

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره سه، خرداد ماه ۹۹

ارزیابی آسیب پذیری مناطق شهری در برابر سیل با منطق فازی

(مطالعه موردی: منطقه ۲۲ تهران)

الهام اسماعیلی علویجه^{۱*}

e.esmaeili@ut.ac.ir

سعید کریمی^۲

فاطمه سادات علوی پور^۳

تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۴

تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۱۲

چکیده

زمینه و هدف: به طور کلی در دهه‌های اخیر خسارت‌های ناشی از جاری شدن سیل در نتیجه شهرنشینی در حاشیه رودخانه‌ها همواره متوجه ساکنان این مناطق بوده است. هدف این پژوهش تعیین میزان آسیب‌پذیر بودن مناطق شهری نسبت به خطر سیل جهت کاهش خسارات جانی و مالی می‌باشد.

روش بررسی: بدین منظور از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (AHP فازی) چانگ به دلیل بزرگ تر بودن درجه احتمال جهت وزن دهی به معیارهای شیب، خاک، فاصله از رود، زمین شناسی، ارتفاع، کاربری اراضی و جمعیت استفاده گردید. پس از وزن‌دهی، معیارهای آسیب‌پذیری در محیط ARCGIS فازی‌سازی گردیدند و در نهایت از عمل‌گرهای فازی جهت روی هم گذاری لایه‌ها استفاده شد.

یافته‌ها: برای تعدیل نقشه‌های به دست آمده از عمل‌گرهای ضرب جبری و جمع جبری، از عمل‌گرهای گاما ۰/۹، گاما ۰/۷ و گاما ۰/۵ استفاده شد که نقشه حاصل از عمل‌گر گاما ۰/۷ به دلیل دست‌یابی به نتیجه مناسب‌تر به عنوان نقشه نهایی آسیب‌پذیری انتخاب گردید.

بحث و نتیجه گیری: بنابراین با توجه به نقشه نهایی و این‌که درصد تراکم جمعیت در شمال شرقی منطقه، نزدیک رودخانه‌کن از ۱/۰۷ درصد بیش‌تر است. احتمال آسیب‌پذیری در آن منطقه بالا پیش‌بینی می‌گردد. هم‌چنین ممکن است ساخت و سازهای غیر مجاز در حریم رودخانه‌های کن و وردآورد باعث تجمع آب و رهاسازی یک‌باره آن در منطقه شود و اگر روند ساخت و سازهای غیر مجاز و افزایش جمعیت در منطقه ادامه یابد می‌توان نتیجه گرفت احتمال آسیب‌پذیری در برابر سیل در منطقه ۲۲ تهران می‌تواند زیاد باشد.

واژه های کلیدی: سیل، آسیب‌پذیری، منطق‌فازی، منطقه ۲۲ تهران.

۱- دانشجوی دکتری برنامه ریزی محیط زیست، دانشگاه تهران، * (مسوول مکاتبات)

۲- استادیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.

۳- دانشجوی دکتری برنامه ریزی محیط زیست، دانشگاه تهران.

Vulnerability Assessment in Urban Areas against Flood with Fuzzy Logic (case study: Tehran District 22)

Elham Esmaeili Alavijeh¹ *

e.esmaeili@ut.ac.ir

Saeid Karimi²

Fatemehsadat Alavipoor³

Admission Date: April 23, 2016

Date Received: August 3, 2015

Abstract

Background and Objective: In general, in recent decades, due to urban lives on the sidelines of rivers, dwellers of these areas have been the subject of damages caused by flood. The goal of this research is determining the vulnerability level of urban areas against flood in order to reducing human and financial losses.

Method: For this purpose, Chung fuzzy analysis hierarchical process method (fuzzy AHP) is used due to the higher degree of possibility for weighting criteria of gradient, soil, distance from river, geology, height, land usage, and population. After weighting, the criteria of vulnerability in the environment ARCGIS were fuzzy and ultimately fuzzy operators were used for overlapping layers.

Findings: To amend the obtained maps, algebraic multiplication and algebraic addition operators, Gamma 0.9, Gamma 0.7 and Gamma 0.5 operators were used. Obtained map from Gamma 0.7 operator was chosen as the final map of vulnerability for obtaining more appropriate result.

Discussion and Conclusion: Therefore, considering the final map, and that the percentage of population density is over 1.07 in the eastern north of the area near Kan river, the possibility of vulnerability is proposed to be high in that area. Also it is possible that unpermitted constructions in Kan and Vardavard River limits will lead to water aggregation and its sudden release in the area, and if the process of unpermitted constructions and population increase is continued in the area, it can be resulted that the possibility of vulnerability against flood may be high in Tehran District 22.

Keywords: Flood, Vulnerability, Fuzzy Logic, Tehran District 22.

1- Ph.D Student in Environmental Planning, University of Tehran .*(Corresponding Author)

2- Assistant professor of faculty of Environment, University of Tehran

3- Ph.D Student in Environmental Planning, University of Tehran.

مقدمه

فراهم می‌نماید (۵). در مناطق شهری ارزیابی خطر سیل هنوز چالش برانگیز است، زیرا در مناطق روستایی بیش‌تر به صورت چندوجهی است. تجزیه و تحلیل خطر سیل معمولاً در ترکیب اثرات اجتماعی و محیط زیستی مشترکاً انجام نمی‌شود، اما منحصراً در ارزیابی خسارت‌های اقتصادی از نظر مالی قابل اندازه‌گیری است (۶). استراتژی مدیریت سیل شامل اقدامات پیش از سیل، اقدامات حین وقوع سیل، اقدامات پس از سیل. اقدامات پیش از سیل زیر ساخت‌های طبیعی و ساختارهای اجتماعی را برای مدیریت خطر سیل فراهم می‌کند. استراتژی برای پیش‌گیری مدیریت سیل شامل اقدامات فنی و کنترل مدیریت سیل (سدهای کوچک و پروژه‌هایی برای حفظ و ثبات بانک رودخانه) است که به اقدامات نظارتی برای استفاده از زمین، برنامه‌ریزی از شهرک و اقدامات اقتصادی می‌انجامد (۷). خسارت سیل را می‌توان به خسارت مستقیم و غیر مستقیم تقسیم بندی کرد. خسارت مستقیم آن به دلیل تماس فیزیکی آب سیل با انسان، اموال و یا اشیاء دیگر می‌باشد و خسارت غیر مستقیم توسط یک سیل ناشی از فضا یا زمان خارج از رویداد واقعی روی می‌دهد که شامل اختلال در ترافیک، تجارت یا خدمات عمومی می‌باشد. معمولاً هر دو نوع زیان بیش‌تر به آسیب محسوس و یا نامحسوس طبقه بندی می‌شوند، بسته به این که آیا آن‌ها را می‌توان با ارزش پولی مورد بررسی قرار داد. خسارت سیل توسط عواملی مانند سرعت جریان، مدت زمان سیل، آلودگی، غلظت رسوب، زمان راه آب، اطلاعات مربوط به هشدار سیل و کیفیت پاسخ‌های بیرونی، در یک وضعیت سیل تحت تاثیر قرار می‌گیرد (۸). مطالعات داخلی و خارجی بسیاری در ارتباط با سیلاب و زمینه‌های مختلف مرتبط با آن صورت گرفته است، از جمله می‌توان به کارهای صورت گرفته به وسیله‌ی وندرسون و همکاران اشاره کرد که تصویر ماهواره‌ای ایکونوس را در بخش‌های جنوبی هلند جهت برآورد خطر و خسارت سیلاب با استفاده از مدل LISFLOOD طبقه‌بندی نمودند. در نهایت خسارت ناشی از سیلاب را با توجه به عمق و حجم سیلاب در ارتباط با هر طبقه پوشش

سیل یکی از بلاهای طبیعی است که خسارات وارد شده آن به انسان نسبت به سایر بلاها مانند خشک‌سالی و قحطی بیش‌تر می‌باشد (۱). سیل در میان مخاطرات طبیعی در محدوده‌ی زمانی، شاخص‌ترین ویران‌گر می‌باشد که علاوه بر تأثیر بر زندگی انسان، باعث آسیب‌های شدید اقتصادی در سراسر جهان می‌شود (۲). به طور کلی در دهه‌های اخیر، شهرنشینی در حاشیه رودخانه‌ها خسارت‌هایی را از سیلاب به وجود آورده است و از این رو آگاهی از برآورد خطرپذیری مناطق مختلف شهری و توجه به این که ارزیابی و مدیریت سیلاب‌های شهری به عنوان یکی از مهم‌ترین مسایل در حوزه شهر به حساب می‌آید، حفظ محیط زیست شهری از اهمیت به سزایی برخوردار است. شدت سنگین بارش‌های باران در فصل بهار باعث به وجود آمدن سیلاب‌هایی در ایران می‌شود و نگرانی‌هایی را به جای خوشحالی برای مردم به وجود می‌آورد (۳). این قابل درک است که خطرات سیل در آینده فروکش نمی‌کند و با شروع تغییرات آب و هوایی شدت آن بسیاری از مناطق جهان را مورد تهدید قرار می‌دهد (۲). آب و هوا بر بسیاری از جنبه‌های زندگی انسان موثر است (۴). سیل به علت تجمع سریع و انتشار آب روان آب رودخانه از بالادست به پایین دست اتفاق می‌افتد که توسط بارش بسیار سنگین به وجود می‌آید. وقوع سیل نگرانی‌هایی را در علم هیدرولوژی و مخاطرات طبیعی به وجود آورده و با توجه به رتبه بندی بالایی که در میان بلاهای طبیعی دارد تعداد زیادی از مردم را در سراسر جهان نسبت به مرگ و میر تحت تاثیر قرار می‌دهد (۲). سیل در میان جهان یکی از شایع‌ترین مخاطرات طبیعی است که اغلب در اطراف رودخانه‌ها و دشت‌ها رخ می‌دهد که در معرض خطر بیش‌تری از این مناطق می‌باشد. خطر فاجعه سیل اساساً یک مفهوم سه بعدی مربوط به عدم اطمینان و پیچیدگی است. جغرافیا، سنجش از دور و اطلاعات آماری در ارایه عوامل خطر استفاده می‌شود. تعدد، پیچیدگی، عدم قطعیت، عدم دقت و تنوع روش‌های ارزیابی است که ارزیابی خطر سیل را که یک مشکل در سراسر جهان می‌باشد، در زمینه علوم طبیعی و تکنولوژی

مورد بررسی جهت ارزیابی آسیب‌پذیری شامل حریم مسیل‌های رودخانه، ساختار، جهت و عرض شبکه ارتباطی، کاربری زمین، تراکم ساختمان‌ها و توان کلی دفع سیلاب منطقه می‌باشد. با استفاده از منطق‌فازی میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و واحدهای مسکونی نسبت به هریک از معیارها ارزیابی شده و در نهایت همه معیارها با هم جمع و درصد نهایی میزان آسیب‌پذیری محاسبه شده است. نتایج تحقیق نشان داد که منطقه ۳ مستعد خطرات ناشی از سیل است و رعایت نکردن حریم مسیل، کم بودن مقاومت ساختمان‌ها، ضریب رواناب بالا در مناطق مسکونی، تراکم و تعداد طبقات بالا و کم عرض بودن شبکه ارتباطی بیش‌ترین اهمیت در آسیب‌پذیری منطقه را دارد و بیش از ۱۲ درصد از منطقه مورد مطالعه کاملاً آسیب‌پذیر است (۱۳). قنواتی و همکاران (۱۳۹۱) ارزیابی و پهنه‌بندی خطر رخداد سیلاب در حوضه فرحزاد (تهران) با استفاده از مدل فازی را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش لایه‌های اطلاعاتی مربوط به شیب، انحنای پروفیل و پلانسی-متریکی، ارتفاع، تراکم زهکشی، فاصله از آبراهه، لند فرم‌ها و کاربری‌اراضی مورد استفاده قرار گرفته است که پهنه‌بندی خطر سیل‌گیری نواحی با خطر بسیار بالا در پایین‌دست حوضه و منطبق بر دره اصلی فرحزاد قرار دارد و شیب این نواحی بین ۴۰-۲۰ درصد را شامل می‌شود (۱۴). صالحی و همکاران (۱۳۹۲) پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از GIS و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (AHP فازی) باکلی را در تهران مورد بررسی قرار دادند که با ۵ معیار شامل فاصله از شبکه زهکشی، تجمع جریان، شیب، ارتفاع و اراضی ساخته شده و ساخته نشده هماهنگ می‌باشد و با مقایسه زوجی اعداد فازی و به دست آوردن وزن‌ها و ارجحیت‌ها از روش میانگین‌گیری هندسی مشخص شد که آبراهه‌ها و حریم آن‌ها، هم‌چنین نواحی مرکزی تا جنوب شهر بیش‌ترین پتانسیل را برای سیل‌خیزی دارند (۳). روش فازی یک نوع روشی است دارای عدم قطعیت در تجزیه و تحلیل مسایل پیچیده که در ارزیابی خطر سیل مورد استفاده قرار می‌گیرد، بسیاری از دانشمندان با استفاده از این منطق به مطالعه‌ی پیش‌بینی و ارزیابی ریسک سیل پرداخته‌اند (۵). بر این اساس هدف از این پژوهش

زمین تعیین نمودند (۹). حرکت سیلاب‌ها در حوضه آمازون توسط مارتینز و همکاران مورد بررسی قرار گرفته است. آن‌ها تاثیر حرکت سیلاب‌ها بر روی توزیع پوشش گیاهی را بر اساس مدت زمان سیلاب با کمک تصاویر ماهواره‌ای تعیین کرده‌اند (۱۰). سیرینیوس و همکاران جهت تحلیل تناوب سیلاب منطقه‌ای روشی مرکب از نقشه عوارض خود سازمان‌یافته و الگوریتم C-mean خوشه‌بندی فازی را به کار برده و کارایی این روش را در حوضه‌های آب‌خیز ایالات ایندیانا در آمریکا مورد بررسی قرار داده‌اند که نتایج نشان داده است این روش با روش‌های مبتنی بر تحلیل رگرسیونی و هم‌بستگی چندمتغیره قابل مقایسه است (۱۱). چن و همکاران روش تحلیل خوشه‌ای فازی و شاخص‌های مساحت تحت تاثیر قرار گرفته، تعداد تلفات جانی، تعداد خانه‌های ویران شده و میزان خسارت اقتصادی مستقیم را در طبقه‌بندی خطر سیلاب در ۳۰ استان چین به کار بردند و به این نتیجه رسیدند که روش تحلیل خوشه‌فازی روشی مناسب برای طبقه‌بندی خطر سیلاب است (۱۲). پور احمد (۱۳۸۰) سیل مرداد ماه ۱۳۷۸ شهر نکاء را با توجه به نقش شرایط و ساختار جغرافیایی و طبیعی منطقه، حریم رودخانه را با استفاده از مشاهده مستقیم و داده‌های آماری بررسی نموده است. روستایی و همکاران (۱۳۸۴) مخاطرات محیطی و اثرات آن را در توسعه فیزیکی از جمله مخاطرات ناشی از سیلاب بر روی شهر تبریز مورد بررسی قرار دادند. قهرودی (۱۳۸۶) به مدیریت سیلاب‌های شهری با طراحی "پایگاه داده ۱" در شهر نور استان مازندران پرداخته و به این نتیجه رسیده است که مدیریت سیلاب‌های شهری بدون ساختار یکپارچه از داده‌های مکانی امکان‌پذیر نیست. ساعد (۱۳۷۸) در پایان‌نامه خود به پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی در شهر سندرچ پرداخته است که با هم‌پوشانی لایه‌های مربوط به خطر سیل، در نهایت میزان خطر سیل را برای هر یک از کاربری‌ها محاسبه کرده است. صفاری و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله خود به ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر خطر سیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و منطق‌فازی در منطقه ۳ تهران پرداختند و از روش تحقیق توصیفی-تحلیلی و آماری با تاکید بر نگرش سیستمی استفاده کردند که معیارهای

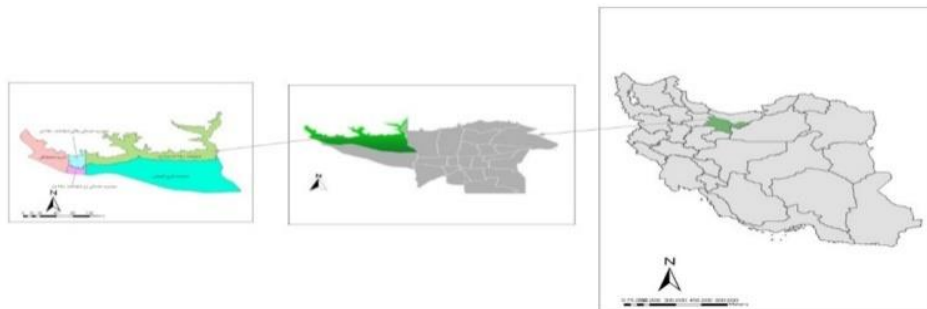
این منطقه در شمال با کوهستان البرز مرکزی، در شرق با حریم رودخانه کن، در جنوب با آزاد راه تهران- کرج و در غرب با محدوده جنگل‌های دست کاشت وردآورد محدود می‌گردد و با مناطق ۵ و ۲۱ تهران هم‌جوار است، به این ترتیب مرز شمالی منطقه ۲۲ تهران تا منتهی الیه دامنه‌های جنوبی البرز تا ارتفاع ۱۸۰۰ متری توسعه یافته است. مسیر رودخانه کن از شمال به جنوب جریان دارد، رودخانه وردآورد نیز در امتداد شمالی جنوبی و به موازات رودخانه کن در جریان است و در قسمت شمالی در غرب منطقه می‌باشد، فاصله متوسط این دو رودخانه از یکدیگر در حدود ۱۰ کیلومتر است (۱۵).

شناخت میزان آسیب‌پذیر بودن مناطق شهری به خصوص منطقه ۲۲ تهران نسبت به خطر سیل جهت کاهش خسارات جانی و مالی به وسیله منطق‌فازی و با پشتیبانی سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS می‌باشد.

روش بررسی

منطقه مورد مطالعه

تهران از نظر تقسیمات اداری به ۲۲ منطقه، ۱۱۹ ناحیه و ۳۶۲ محله تقسیم شده است. منطقه ۲۲ تهران بین طول‌های شرقی "۱۰' ۵۱" تا "۴۰' ۲۰' ۵۱" و عرض‌های شمالی "۱۶' ۳۲' ۳۵" تا "۱۹' ۵۷' ۳۵" در قسمت شمال غربی شهر تهران و در پایین دست حوضه آبریز رودخانه کن و وردیج واقع شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1. The Location of study area

روش تحقیق

معیارهای مربوط به آسیب‌پذیری

بر این اساس در ارتباط با ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر خطر سیل، هفت معیار فاصله از رود، شیب، خاک، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، ارتفاع و جمعیت به عنوان معیارهای اصلی به کار گرفته شد. سپس لایه‌های مورد نیاز برحسب معیارها تعیین شدند. لایه‌های فوق در ArcGIS تبدیل به رستر و با استفاده از توابع عضویت فازی، فازی شدند و در نتیجه نقشه‌های فازی شده لایه‌ها به دست آمد. سپس با کمک نرم افزار چانگ (AHP فازی) مقایسه زوجی معیارها نسبت به یکدیگر انجام شد سپس وزن‌دهی گزینه‌ها نسبت به هریک از گزینه‌ها صورت گرفت. بنابراین وزن نهایی معیارها با لایه‌های فازی شده ترکیب شد و نقشه‌های به دست آمده در

نهایت با عمل‌گرهای فازی منطبق گردید. به خصوصیات عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر سیل در زیرآورده شده است. معیارهای مؤثر جهت ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه ۲۲ تهران و نوع تابع عضویت استفاده شده در جدول (۱) نمایش داده شده است.

۱- شیب: این لایه بر روی سرعت نفوذ آب اثر فراوانی دارد و رابطه شیب با آسیب‌پذیری مستقیم است و علاوه بر آن مقدار نفوذ آب در زمان تمرکز مورد توجه می‌باشد. در نتیجه با کاهش شیب فرصت لازم برای نفوذ و زمان تمرکز افزایش و آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد.

۶- کاربری اراضی: این لایه از ۷ نوع کاربری (جنگل کاری، باغ، کشاورزی، شهری، مرتع، بایر و آب) تشکیل شده است و با آسیب پذیری رابطه معکوس دارد، به نحوی که کاربری جنگل- کاری، باغ و کشاورزی به علت افزایش تراکم پوشش گیاهی و نفوذپذیری خاک و نیز ذخیره آب امتیاز بالاتری نسبت به کاربری شهری، مرتع، بایر و آب کسب کرده‌اند، در نتیجه کاهش آسیب پذیری را به دنبال خواهد داشت.

۷- جمعیت: با افزایش جمعیت، نواحی شهری مستعد خسارات بیش تر ناشی از سیل هستند و جمعیت با آسیب پذیری رابطه مستقیم دارد، پس با کاهش درصد تراکم جمعیت آسیب پذیری کم می‌شود.

۲- فاصله از رود: این لایه با آسیب پذیری رابطه معکوس دارد، پس، کاهش فاصله از رود آسیب پذیری را افزایش و افزایش فاصله از رود آسیب پذیری را کاهش می‌دهد.

۳- ارتفاع: این لایه با آسیب پذیری رابطه مستقیم دارد و با کاهش و افزایش ارتفاع به ترتیب آسیب پذیری کم تر و بیش تر می‌شود.

۴- خاک: این لایه از ۳ طبقه تشکیل شده است و با آسیب پذیری رابطه معکوس دارد و با کاهش نفوذپذیری خاک آسیب پذیری افزایش می‌یابد.

۵- زمین شناسی: این لایه از ۳ طبقه تشکیل شده است و امتیازدهی آن بر اساس میزان نفوذپذیر بودن آن‌ها می‌باشد و با آسیب پذیری رابطه معکوس دارد. بدین صورت طبقه‌ای که در آن نفوذپذیری و نگره‌داشت آب بالا باشد امتیاز بیش تر و آسیب پذیری کم تری خواهد داشت.

جدول ۱- معیارهای مورد استفاده جهت ارزیابی آسیب پذیری مناطق شهری

Table 1. The used criteria to assess the vulnerability of urban areas

ردیف	معیار	رابطه با آسیب پذیری	نوع تابع عضویت
۱	فاصله از رود	معکوس	فازی بزرگ
۲	شیب	مستقیم	خطی کاهنده
۳	خاک	معکوس	فازی بزرگ
۴	کاربری اراضی	معکوس	فازی بزرگ
۵	زمین شناسی	معکوس	فازی بزرگ
۶	ارتفاع	مستقیم	خطی کاهنده
۷	جمعیت	مستقیم	خطی کاهنده

مجموعه مرجع یا در مجموعه وجود دارد و یا وجود ندارد، بنابراین یک مجموعه فازی تابع عضویتی را بیان می‌کند که این تابع عضویت درجه تعلق اعضای مجموعه را با یک عدد حقیقی بین [۰،۱] نشان می‌دهد. تابع عضویت برابر (۱) نشان دهنده عضویت کامل در مجموعه و مقدار (۰) نشان دهنده عدم عضویت کامل در مجموعه است (۱۴).
روش وزن دهی توسعه یافته چانگ

در این پژوهش هدف ارزیابی آسیب پذیری مناطق شهری در برابر سیل در منطقه ۲۲ تهران با استفاده از منطق فازی می‌باشد. نخستین بار نظریه فازی توسط پروفیسور لطفی در سال ۱۹۶۵ مطرح شد که در علوم مختلفی چون دانش برنامه ریزی شهری و شهرسازی را فرا گرفته است. در تحلیل تصمیم گیری چندمعیاره، تئوری فازی به عنوان معمول ترین روش در بررسی عدم قطعیت‌ها شناخته شده می‌باشد (۱۶).
در این نظریه اگر یک مجموعه را در نظر بگیریم، هر عضو

$$F_1 = \begin{cases} 1 & \text{if } (m_1 \geq m_2) \\ & \text{if } (u_1 \leq l_2) \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - l_2) - (m_1 - u_1)} & \text{else} \end{cases}$$

($F_1 \geq$

عمل‌گرهای فازی

در این پژوهش از ۵ عمل‌گر فازی به نام‌های OR (اجتماع)، AND (اشتراک)، SUM (جمع جبری)، PRODUCT (ضرب جبری) و GAMMA (گاما) استفاده می‌شود:

الف- عمل‌گر AND

این عمل‌گر به صورت رابطه زیر تعریف می‌گردد:

$$W_{\text{Combination}} = \text{MIN}(W_A, W_B, W_C, \dots)$$

در این رابطه W_A, W_B, W_C و W_C بیان‌گر مقادیر عضویت فازی عوامل A, B و C در یک موقعیت خاص می‌باشد. تأثیر این عمل‌گر آن است که نقشه خروجی توسط کوچک‌ترین مقدار عضویت فازی که در هر موقعیت روی می‌دهد کنترل می‌شود.

ب- عمل‌گر OR

این عمل‌گر به صورت رابطه زیر تعریف می‌گردد:

$$W_{\text{Combination}} = \text{MAX}(W_A, W_B, W_C, \dots)$$

تأثیر این عمل‌گر آن است که نقشه خروجی توسط بزرگ‌ترین مقدار عضویت فازی که در هر موقعیت روی می‌دهد، کنترل می‌شود.

ج- عمل‌گر SUM

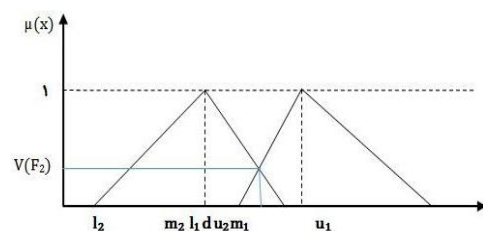
این عمل‌گر به صورت رابطه زیر تعریف می‌گردد.

$$W_{\text{Combination}} = 1 - \left(\prod_{i=1}^n (1 - W_i) \right)$$

با استفاده از این عمل‌گر فازی، مقدار عضویت فازی نقشه خروجی در هر موقعیت همواره بزرگ‌تر یا مساوی بزرگ‌ترین مقدار عضویت فازی در موقعیت‌های متناظر نقشه‌های ورودی می‌باشد. بنابراین عمل‌گر فوق اثر افزایشی دارد.

در سال ۱۹۹۲ روشی با عنوان روش تحلیل توسعه‌ای توسط چانگ ارایه شد. روش توسعه یافته چانگ بیش از روش‌های دیگر برای محاسبات تحلیل سلسه مراتبی فازی مورد استفاده قرار گرفته است. اعداد مورد استفاده در این روش، اعداد مثلثی فازی می‌باشد. چانگ از روش AHP در فضای فازی از مفهوم درجه امکان‌پذیری استفاده کرده است که چه قدر احتمال دارد یک عدد فازی بزرگ‌تر از یک عدد فازی دیگر باشد. پیش از بیان الگوریتم پیشنهادی چانگ، باید مفهوم درجه امکان‌پذیری یا درجه احتمال بزرگ‌تر بودن تشریح شود. دو عدد فازی مثلثی $F_1 = (l_1, m_1, u_1)$ و $F_2 = (l_2, m_2, u_2)$ را در نظر بگیرید، اگر m_1 بزرگ‌تر یا مساوی m_2 باشد، احتمال این‌که F_1 از F_2 بزرگ‌تر باشد برابر ۱ است. احتمال بزرگ‌تر بودن F_2 نسبت به F_1 برابر است با ارتفاع ناحیه اشتراک بین F_1 و F_2 (۱۷).

منطق فازی



بنابراین مقدار احتمال بزرگ‌تر بودن F_1 نسبت به F_2 برابر است با:

$$(F_1 \geq F_2) = \begin{cases} 1 & \text{if } (m_1 \geq m_2) \\ & \text{if } (u_1 \leq l_2) \\ \frac{l_2 - u_1}{(m_1 - u_1) - (m_2 - l_2)} & \text{else} \end{cases}$$

به همین ترتیب مقدار احتمال بزرگ‌تر بودن F_2 نسبت به F_1 برابر است با:

ترین مقدار عضویت فازی در موقعیت‌های متناظر نقشه‌های ورودی می‌باشد. بنابراین عمل‌گر فوق اثرکاهشی دارد. در این روش بر خلاف فازی AND و OR کلیه مقادیرهای عضویت نقشه‌های ورودی در نقشه خروجی تأثیر می‌گذارند.

ه- عمل‌گر GAMMA

این روش ترکیبی از روش‌های ضرب جبری و جمع جبری می‌باشد. در این روش، عوامل با وزن‌های مختلف طبق رابطه زیر تلفیق می‌گردند:

$$\mu_{Combination} = (Fuzzy Agabric Sum)^{\delta} * (Fuzzy Agabric Product)^{1-\delta}$$

صورتی که بخواهیم روش ضرب جبری (PRODUCT) بیش-تر مد نظر باشد، مقدار γ نزدیک به عدد صفر انتخاب می‌شود. انتخاب صحیح و آگاهانه γ مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که یک سازگاری قابل انعطاف میان گرایش‌های کاهشی و افزایشی دو عمل‌گر فازی ضرب جبری و جمع جبری را دارد (۱۸). در نتیجه برای تعدیل عمل‌گر ضرب جبری و جمع جبری از عمل‌گر گاما استفاده می‌شود (۱۴).

د- عمل‌گر PRODUCT

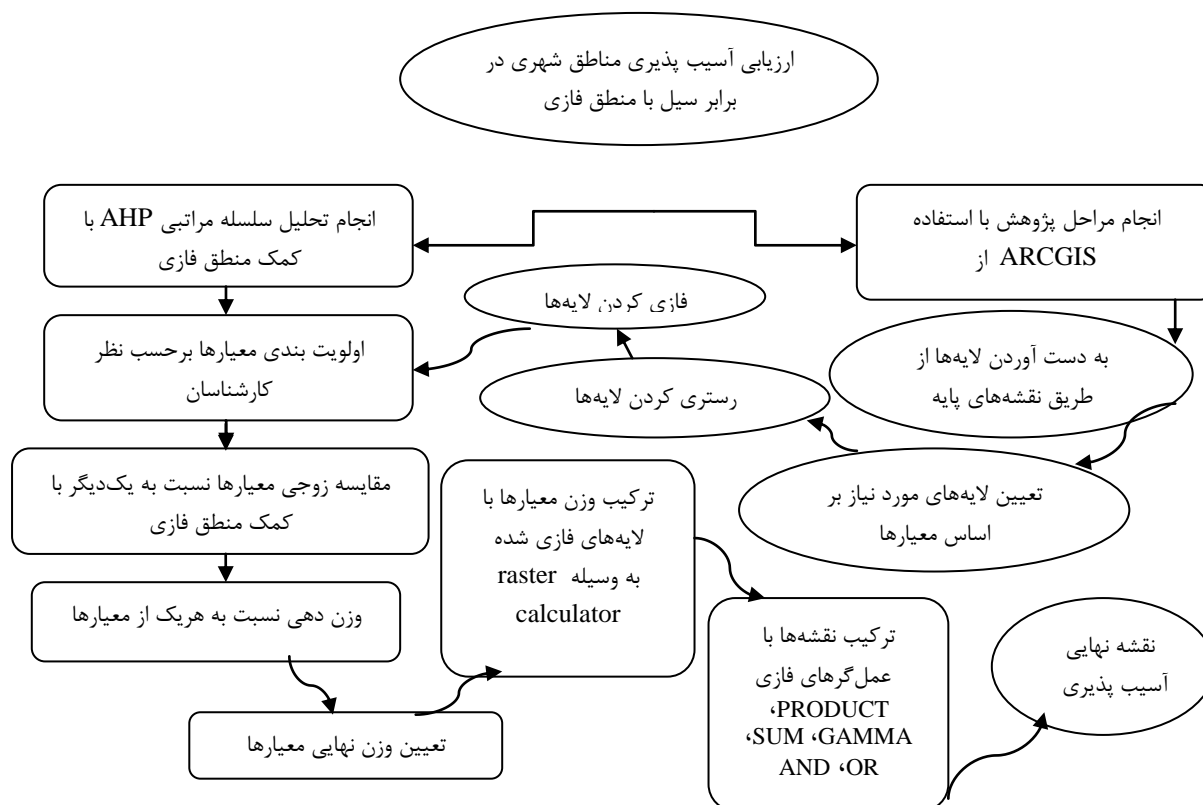
این عمل‌گر به صورت رابطه زیر تعریف می‌گردد:

$$W_{Combination} = \prod_{i=1}^n W_i$$

در این روش n فاکتور کنترل‌کننده فازی‌سازی ترکیب می‌شوند و W_i بیان‌گر وزن لایه نام می‌باشد. مقادیر عضویت فازی با این عمل‌گر به مقداری بسیار کوچک میل می‌کنند، به عبارت دیگر مقدار خروجی هر موقعیت همواره کوچک‌تر یا مساوی کوچک-

ه- عمل‌گر GAMMA

این روش ترکیبی از روش‌های ضرب جبری و جمع جبری می‌باشد. در این روش، عوامل با وزن‌های مختلف طبق رابطه زیر تلفیق می‌گردند. در این رابطه مقدار γ بین عدد صفر تا یک تعیین می‌گردد. در صورتی که بخواهیم اهمیت روش ترکیب جمع جبری (SUM) بیش‌تر باشد، مقدار γ نزدیک به یک انتخاب می‌گردد و در



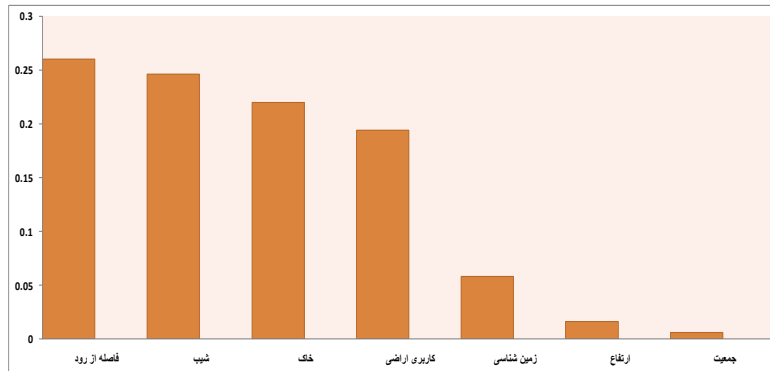
شکل ۲- فلوچارت روش تحقیق

Figure 2. The flow chart of research method

یافته ها

جهت تعیین وزن نهایی، اولویت بندی و ارجحیت آن ها بر اساس مقایسه دو به دو معیارها مورد بررسی قرار گرفت.

معیارهای مؤثر در آسیب پذیری که شامل فاصله از رود، شیب، خاک، کاربری اراضی، زمین شناسی، ارتفاع و جمعیت می باشد

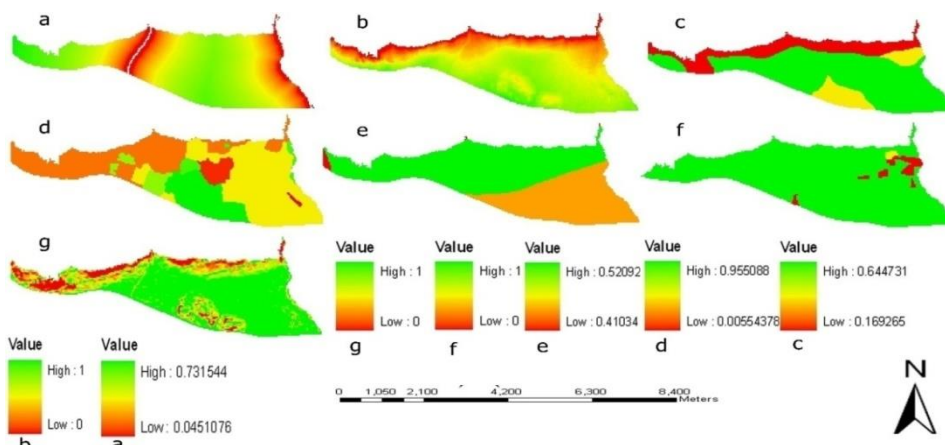


شکل ۳- وزن معیارهای مؤثر در آسیب پذیری ناشی از سیل

Figure 3. The weights of criteria affecting the vulnerability of flood

بنابراین هر کدام از لایه های فازی شده معیارها به صورت جداگانه با وزن نهایی خود ترکیب شدند و نقشه هایی از آن ها به دست آمد. سپس تمام نقشه های تولید شده از ترکیب وزن معیارها با لایه های فازی شده با عملگرهای فازی (AND, OR, SUM, GAMMA, PRODUCT) ترکیب شدند و از هر کدام نقشه نهایی آسیب پذیری منطقه ۲۲ تهران در برابر خطر سیل ایجاد شد (شکل ۴).

وزن های نهایی به عنوان میزان تأثیرگذاری هر معیار در تعیین آسیب پذیری مورد استفاده قرار گرفتند. به عبارتی وزن های معیارهای به دست آمده نشان می دهد که عامل فاصله از رود با ۰/۲۶۰ و عامل جمعیت با ۰/۰۰۶ به ترتیب بیشترین و کمترین وزن های معیار را در تعیین آسیب پذیری دارند (شکل ۳). معیارهای مربوط به آسیب پذیری بر اساس تابع عضویت هر یک از لایه ها در محیط ARCGIS با توجه به نوع رابطه ای که هر معیار با پدیده سیل دارد فازی شدند (شکل ۴).



شکل ۴- لایه های فازی شده

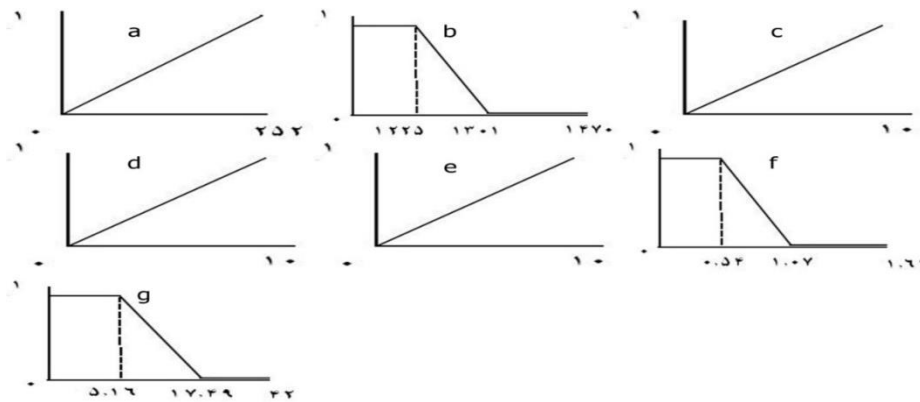
(a) فاصله از رود، (b) ارتفاع، (c) زمین شناسی، (d) کاربری اراضی، (e) خاک، (f) جمعیت، (g) شیب

Fig 4 -Fuzzy layers

a)Distance from the river; b) Elevation; c)Geology; d)Land use; e)Soil; f)Population; g)Slope

است. ارزش صفر بیشترین آسیب پذیری و ارزش یک کمترین آسیب پذیری را برای منطقه مورد مطالعه دارد.

تابع عضویت لایه‌ها بر اساس نوع رابطه‌ای که هر معیار با پدیده سیل در منطقه ۲۲ تهران دارد تعیین گردیده است (شکل ۵). بدین ترتیب به پیکسل‌ها ارزشی در بازه (۰ و ۱) تعلق گرفته



شکل ۵- روابط معیارها با سیل

(a) فاصله از رود، (b) ارتفاع، (c) زمین‌شناسی، (d) کاربری اراضی، (e) خاک، (f) جمعیت، (g) شیب

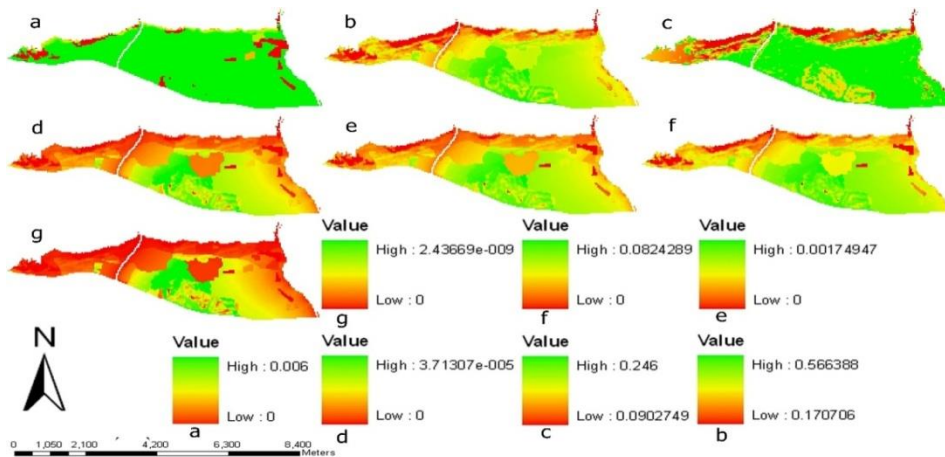
Figure 5. The relationships of criteria with flood

a) Distance from the river; b) Elevation; c) Geology; d) Land use; e) Soil; f) Population; g) Slope

گاما ۰/۵ استفاده شده است که نقشه عمل‌گر گاما ۰/۷ به دلیل دستیابی به نتیجه مناسب‌تر نسبت به گاما ۰/۹ و گاما ۰/۵ به عنوان نقشه نهایی آسیب‌پذیری منطقه ۲۲ تهران در برابر سیل انتخاب گردید (شکل ۶).

برطبق نقشه‌های به دست آمده، در نقشه عمل‌گر AND کوچک‌ترین مقدار عضویت فازی یعنی لایه جمعیت نشان داده شده است که در آن مکان‌های قرمز رنگ بیشترین آسیب‌پذیری و مکان‌های سبز رنگ کمترین آسیب‌پذیری را دارند. در نقشه عمل‌گر OR بزرگ‌ترین مقدار عضویت فازی را شیب در نظر گرفته است، در صورتی که فاصله از رود بیشترین مقدار عضویت را دارا می‌باشد و به ترتیب بیشترین آسیب‌پذیری و کمترین آسیب‌پذیری در نقشه با رنگ‌های قرمز و سبز مشخص شده است. در نقشه ضرب جبری^۱ میزان آسیب‌پذیری در شمال و شمال شرقی و غربی و همچنین حریم رودخانه‌های کن و وردآورد نسبت به جنوب و نواحی مرکزی بیشتر است که با رنگ قرمز مشخص شده است، اما در نقشه جمع جبری^۲ میزان آسیب‌پذیری فقط در شمال و شمال شرقی و غربی بیشتر است و نواحی مرکزی و جنوب منطقه به نسبت آسیب‌پذیری کم‌تری دارد و با رنگ سبز تعیین شده است. بنابراین برای تعدیل نقشه‌های بدست آمده از عمل‌گرهای ضرب جبری و جمع جبری، از عمل‌گرهای گاما^۳ ۰/۹، ۰، گاما ۰/۷ و

1- Product
2- Sum
3-Gamma



شکل ۶- ترکیب لایه ها با عملگرهای فازی

Figure 6. The combination of layers by using fuzzy operators

a) AND .b)SUM .c)OR .d) GAMMA 0.5 .e) GAMMA 0.7 .f) GAMMA 0.9 .g) PRODUCT

بحث و نتیجه گیری

کرده اند اما در مقاله حاضر از تمام عملگرهای فازی برای رسیدن به نتیجه مطلوب تر استفاده شده است. از سوی دیگر صالحی و همکاران (۱۳۹۲) روش وزن دهی AHP فازی (باکلی) را جهت دستیابی به وزن معیارها در پژوهش خود به کار برده اند. لیکن مقاله حاضر از روش وزن دهی AHP فازی (چانگ) برای وزن دهی معیارها بهره گرفته است، به این دلیل که این روش مفهوم درجه امکان پذیری و یا درجه احتمال بزرگ تر بودن را بیان می کند.

با توجه به نقشه پایه لایه جمعیت، درصد تراکم جمعیت در شمال شرقی منطقه، نزدیک رودخانه کن از ۱/۰۷ بیش تر است. در نتیجه احتمال آسیب پذیری می تواند در آن منطقه بالا باشد. دست خوردگی حوضه آب ریز، ساخت پل های ساخته شده غیر استاندارد در مسیر می تواند باعث بیرون زدگی سیل از بستر رودخانه شود، هم چنین ممکن است ساخت و سازهای غیر مجاز و بی رویه در حریم رودخانه های کن و وردآورد باعث تجمع آب و رها سازی یکباره آن در منطقه شود و با وجود این که خاک منطقه از نفوذ پذیری خوبی برخوردار است و پوشش گیاهی به میزان مناسب می باشد. ولی احتمال دارد که بر اثر خشک-سالی های اخیر خاک نفوذ پذیری خود را از دست داده باشد و نتواند حجم زیادی از آب را در خود نگه دارد. بنابراین اگر ساخت و سازهای غیر مجاز، غیر استاندارد در بستر و حریم

این پژوهش به بررسی آسیب پذیری منطقه ۲۲ تهران در برابر سیل با استفاده از عملگرهای منطق فازی و وزن دهی براساس روش فرآیند سلسله مراتبی (AHP فازی) چانگ پرداخته است. نتایج نشان می دهد که عامل فاصله از رود با ۰/۲۶۰ و عامل جمعیت با ۰/۰۰۶ به ترتیب بیش ترین و کم ترین وزن های معیار را در تعیین آسیب پذیری دارند. مقادیر با ارزش یک دارای بالاترین ارزش، ایمن ترین سطح در منطقه و ارزش صفر دارای کم ترین ارزش و آسیب پذیر ترین سطح در منطقه می باشد. در نقشه ضرب جبری مشخص شد که میزان آسیب پذیری در شمال و شمال شرقی و غربی و نیز حریم رودخانه های کن و وردآورد نسبت به جنوب و نواحی مرکزی بیش تر است، اما در نقشه جمع جبری میزان آسیب پذیری فقط در شمال و شمال شرقی و غربی بیش تر است و نواحی مرکزی و جنوب منطقه به نسبت آسیب پذیری کم تری دارد. بنابراین برای تعدیل نقشه های به دست آمده از عملگرهای ضرب جبری و جمع جبری، از عملگرهای گاما ۰/۹، گاما ۰/۷ و گاما ۰/۵ استفاده شده است که نقشه عملگر گاما ۰/۷ به دلیل دستیابی به نتیجه مناسب تر نسبت به گاما ۰/۹ و گاما ۰/۵ به عنوان نقشه نهایی آسیب پذیری منطقه ۲۲ تهران در برابر سیل انتخاب گردید. در همین راستا قنوتی و همکاران (۱۳۹۱) در مقاله خود از سه عملگر فازی (SUM، PRODUCT، GAMMA) استفاده

7. Kourgialas, N. N., & Karatzas, G. P. (2011). Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas a case study. *Hydrological Sciences Journal–Journal des Sciences Hydrologiques*, 56(2), 212-225
8. Thieken, A. H., Müller, M., Kreibich, H., & Merz, B. (2005). Flood damage and influencing factors: New insights from the August 2002 flood in Germany. *Water resources research*, 41(12).
9. Van der Sande, C. J., De Jong, S. M., & De Roo, A. P. J. (2003). A segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment. *International Journal of applied earth observation and geoinformation*, 4(3), 217-229.
10. Martinez, J. M., & Le Toan, T. (2007). Mapping of flood dynamics and spatial distribution of vegetation in the Amazon floodplain using multitemporal SAR data. *Remote sensing of Environment*, 108(3), 209-223.
11. Srinivas, V. V., Tripathi, S., Rao, A. R., & Govindaraju, R. S. (2008). Regional flood frequency analysis by combining self-organizing feature map and fuzzy clustering. *Journal of Hydrology*, 348(1), 148-166.
12. Chen, J., Zhao, S., & Wang, H. (2011). Risk analysis of flood disaster based on fuzzy clustering method. *Energy Procedia*, 5, 1915-1919.
13. Saffari, A., Sasanpour, F., and Musavand, J., 2011. Assessing the vulnerability of urban areas to flood risk using GIS and fuzzy logic, Case study: District 3 of Tehran. *Journal of*

رودخانه و هم‌چنین افزایش جمعیت در منطقه ادامه یابد می‌توان نتیجه گرفت احتمال آسیب‌پذیری در برابر سیل در منطقه ۲۲ تهران می‌تواند زیاد باشد.

Reference

1. Green, C. H. (2002). Flood management from the perspective of integrated water resource management. In 2nd International Symposium on Flood Control, Beijing.
2. Ouma, Y. O., & Tateishi, R. (2014). Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: Methodological overview and case study assessment. *Water*, 6(6), 1515-1545.
3. Salehi, E., Rafie, Y., Farzad Behtash, M., and Aqababai, M., 2013. Urban flood risk zoning using GIS and Fuzzy Hierarchical Analysis Process, Case Study: Tehran. *Journal of Environmental Studies*. Vol. 39, No. 3. (In Persian)
4. Kaźmierczak, A., & Cavan, G. (2011). Surface water flooding risk to urban communities: Analysis of vulnerability, hazard and exposure. *Landscape and Urban Planning*, 103(2), 185-197.
5. Jiang, W., Deng, L., Chen, L., Wu, J., & Li, J. (2009). Risk assessment and validation of flood disaster based on fuzzy mathematics. *Progress in Natural Science*, 19(10), 1419-1425
6. Kubal, C., Haase, D., Meyer, V., & Scheuer, S. (2009). Integrated urban flood risk assessment—adapting a multicriteria approach to a city. *Natural Hazards and Earth System Science*, 9(6), 1881-1895.

- Tehran, Faculty of Environment, 2007, pp. 45-44. (In Persian)
16. Asgharpour, Mohammad Javad, Multi-Criteria Decisions, Sixth Edition, University of Tehran Publishers, 2008, page 350. (In Persian)
 17. Habibi, Arash, Ezadyar, Sedigheh and Sarafrazi, Azam, Fuzzy multi-criteria decision making, First Edition, Katebeh Gil Publications, 2014, pp. 75-73. (In Persian)
 18. Eastman, J. R. (2012). IDRISI Selva manual. Clark University. Sitio web: www.Clarklabs.org.
 14. Qanavati, E., Karam, A., and Agha Alikhani, M., 2012. Flood risk zonation in the farahzad basin (Tehran) using Fuzzy model. Journal of Geography and Environmental Planning. Consecutive 48, No. 4. (In Persian)
 15. Navard. Elham. Presenting Management Solutions for Waste Separation Plan with Emphasis on Education and Public Participation, A Case Study of District 22 of Tehran Municipality, Master Thesis in Environmental Planning, University of Applied Research Geographical Sciences. Vol. 11, No.20. (In Persian)