

ارزیابی آسیب‌پذیری 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

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 وزن‌دهی 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.

واژه‌های کلیدی: سیل، آسیب‌پذیری، منطق‌فازی، منطقه ۲۲ تهران

^۱دانش‌جوی کارشناسی ارشد آموزش محیط زیست، دانش‌گاه تهران* (مسوول مکاتبات)

^۲استادیار دانش‌کده محیط زیست، دانش‌گاه تهران

^۳دانش‌جوی کارشناسی ارشد آموزش محیط زیست، دانش‌گاه تهران

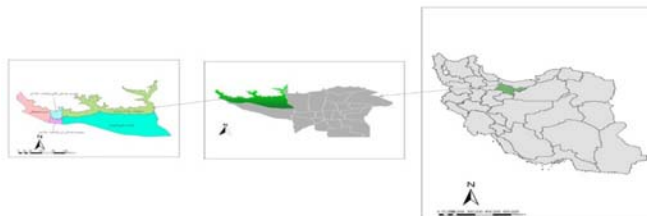
سیل یکی از بلایای طبیعی است که خسارات وارد شده آن به انسان نسبت به سایر بلایا مانند خشکسالی و قحطی بیش تر می باشد (۱). سیل در میان مخاطرات طبیعی در محدوده‌ی زمانی، شاخص ترین ویران گر می باشد که علاوه بر تأثیر بر زندگی انسان، باعث آسیب های شدید اقتصادی در سراسر جهان می شود (۲). به طور کلی در دهه های اخیر، شهرنشینی در حاشیه رودخانه ها خسارت هایی 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 سیلاب های شهری به عنوان یکی از مهم ترین مسایل در حوزه شهر به حساب می آید، حفظ محیط زیست شهری از اهمیت به سزایی برخوردار است. شدت سنگین بارش های باران در فصل بهار باعث به وجود آمدن سیلاب هایی در ایران می شود و نگرانی هایی را به جای خوشحالی برای مردم به وجود می آورد (۳). این قابل درک است که خطرات سیل در آینده فروکش نمی کند و با شروع تغییرات آب و هوایی شدت آن بسیاری از مناطق جهان را مورد تهدید قرار می دهد (۲). آب و هوا بر بسیاری از جنبه های زندگی انسان موثر است (۴). سیل به علت تجمع سریع و انتشار آب روان آب رودخانه از بالادست به پایین دست اتفاق می افتد که توسط بارش بسیار سنگین به وجود می آید. وقوع سیل نگرانی هایی را در علم هیدرولوژی و مخاطرات طبیعی به وجود آورده و با توجه به رتبه بندی بالایی که در میان بلایای طبیعی دارد تعداد زیادی از مردم را در سراسر جهان نسبت به مرگ و میر تحت تاثیر قرار می دهد (۲). سیل در میان جهان یکی از شایع ترین مخاطرات طبیعی است که اغلب در اطراف رودخانه ها و دشت ها رخ می دهد که در معرض خطر بیش تری از این مناطق می باشد. 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 می شود. تعدد، پیچیدگی، عدم قطعیت، عدم دقت و تنوع روش های ارزیابی است که ارزیابی خطر سیل را که یک مشکل در سراسر جهان می باشد، در زمینه علوم طبیعی و تکنولوژی فراهم می نماید (۵). در مناطق شهری ارزیابی خطر سیل هنوز چالش برانگیز است، زیرا در مناطق روستایی بیش تر به صورت چندوجهی است. تجزیه و تحلیل خطر سیل معمولاً در ترکیب اثرات اجتماعی و محیط زیستی مشترکاً انجام نمی شود، اما منحصراً در ارزیابی خسارت های اقتصادی از نظر مالی قابل اندازه گیری است (۶). استراتژی مدیریت سیل شامل اقدامات پیش از سیل، اقدامات حین وقوع سیل، اقدامات پس از سیل. اقدامات پیش از سیل زیر ساخت های طبیعی و ساختارهای اجتماعی را برای مدیریت خطر سیل فراهم می کند. استراتژی برای پیش گیری مدیریت سیل شامل اقدامات فنی و کنترل مدیریت سیل (سدهای کوچک و پروژه هایی برای حفظ و ثبات بانک رودخانه) است که به اقدامات نظارتی برای استفاده از زمین، برنامه ریزی از شهرک و اقدامات اقتصادی می انجامد (۷). خسارت سیل را می توان 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 می باشد و خسارت غیر مستقیم توسط یک سیل ناشی از فضا یا زمان خارج از رویداد واقعی روی می دهد که شامل اختلال در ترافیک، تجارت یا خدمات عمومی می باشد. معمولاً هر دو نوع زیان بیش تر به آسیب محسوس و یا نامحسوس طبقه بندی می شوند، بسته به این که آیا آن ها را می توان 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 پاسخ های بیرونی، در یک وضعیت سیل تحت تاثیر قرار می گیرد (۸). مطالعات داخلی و خارجی بسیاری در ارتباط با سیلاب و زمینه های مختلف مرتبط با آن صورت گرفته است، از جمله می توان به کارهای صورت گرفته به وسیله ی وندرسون و همکاران اشاره کرد که تصویر ماهواره ای آیکونوس را در بخش های جنوبی هلند جهت برآورد خطر و خسارت سیلاب با استفاده از مدل LISFLOOD طبقه بندی نمودند. در نهایت خسارات ناشی از سیلاب را با توجه به عمق و حجم سیلاب در ارتباط با هر طبقه پوشش زمین تعیین نمودند (۹). حرکت سیلاب ها در حوضه آمازون توسط مارتینز و همکاران مورد بررسی قرار گرفته است. آن ها تاثیر حرکت سیلاب ها بر روی توزیع پوشش گیاهی را بر اساس مدت زمان سیلاب با کمک تصاویر ماهواره ای تعیین کرده اند (۱۰). سیرینیوس و همکاران جهت تحلیل تناوب سیلاب منطقه ای روشی مرکب از نقشه عوارض خود سازمان یافته و الگوریتم c-mean خوشه بندی فازی را به کار برده و کارایی این روش را در حوضه های آب خیز ایالات ایندیانا در آمریکا مورد بررسی قرار داده اند که نتایج نشان داده است این روش با روش های مبتنی بر تحلیل رگرسیونی و هم بستگی چندمتغیره قابل مقایسه است (۱۱). چن و همکاران روش تحلیل خوشه ای فازی و شاخص های مساحت تحت تاثیر قرار گرفته، تعداد تلفات جانی، تعداد خانه های ویران شده و میزان خسارت اقتصادی مستقیم را در طبقه بندی خطر سیلاب در ۳۰ استان چین به کار بردند و به این نتیجه رسیدند که روش تحلیل خوشه فازی روشی مناسب برای طبقه بندی 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 داده های 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 " در شهر نور استان مازندران پرداخته و به این نتیجه رسیده است که مدیریت سیلاب‌های شهری بدون ساختار یکپارچه از داده‌های مکانی امکان پذیر نیست. ساعد (۱۳۷۸) در پایان‌نامه خود به پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی در شهر سنندج 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 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 هر یک 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). قنوتی 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 پلانی‌متریک، 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 پیش بینی و ارزیابی ریسک سیل پرداخته‌اند (۵). بر این اساس هدف از این پژوهش 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 " ۵۱° ۱۰' ۵۱" تا " ۵۱° ۲۰' ۴۰" و عرض‌های شمالی " ۳۵° ۳۲' ۱۶" تا " ۳۵° ۵۷' ۱۹" در قسمت شمال غربی شهر تهران و در پایین‌دست حوضه آبریز رودخانه‌کن و وردیج واقع شده است. این منطقه در شمال با کوهستان البرز مرکزی، در شرق با حریم رودخانه‌کن، در جنوب با آزاد راه تهران- کرج و در غرب با محدوده جنگل‌های دست‌کاشت 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 رودخانه‌کن از شمال به جنوب جریان دارد، رودخانه وردآورد نیز در امتداد شمالی جنوبی و به موازات رودخانه‌کن در جریان است و در قسمت شمالی در غرب منطقه می‌باشد، فاصله متوسط این دو رودخانه از یک‌دیگر در حدود ۱۰ کیلومتر است (۱۵).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
Fig 1 - The Location of study area

روش تحقیق

معیارهای مربوط به آسیب پذیری

بر این اساس در ارتباط با ارزیابی آسیب پذیری مناطق شهری در برابر خطر سیل، هفت معیار فاصله از رود، شیب، خاک، کاربری اراضی، زمین شناسی، 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 آسیب پذیری مناطق شهری در برابر سیل در زیرآورده شده است. معیارهای مؤثر جهت ارزیابی آسیب پذیری 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 آسیب پذیری 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 آسیب پذیری کاهش می‌یابد.

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 کم‌تر و بیش‌تر 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 بیش‌تر و آسیب پذیری کم‌تری خواهد داشت.

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 بیش‌تر ناشی از سیل هستند و جمعیت با آسیب پذیری رابطه مستقیم دارد، پس با کاهش درصد تراکم جمعیت آسیب پذیری کم می‌شود.

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

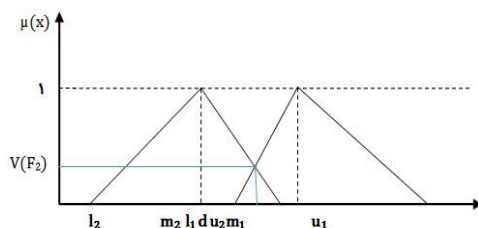
Table 1- The used criteria to assess the vulnerability of urban areas

| 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 |

منطق فازی

در این پژوهش هدف ارزیابی آسیب‌پذیری 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 برنامه‌ریزی شهری و شهرسازی را فرا گرفته است. در تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره، تئوری فازی به عنوان معمول‌ترین روش در بررسی عدم قطعیت‌ها شناخته شده می‌باشد (۱۶). در این نظریه اگر یک مجموعه را در نظر بگیریم، هر عضو 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 وزن‌دهی توسعه یافته چانگ

در سال ۱۹۹۲ روشی با عنوان روش تحلیل توسعه‌ای توسط چانگ ارائه 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 این که 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).



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

$$(F_1 \geq F_2) = \begin{cases} 1 & \text{if } (m_1 \geq m_2) \\ \frac{l_1 - l_2}{(m_1 - l_2) - (m_2 - l_2)} & \text{if } (m_1 \leq m_2) \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

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

$$(F_2 \geq F_1) = \begin{cases} 1 & \text{if } (m_2 \geq m_1) \\ \frac{l_2 - l_1}{(m_2 - l_1) - (m_1 - l_1)} & \text{if } (m_2 \leq m_1) \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

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 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

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

این عمل‌گر به صورت رابطه زیر تعریف می‌گردد:

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

ج- عمل‌گر SUM

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

این عمل‌گر به صورت رابطه زیر تعریف می‌گردد.

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 افزایش‌دهنده دارد.

د- عمل‌گر PRODUCT

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

این عمل‌گر به صورت رابطه زیر تعریف می‌گردد:

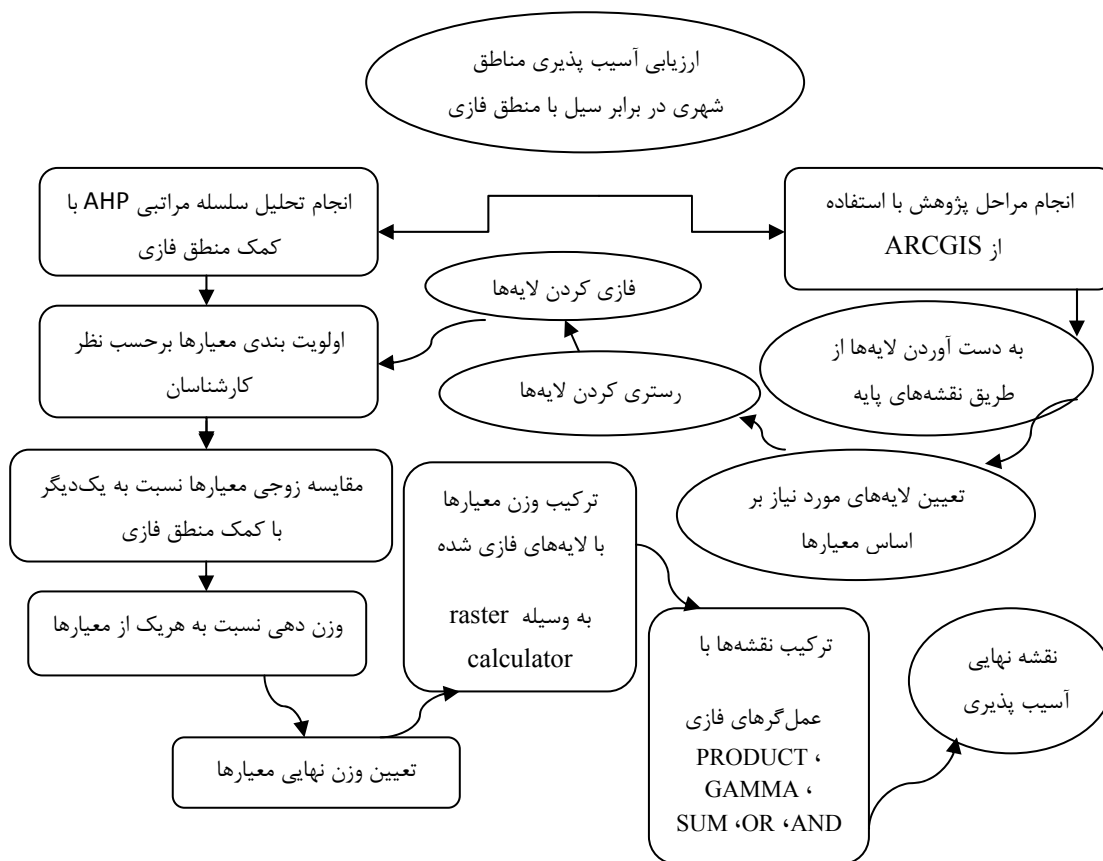
در این روش n فاکتور کنترل‌کننده فازی‌سازی ترکیب می‌شوند و W_i بیان‌گر وزن لایه i ام می‌باشد. مقادیر عضویت فازی با این عمل‌گر به مقداری بسیار کوچک میل می‌کنند، به عبارت دیگر مقدار خروجی هر موقعیت همواره کوچک‌تر یا مساوی کوچک‌ترین مقدار عضویت فازی در موقعیت‌های متناظر نقشه‌های ورودی می‌باشد. بنابراین عمل‌گر فوق اثر کاهش‌دهنده دارد. در این روش برخلاف فازی AND و OR کلیه مقدارهای 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:

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

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 صورتی که بخواهیم روش ضرب جبری (PRODUCT) بیش‌تر 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).

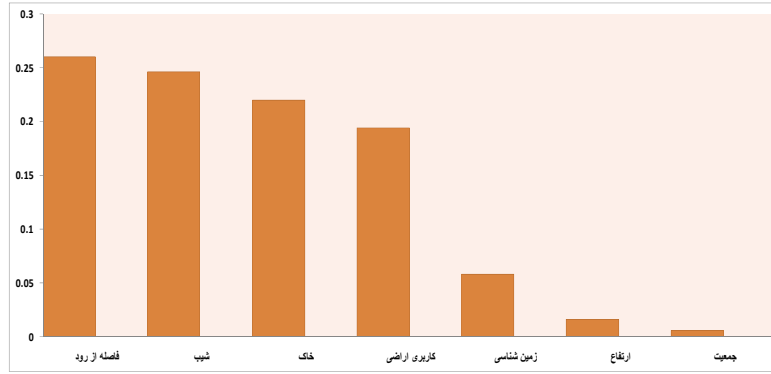


شکل ۲- فلوجارت روش تحقیق

Fig 2 - The flow chart of research method

یافته‌ها

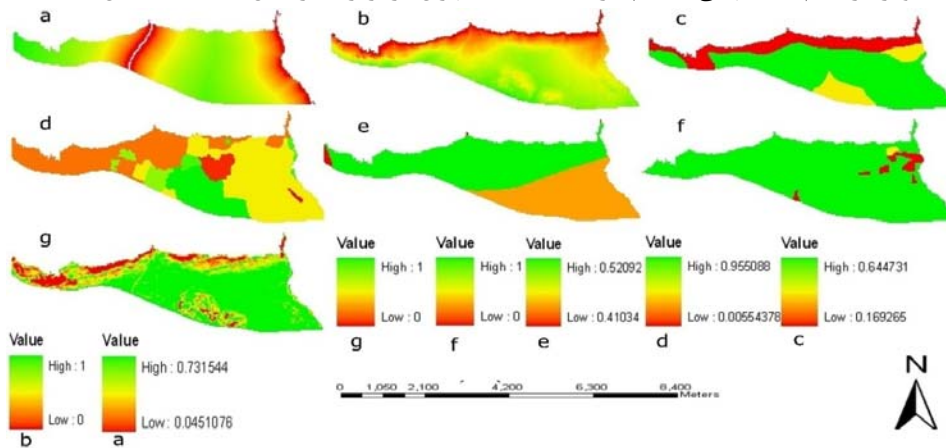
معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری که شامل فاصله از رود، شیب، خاک، کاربری‌اراضی، زمین‌شناسی، ارتفاع و جمعیت می‌باشد جهت تعیین وزن نهایی، اولویت‌بندی و ارجحیت آن‌ها بر اساس مقایسه دو به دو معیارها مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۳- وزن معیارهای مؤثر در آسیب پذیری ناشی از سیل
Fig 3 - The weights of criteria affecting the vulnerability of flood

وزن‌های نهایی به عنوان میزان تأثیرگذاری هر معیار در تعیین آسیب‌پذیری مورد استفاده قرار گرفتند. به عبارتی وزن‌های معیارهای به دست آمده نشان می‌دهد که عامل فاصله از رود با ۰/۲۶ و عامل جمعیت با ۰/۰۰۶ به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین وزن‌های معیار را در تعیین آسیب‌پذیری دارند (شکل ۳). معیارهای مربوط به آسیب‌پذیری بر اساس تابع عضویت هر یک از لایه‌ها در محیط ARCGIS با توجه به نوع رابطه‌ای که هر معیار با پدیده سیل دارد فازی شدند (شکل ۴).

بنابراین هر کدام از لایه‌های فازی شده معیارها به صورت جداگانه با وزن نهایی خود ترکیب شدند و نقشه‌هایی از آن‌ها به دست آمد. سپس تمام نقشه‌های تولید شده از ترکیب وزن معیارها با لایه‌های فازی شده با عمل‌گرهای فازی (AND, OR, SUM, GAMMA, PRODUCT) ترکیب شدند و از هر کدام نقشه نهایی آسیب‌پذیری منطقه ۲۲ تهران در برابر خطر سیل ایجاد شد (شکل ۶).



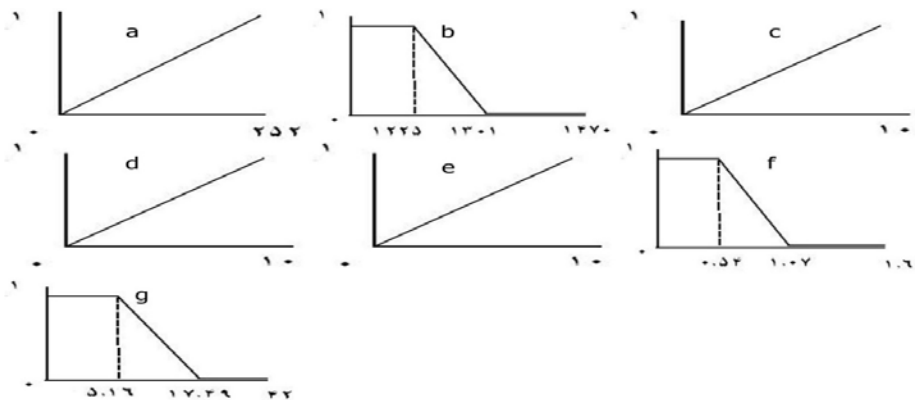
شکل ۴- لایه‌های فازی شده

(a) فاصله از رود، (b) ارتفاع، (c) زمین‌شناسی، (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

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



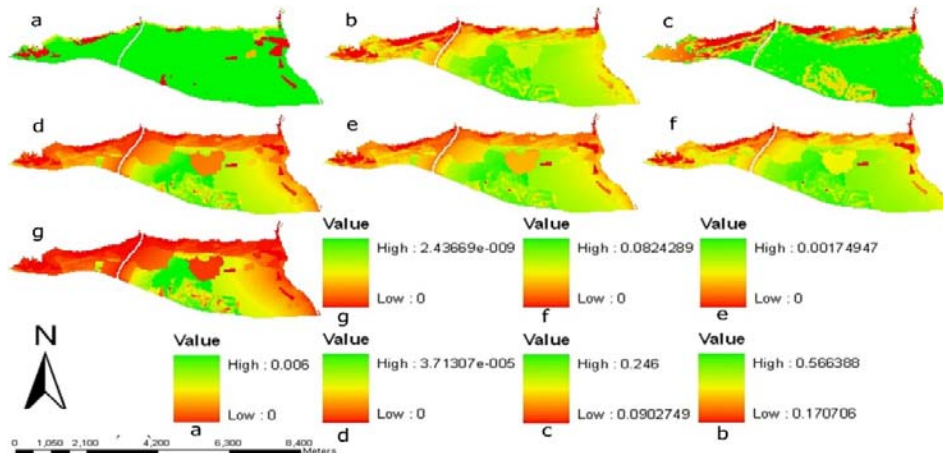
شکل ۵- روابط معیارها با سیل

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

Fig 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

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، گاما ۰/۷ و 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).



شکل ۶- ترکیب لایه‌ها با عملگرهای فازی

Fig 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)

^۱-Product
^۲-Sum
^۳-Gamma

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش به بررسی آسیب‌پذیری منطقه ۲۲ تهران در برابر سیل با استفاده از عمل‌گرهای منطق فازی و وزن‌دهی براساس روش فرآیند سلسله مراتبی (AHP فازی) چانگ پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که عامل فاصله از رود با ۰/۲۶۰ و عامل جمعیت با ۰/۰۰۶ به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین وزن‌های معیار را در تعیین آسیب‌پذیری دارند. مقادیر با ارزش یک دارای بالاترین ارزش، ایمن‌ترین سطح در منطقه و ارزش صفر دارای کم‌ترین ارزش و آسیب‌پذیرترین سطح در منطقه می‌باشد. در نقشه ضرب جبری مشخص شد که میزان آسیب‌پذیری در شمال و شمال شرقی و غربی و نیز حریم رودخانه‌های کن و وردآورد نسبت به جنوب و نواحی مرکزی بیش‌تر است، اما در نقشه جمع جبری میزان آسیب‌پذیری فقط در شمال و شمال شرقی و غربی بیش‌تر است و نواحی مرکزی و جنوب منطقه به نسبت آسیب‌پذیری کم‌تری دارد. بنابراین 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 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. در همین راستا قنواتی و همکاران (۱۳۹۱) در مقاله خود از سه عمل‌گر فازی (SUM، PRODUCT، GAMMA) استفاده کرده‌اند اما در مقاله حاضر از تمام عمل‌گرهای فازی برای رسیدن به نتیجه مطلوب‌تر استفاده شده است. از سوی دیگر صالحی و همکاران (۱۳۹۲) روش وزن‌دهی AHP فازی (باکلی) را جهت دست‌یابی به وزن معیارها در پژوهش خود به کار برده‌اند. لیکن مقاله حاضر از روش وزن‌دهی AHP فازی (چانگ) برای وزن‌دهی معیارها بهره گرفته است، به این دلیل که این روش مفهوم درجه امکان‌پذیری و یا درجه احتمال بزرگ‌تر بودن را بیان می‌کند.

با توجه به نقشه پایه لایه جمعیت، درصد تراکم جمعیت در شمال شرقی منطقه، نزدیک رودخانه‌کن از ۱/۰۷ بیش‌تر است در نتیجه احتمال آسیب‌پذیری می‌تواند در آن منطقه بالا باشد. دست‌خوردگی حوضه آبریز، ساخت پل‌های ساخته شده غیر استاندارد در مسیر می‌تواند باعث بیرون زدگی سیل از بستر رودخانه شود، همچنین ممکن است ساخت و سازهای غیر مجاز و بی رویه در حریم رودخانه‌های کن و وردآورد باعث تجمع آب و رها سازی یک‌باره آن در منطقه شود و با وجود این که خاک منطقه از نفوذپذیری خوبی برخوردار است و پوشش گیاهی به میزان مناسب می‌باشد. ولی احتمال دارد که بر اثر خشک‌سالی‌های اخیر خاک نفوذپذیری 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 رودخانه و همچنین افزایش جمعیت در منطقه ادامه یابد می‌توان نتیجه گرفت احتمال آسیب‌پذیری در برابر سیل در منطقه ۲۲ تهران می‌تواند زیاد باشد.

منابع

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.
۳. صالحی، اسماعیل و همکاران، ۱۳۹۲، پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از GIS و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی، مطالعه موردی: تهران، مجله محیط‌شناسی، دوره ۳۹، شماره ۳، صص ۱۷۹-۱۸۸
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.
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 . Thielen, 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.
۱۳. صفاری، امیر و همکاران، ۱۳۹۰، ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر خطر سیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی، مطالعه موردی: منطقه ۳ تهران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۷، شماره ۲۰، صص ۱۵۰-۱۲۹
۱۴. قنواتی، عزت‌الله و همکاران، ۱۳۹۱، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر رخداد سیلاب در حوضه فرحزاد (تهران) با استفاده از مدل فازی، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، پیاپی ۴۸، شماره ۴، صص ۱۳۸-۱۲۱
۱۵. نورد، الهام، ۱۳۸۶، ارزیابی راه‌کارهای مدیریتی طرح تفکیک از مبدا زباله با تاکید بر آموزش و مشارکت مردمی، مطالعه موردی منطقه ۲۲ شهرداری تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانش‌گاه تهران، دانش‌کده محیط زیست، صص ۴۵-۴۴
۱۶. اصغر پور، محمد جواد، ۱۳۸۷، تصمیم‌گیری‌های چند معیاره، چاپ ششم، انتشارات دانش‌گاه تهران، صفحه ۳۵۰
۱۷. حبیبی، آرش، ایزدیار، صدیقه و سرافرازی، اعظم، ۱۳۹۳، تصمیم‌گیری چند معیاره فازی، انتشارات کتیبه گیل، صص ۷۵-۷۳
- 18 . Eastman, J. R. (2012). *IDRISI Selva manual*. Clark University. Sitio web: www.clarklabs.org.

Vulnerability Assessment in Urban Areas against Flood with Fuzzy Logic

(case study: Tehran District 22)

Elham Esmaeili Alavijeh¹ (Corresponding Author)

e.esmaeili@ut.ac.ir

Saeid Karimi²

Fatemehsadat Alavipoor³

ABSTRACT

Background and Purpose: 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.

Analysis 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 Conclusions: 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.

Key words: Flood, Vulnerability, Fuzzy Logic, Tehran District 22

^{*1} M.Sc student of Environment Education, University of Tehran (Corresponding Author)

² Assistant professor of faculty of Environment, University of Tehran

³ M.Sc. student of Environment Education, University of Tehran