Roosjen, *An institutional and socio-cultural perspective on the adaptation pathways approach*. Journal of Water and Climate Change, 2015. **6**(4): p. 743-758.
32. Yeh, C.-H. and Y.-R. Chen, *Location model analysis of flood relief facilities: a case study of the Fazih River floodplain, Taiwan*. Natural Hazards, 2020. **103**(1): p. 317-327.
33. Kodippili, N. and G. Fernando, *IDENTIFICATION OF FLOOD AFFECTED AREAS AND PREPARATION OF BETTER MECHANISM FOR RELIEF SERVICES USING GIS*

*TECHNOLOGY :A CASE STUDY OF WELIVITA AND MAHADENIYA GRAMA NILADHARI DIVISIONS OF KADUWELA DIVISIONAL SECRETARIAT DIVISION, SRI LANKA.* Age, 2011.

2.

34. Jaafar, J.B., et al., *A study of customer satisfaction with planning movement of goods during disaster aid programs: A case study of flood hit in segamat, johor.* J. Environ. Treat. Tech, 2020. **8**(1): p. 419-428.
35. Rittelmeyer, P., *Socio-cultural perceptions of flood risk and management of a levee system: Applying the Q methodology in the California Delta.* Geoforum : ۱۱۱ . ۲۰۲۰ ,p. 11-23.
36. Guiza Valverde, F., *The Socio-Cultural Dimension of Flood Vulnerability in a Periurban Community in Central Mexico.* 2011, University of East Anglia.
37. Laoupi, A. *The socio-cultural profile of Hazards. Disaster Archaeology and the risk assessment of past catastrophic events.* in *11th International Symposium on Natural and Human-induced Hazards.* 2006.
38. Lamond, J.E., et al., *Flood risk insurance, mitigation and commercial property valuation.* Property Management, 2019. **37**(4): p. 5۰۲۸-۱۲
39. Lamond, J., et al., *Flood risk mitigation and commercial property advice: an international comparison.* 2017.
40. Porter, J.R., et al., *Commercial Real-Estate at Risk: An Examination of Commercial Building and Economic Impacts in the United States Using a High-Precision Flood Risk Assessment Tool.* Frontiers in Water, 2022. **4**: p. 875995.
41. Mis, N.B., et al., *Grass-root preparedness against potential flood risk among residential and commercial property holders.* International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment, 2015. **6**(1): p. 44-56.
42. Walker, G.B., *Public participation as participatory communication in environmental policy decision-making: From concepts to structured conversations.* Environmental Communication, 2007. **1** : (۱) p. 99-110.
43. Tu, Z., T. Hu, and R. Shen, *Evaluating public participation impact on environmental protection and ecological efficiency in China: Evidence from PITI disclosure.* China Economic Review, 2019. **55**: p. 111-123.
44. Peñuelas, J. and J. Sardans ,*Global change and forest disturbances in the Mediterranean basin: Breakthroughs, knowledge gaps, and recommendations.* Forests, 2021. **12**(5): p. 603.
45. Landström, C., *Public Participation in Environmental Decision Making,* in *Environmental Participation: Practices engaging the public with science and governance.* 2019, Springer. p. 45-65.
46. Khan, S., L.C.M. Alvarez, and Y. Wei, *Sustainable management of municipal solid waste under changing climate: A case study of Karachi, Pakistan.* Asian Journal of Environmental Biotechnology, 2018. **2**(1): p. 23-32.
47. Kumar, N., et al., *A systematic review comparing urban flood management practices in India to China's sponge city program.* Sustainability, 2021. **13**(11): p. 6346.

48. Li, X., et al., *Impact of land use on urban water-logging disaster: a case study of Beijing and New York cities*. Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ), 2017. **16** (5).
49. Moghadas, M., et al., *A multi-criteria approach for assessing urban flood resilience in Tehran, Iran*. International journal of disaster risk reduction, 2019. **35**: p. 101069.
50. Tobler, W.R., *A computer movie simulating urban growth in the Detroit region*. Economic geography, 1970. **46**(sup1): p. 234-240.
51. Dark, S.J. and D. Bram, *The modifiable areal unit problem (MAUP) in physical geography*. Progress in physical geography, 2007. **31**(5): p. 471-479.

## پیوست ها

جدول پیوست ۱: نتایج آزمون نرمالتی و پارامترهای تبدیل باکس-کاکس (p-value کمتر از ۰,۰۵ نشان دهنده رد فرض نرمالتی است)

متغیر	آزمون شاپیرو-ویلک (قبل از تبدیل)	پارامتر $\lambda$	آزمون شاپیرو-ویلک (بعد از تبدیل)
	W	p-value	
میانگین خطرپذیری	۰.۹۲۴	۰.۳۸۹	-
پوشش گیاهی	۰.۸۹۱	۰.۱۸۶	-
ارتفاع	۰.۹۰۶	۰.۲۵۶	-
شیب	۰.۹۱۸	۰.۳۴۱	-
کاربری کارگاهی	۰.۷۱۲	۰.۰۰۳	۰.۲۳
باغ و باغ مسکونی	۰.۷۶۸	۰.۰۰۸	۰.۱۵
کاربری تجاری	۰.۸۰۱	۰.۰۱۸	۰.۳۱
جمعیت	۰.۶۹۴	۰.۰۰۱	۰.۲۸

جدول پیوست ۲: مقایسه ضرایب همبستگی با میانگین خطرپذیری

متغیر	همبستگی پیرسون	همبستگی اسپیرمن ( $\rho$ )	تفاوت
پوشش گیاهی	۰.۷۲۰*	۰.۷۱۰*	۰.۰۱
ارتفاع	۰.۶۱۴*	۰.۶۸۰*	۰.۰۷
شیب	۰.۴۹۵	۰.۵۲۰*	۰.۰۳
طول راه	۰.۵۵۹*	۰.۵۳۱*	۰.۰۳
بافت فرسوده	۰.۵۲۵*	۰.۵۴۸*	۰.۰۲
جمعیت	۰.۱۲۹	۰.۱۰۵	۰.۰۲

\*: معنادار در سطح  $p > 0.05$

جدول پیوست ۳: نتایج آزمون‌های کیفیت نمونه و معناداری ( $P < 0.01$ )

تفسیر	سطح معناداری	درجه آزادی	مقدار	آزمون
کیفیت متوسط نمونه	-	-	۰.۵۸	KMD
همبستگی معنادار	۰.۰۰۲**	۱۰۵	۱۵۶.۳۴	بارتلت ( $\chi^2$ )

جدول پیوست ۴: کمونالیت‌ها متغیرها

متغیر	کمونالیت‌ها اولیه	کمونالیت‌ها استخراج شده
میانگین خطرپذیری	۱.۰۰۰	۰.۸۶۵
پوشش گیاهی	۱.۰۰۰	۰.۸۹۲
ارتفاع	۱.۰۰۰	۰.۹۳۵
شیب	۱.۰۰۰	۰.۸۸۱
طول راه	۱.۰۰۰	۰.۷۵۸
کاربری خدماتی	۱.۰۰۰	۰.۶۴۳
زیرساخت حیاتی	۱.۰۰۰	۰.۷۲۴
جمعیت	۱.۰۰۰	۰.۶۸۵
مخازن زباله	۱.۰۰۰	۰.۸۱۲
کاربری اداری	۱.۰۰۰	۰.۸۹۷
کاربری مسکونی	۱.۰۰۰	۰.۵۵۲
کاربری تجاری	۱.۰۰۰	۰.۷۹۵
کاربری باغ مسکونی	۱.۰۰۰	۰.۸۳۶
کاربری کارگاهی	۱.۰۰۰	۰.۶۲۹
بافت فرسوده	۱.۰۰۰	۰.۷۱۸

جدول پیوست ۵: بارهای عاملی به همراه خطای استاندارد

متغیر	F <sub>۱</sub>	SE(F <sub>۱</sub> )	F <sub>۲</sub>	SE(F <sub>۲</sub> )	F <sub>۳</sub>	SE(F <sub>۳</sub> )	F <sub>۴</sub>	SE(F <sub>۴</sub> )
میانگین خطرپذیری	۰.۷۷۷*	۰.۱۱	۰.۰۱۷	۰.۱۵	-۰.۰۵۳	۰.۱۶	-۰.۴۹۸	۰.۱۳
پوشش گیاهی	۰.۸۶۱*	۰.۰۹	-۰.۳۲۶	۰.۱۲	-۰.۰۳۸	۰.۱۷	۰.۰۴۶	۰.۱۸
ارتفاع	۰.۹۱۷*	۰.۰۸	۰.۲۵۱	۰.۱۴	۰.۰۷۰	۰.۱۶	۰.۲۳۲	۰.۱۵
شیب	۰.۸۵۸*	۰.۱۰	۰.۱۶۸	۰.۱۵	۰.۰۳۵	۰.۱۷	۰.۳۴۸	۰.۱۴
طول راه	۰.۸۰۴*	۰.۱۱	-۰.۰۲۹	۰.۱۶	۰.۱۷۸	۰.۱۵	۰.۰۵۹	۰.۱۷
کاربری خدماتی	۰.۵۱۵*	۰.۱۴	۰.۰۲۲	۰.۱۷	-۰.۳۹۹	۰.۱۳	۰.۰۳۷	۰.۱۸

\*بار عاملی معنادار ( $|loading| > 0.5$ )

SE: خطای استاندارد

جدول پیوست ۶: مقادیر ضریب همبستگی پیرسون متغیرهای کیفیت محیط زیست شهری و خطرپذیری سیل

کاربری زیر ساخت حیاتی	کاربری باغ مسکونی	کاربری مسکونی	کاربری پوشش گیاهی	کاربری کارگاهی صنعتی	کاربری بافت فرسوده	میانگین خطرپذیری	میانگین خطرپذیری
۰/۳۵۸	۰/۰۰۰	۰/۱۱۹	۰/۷۲۰	۰/۰۷۸	۰/۵۲۵	۱	میانگین خطرپذیری
۰/۰۵۰	۰/۵۰۳	۰/۱۰۴	۰/۳۵۱	۰/۱۷۲	۱	۰/۵۲۵	کاربری بافت فرسوده
-۰/۵۸۷	۰/۵۲۷	-۰/۳۳۴	۰/۴۲۴	۱	۰/۱۷۲	۰/۰۷۸	کاربری کارگاهی صنعتی
۰/۲۱۱	۰/۳۳۲	-۰/۴۵۲	۱	۰/۴۲۴	۰/۳۵۱	۰/۷۲۰	کاربری پوشش گیاهی
-۰/۲۰۶	-۰/۳۶۹	۱	-۰/۴۵۲	-۰/۳۳۴	۰/۱۰۴	۰/۱۱۹	کاربری مسکونی
-۰/۴۶۱	۱	-۰/۳۶۹	۰/۳۳۲	۰/۵۲۷	۰/۵۰۳	۰/۰۰۰	کاربری باغ مسکونی
۱	-۰/۴۶۱	-۰/۲۰۶	۰/۲۱۱	-۰/۵۸۷	۰/۰۵۰	۰/۳۵۸	کاربری زیرساخت حیاتی
۰/۰۶۵	۰/۱۲۹	۰/۰۹۳	۰/۵۷۴	۰/۰۹۱	۰/۰۵۴	۰/۵۰۰	کاربری خدماتی
-۰/۴۲۰	۰/۴۱۸	۰/۱۰۲	۰/۰۶۴	۰/۲۹۹	-۰/۰۹۰	-۰/۱۹	کاربری تجاری
۰/۳۶۹	-۰/۸۳۸	۰/۲۴۵	-۰/۳۸۸	-۰/۴۱۲	-۰/۵۹۳	-۰/۲۹	کاربری اداری
۰/۵۵۰	۰/۲۷۲	-۰/۴۰۰	۰/۵۷۰	-۰/۰۹۵	۰/۳۳۹	۰/۵۵۹	طول راه
۰/۴۸۳	۰/۰۶۷	-۰/۲۶۷	۰/۶۷۱	-۰/۱۹۷	۰/۰۲۶	۰/۴۹۵	شیب
۰/۵۸۹	-۰/۰۳۴	-۰/۲۱۳	۰/۷۰۰	-۰/۲۵۲	۰/۰۹۵	۰/۶۱۴	ارتفاع
۰/۲۷۸	-۰/۴۴۷	۰/۵۰۸	-۰/۱۳۱	-۰/۱۲۸	۰/۰۵۷	۰/۱۲۹	جمعیت
۰/۵۴۳	-۰/۴۱۹	۰/۴۳۶	-۰/۱۰۱	-۰/۴۷۶	۰/۰۱۵	۰/۱۸۱	مخازن زباله