

فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال ۱۰، شماره پیاپی ۳۴، تابستان ۱۳۹۸

شاپای چاپی: ۶۷۳۵-۲۲۵۱ - شاپای الکترونیکی: ۷۰۵۱-۲۴۲۳

<http://jzpm.miau.ac.ir>

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شبکه فاضلاب شهری در مقابل مخاطرات طبیعی (مطالعه موردی: منطقه یک آبفا شهر تهران)

رعنا نوروزی^۱: کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی و ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
منیژه قهرودی تالی: استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۲۰

صص ۱۶۲-۱۴۹

دریافت: ۱۳۹۶/۱/۲۵

چکیده

مراکز شهری بعلا تراکم جمعیتی و به تناسب آن تراکم تأسیسات آبرسانی و گستردگی شبکه جمع‌آوری و دفع فاضلاب، برای مقابله با اثرات رویدادهای طبیعی خصوصاً سیل نیازمند مراقبت‌ها، مقاوم‌سازی‌ها و تمهیدات خاص خود می‌باشند. منطقه یک آبفا تهران شمالی‌ترین منطقه تهران به شمار می‌رود. این در حالیست که مهم‌ترین رودخانه‌هایی که سکونتگاه‌های شهر تهران و شریان‌های حیاتی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهند و همواره یک عامل خطر ساز از نظر سیلاب محسوب می‌شوند، رودخانه‌های شمال تهران می‌باشند، این رودخانه‌ها علی‌رغم میانگین دبی کم، از جریان‌ات سیلابی نسبتاً بالایی برخوردار هستند که می‌تواند عامل ایجاد سیلاب‌های شدید در مناطق پایین‌دست گردند. روش تحقیق بر پایه روش توصیفی-تحلیلی و با انجام مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی صورت گرفت. در مراحل تحقیق، ابتدا زیرمعیارهای مؤثر بر آسیب‌پذیری منطقه تحقیق، تعریف شده و به روش AHP-FUZZY وزن دهی شدند و در نتیجه میزان تأثیر هر کدام بر آسیب‌پذیری شاخص‌های موردنظر مشخص شده و با به کارگیری مدل TOPSIS توزیع شدند. مدل‌سازی رواناب با استفاده از حداکثر بارش روزانه ایستگاه‌های هواشناسی تهران می‌باشد که جهت برآورد ارتفاع رواناب گستره مورد مطالعه از روش Arc CN-Runoff استفاده شد. نتایجی که در این پژوهش بدست آمد، روشن ساختند که منطقه یک تهران نسبت به چهار منطقه دیگر آب و فاضلاب تهران با توجه به تجمع بالای تأسیسات با ارزش اقتصادی بالا (لوله فاضلاب و منهول)، تجمع بالای مراکز خطر (ایستگاه گاز و خطوط انتقال نیرو)، بافت فرسوده، شیب و تراکم جمعیت بالا، شرایط تأسیسات (از لحاظ قطر و عمق کارگزاری) مخصوصاً با توجه به اولویت شاخص هیدرولوژی و وجود چاه‌ها مخصوصاً مسیل‌های شمال تهران (درکه، دربند، ولنجک، مقصودییک، جمشیدییه، دارآباد و لارک) که مانعی جهت جاگذاری تأسیسات به صورت مدفون و در عمق زیاد جهت محافظت و امنیت بیشتر می‌باشند و متغیرهای دیگر ریسک قابل‌توجهی دارد که هیچ‌گونه تمهیداتی برای دفع فاضلاب در شرایط بحرانی در کل منطقه یک آبفا حاصل نشده است و از این جهت زنگ خطری برای مسئولان و برنامه‌ریزان بلایای طبیعی است.

واژه‌های کلیدی: سیل، شبکه فاضلاب، منطقه یک آبفا، TOPSIS، FUZZY_AHP.

^۱ . نویسنده مسئول: ra.norouzi@yahoo.com، ۰۹۳۹۳۹۲۵۷۳۷.

مقدمه:

شبکه جمع‌آوری فاضلاب، به دلایل امنیتی و محیط زیستی از مهم‌ترین شریان‌های حیاتی به شمار می‌آید. این شبکه به موجب پراکندگی و قرارگیری در سطح وسیعی از گستره زمین، در هنگام سیل در معرض آسیب‌های متعدد قرار می‌گیرند (رهگذر و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۲). مشکلات موجود در این شبکه‌ها زمانی بروز می‌کند که خطرات طبیعی و غیرطبیعی در سیستم رخ دهد و این شرایط با توجه به آسیب‌پذیر بودن سیستم می‌تواند خسارات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی فراوانی را موجب شود. علل اهمیت شریان‌های حیاتی، سه ویژگی مهم شامل گستردگی زیاد، وابستگی عملکرد آن‌ها به یکدیگر و تشدید آسیب‌دیدگی به علت اثر متقابل آن‌ها با سازه‌های دیگر است (حسن‌نیا، ۱۳۹۰: ۴۴) این در حالیست که عملکرد سازه‌های مدفون با سازه‌های غیرمدفون تحت سیل متفاوت است و بررسی آسیب‌پذیری سیل شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب به جهت حفظ بهداشت و نظافت عمومی از ملزومات همیشگی تأمین سلامت جامعه حتی پس از سیل‌ها و زلزله‌های مخرب است، آسیب‌پذیری شبکه جمع‌آوری فاضلاب تحت سیل، امکان آسیب‌های ثانویه‌ای همچون آلودگی محیط زیست و شیوع بیماری‌های عفونی ناشی از نشست و پس زدن فاضلاب از لوله‌ها و آدم‌روهای شبکه فاضلاب و تبدیل شدن آن به یک فاجعه زیست‌محیطی را فراهم کند (زارع و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۴) به دلیل نقش بسزایی که خطوط لوله مدفون در چرخه اقتصادی کشور ایفا می‌کند، اهمیت پرداختن به مسئله آسیب‌پذیری شبکه فاضلاب در مقابل سیلاب‌های شهری را بیش از پیش نمایان می‌کند و همچنین مهم‌ترین سؤالاتی که در این پژوهش پاسخ داده می‌شود، این است که: عوامل اصلی آسیب‌پذیری شبکه آب و فاضلاب چیست؟ کدام منطقه آسیب‌پذیری بیش تری را متحمل می‌شود؟

پیشینه تحقیق:

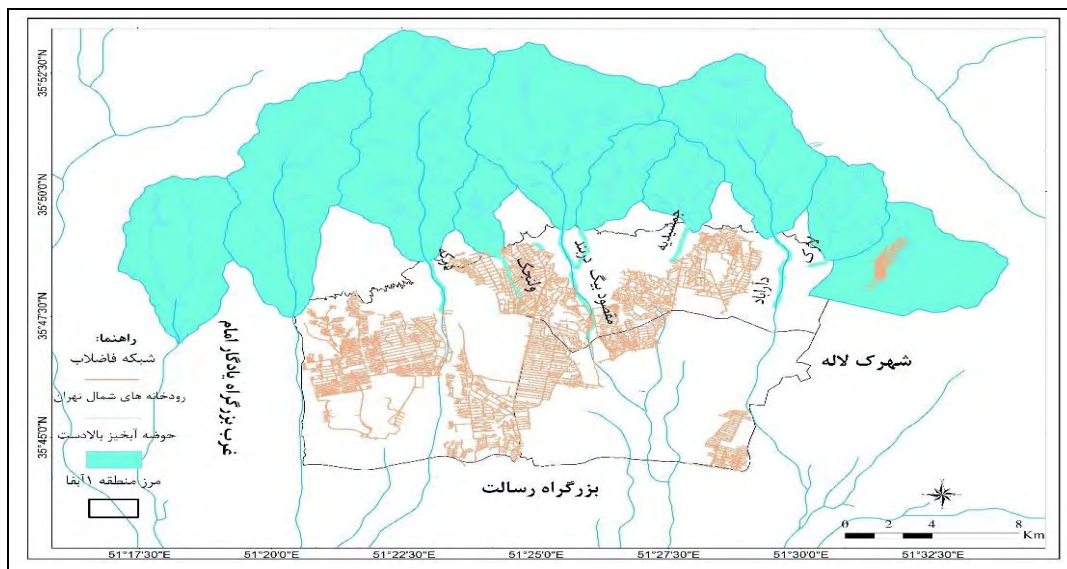
با توجه به اینکه تاکنون در راستای موضوع مورد پژوهش کاری انجام نشده ولی در خصوص صدمات ناشی از سیلاب در شهرهای بزرگ پژوهش‌های متعددی صورت گرفته برخی از پژوهش‌های اخیر به اولویت بندی و تعیین روابط بین متغیرها با آسیب‌پذیری از طریق تحلیل‌های کمی و مدل‌های مقایسه‌ای اختصاص دارد که در بیشتر موارد مقایسه‌ها براساس نظرات کارشناسی و تحلیل ماتریسی انجام شده است (قهرودی تالی و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۲). آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA) روش و تکنیک مورد نیاز برای تجزیه و تحلیل مسائل تصمیم‌گیری پیچیده‌را، که اغلب شامل داده‌ها و معیارهای غیر قابل مقایسه‌اند، فراهم می‌آورد. موفقیت سیستم اطلاعات جغرافیایی و MCDA در آنالیزهای خطرهای طبیعی (Rashed and Gamper, et al; 2006; weeks, 2003). و سایر مطالعات زیست‌محیطی (Dai, et al., 2001; Kolat, et al., 2006) قبلاً به اثبات رسیده است. از جمله‌ی این پژوهش‌ها: قهرودی و همکاران (۱۳۹۱) به ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در شهر تهران اشاره کرد که اولویت‌بندی و تعیین روابط بین این متغیرها با آسیب‌پذیری از طریق روش تحلیل سلسله‌مراتبی انجام گرفت و بر اساس نظرات کارشناسی، ماتریسی به ابعاد ۶×۶ جهت تعیین وزن معیار متغیرها برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری ایجاد شد. نتایج تحلیل زونی نیز مناطق ۱۰ و ۲۲ به ترتیب بیشتری و کمترین آسیب‌پذیری را در برابر سیلاب دارند. رادمهر و عراقی نژاد (۱۳۹۲) در تعیین مناطق آسیب‌پذیر از سیلاب در حوضه آبخیز شهری تهران از روش تصمیم‌گیری مکانی فازی با تکیه بر تحلیل‌های مکانی و به‌کارگیری در روش تصمیم‌گیری چند معیاره شامل فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و روش تاپسیس در محیط فازی به‌منظور در نظر گرفتن ابهامی در فرایند تصمیم‌گیری استفاده کردند که از روش تحلیل سلسله‌مراتبی برای تعیین ساختار فرایند تصمیم‌گیری و برآورد وزن نقشه‌های معیار و از مدل تاپسیس فازی برای رتبه‌بندی نهایی زیر حوضه‌های واقع در حوضه آبخیز شهری تهران استفاده شد، در نهایت نتایج تحلیل حساسیت حوضه‌ها با اولویت اول را از نظر مطالعات کنترل سیلاب نشان داد. عنبری و تابش (۱۳۹۲) به محاسبه میزان پیامد وقوع شکست در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب پرداختند در این مطالعه، میزان پیامدهای وقوع شکست با استفاده از عوامل مؤثر در هر یک از پیامدها محاسبه شده است. سپس با وزن دهی به هر یک از عوامل و به دست آوردن دسته بندی مربوط به آنها، فاضلاب‌روهای مختلف موجود در شبکه مورد ارزیابی قرار گرفته و بر اساس شدت پیامدها، دسته بندی شده‌اند. با ترکیب نتایج حاصل با احتمال وقوع هر یک از فاضلاب‌روها در برنامه تحلیل ریسک، می‌توان ریسک مربوط به هر فاضلاب‌رو را به دست آورده و با توجه به وجود محدودیت‌های

بودجه‌ای، روند صحیحی را در برنامه بهره برداری و نگهداری شبکه اتخاذ نمود. روزبهانی و همکاران (۱۳۹۲) به تحلیل ریسک کمیت و کیفیت شریان‌های حیاتی شهری با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها پرداختند در این تحقیق مدل تحلیل ریسک سلسله مراتبی فازی برای در نظر گرفتن پیچیدگی‌ها و عدم قطعیت‌های حاکم بر این سیستم‌ها ارائه شد. گام‌های مختلف این مدل عبارت از شناسایی اجزای سیستم، شناسایی خطرات، دریافت اطلاعات مربوط به خطرات مختلف شامل احتمال وقوع، شدت وقوع و آسیب پذیری هر بخش از سیستم تحت تأثیر وقوع این خطرات به صورت فازی، و نهایتاً ترکیب ریسک بخش‌های مختلف و محاسبه ریسک نهایی سیستم و بخش‌های مختلف آن است. صادقی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی اثر سیل‌های سال ۱۳۹۱ بر روی شریان‌های حیاتی از جمله سیستم‌های تأمین و توزیع آب پرداختند و به این نتیجه رسیدند که ایران یکی از کشورهای سیل‌خیز دنیا است شریان‌های حیاتی کشور مثل سیستم توزیع آب آشامیدنی و خطوط تأمین برق کشور از جمله تسهیلات آسیب‌پذیر در مقابل سیلاب هستند بنابراین در برنامه‌های توسعه‌ای آتی این شریان‌ها و نحوه مواجهه با سیل‌ها باید مدنظر قرار گیرد. تهذیبی و همکاران (۱۳۹۴) به ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه‌های انتقال آب با استفاده از روش خوشه بندی پرداختند که در نهایت نقشه بخش‌های آسیب‌پذیر شبکه تهیه و امکان ارائه‌ی راهکار مناسب برای کاهش پیامد‌های خرابی با توجه به آسیب اولیه فراهم شد. نوروزی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی به آسیب‌پذیری فاضلاب شهری در مقابل سیلاب شهر تهران با استفاده از مدل TOPSIS و FUZZY_AHP پرداختند که نتایج حاصل از تحقیق نشان داد، مسیل‌های شمال تهران به عنوان یکی از عوامل مهم در آسیب‌پذیری شریان‌های حیاتی این منطقه هستند. زینگ^۱ و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی و تعیین ریسک مخاطرات چندگانه با توجه به احتمالات پرداخته‌اند و در نهایت ریسک مخاطرات (دارایی و شبکه شریان) را به صورت کمی به دست آورده‌اند.

محدوده مورد مطالعه:

آب و فاضلاب منطقه یک تهران شامل پنج منطقه (۱،۲،۳،۴و۶) است که در موقعیت جغرافیایی ۳۲° ۲۰' تا ۵۱° ۱۶' ۳۲' طول شرقی و ۳۵° ۴۴' ۱۱' تا ۳۵° ۴۹' ۵۰' عرض شمالی در شمال تهران قرار گرفته است (مهندسین مشاور پارس آیند، ۱۳۹۳). محدوده عملیاتی منطقه یک آبفا تهران در حدود ۱۱۸/۵ کیلومترمربع می‌باشد که از شرق به بزرگراه امام علی (ع) و شهرک لاله، از غرب به بزرگراه یادگار امام و از جنوب به بزرگراه رسالت محدود می‌گردد و مجموعاً پنج منطقه شهرداری و ۱۰۹۰۰۰ مشترک را تحت پوشش دارد (مهندسین مشاور زمین تدبیر پدافند، ۱۳۹۳). نقشه محدوده خدمات‌رسانی آب و فاضلاب منطقه یک تهران در شکل (۱) نشان داده شده است که جمعیت ساکن ۱۶۵۹۰۰۰ نفر با ۳۶۰۰۰۰ واحد مسکونی است که میزان آب مصرفی منطقه در یک سال ۱۴۰ میلیون مترمکعب است و ۳ ناحیه از استان تهران را دربرمی‌گیرد و در راستای رودخانه‌های شمال تهران واقع شده هست که در هنگام وقوع رگبارهای شدید با توجه گسترش ساخت‌وساز شهری و افزایش سطوح با نفوذپذیری کم و یا غیرقابل نفوذ باعث کاهش نفوذ آب حاصل از بارش، افزایش رواناب، دبی‌های بزرگ‌تر، تغذیه کم‌تر آب‌های زیرزمینی و افزایش تغییرپذیری‌ها و سیلاب‌هایی را به دنبال دارد (نوروزی، ۱۳۹۵: ۶۵).

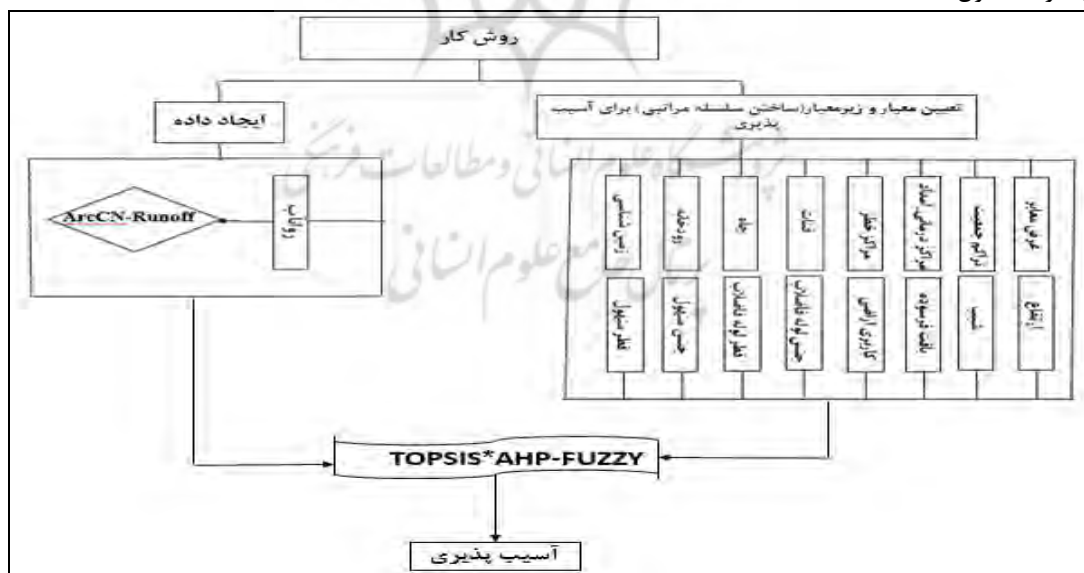
^۱ -Xing



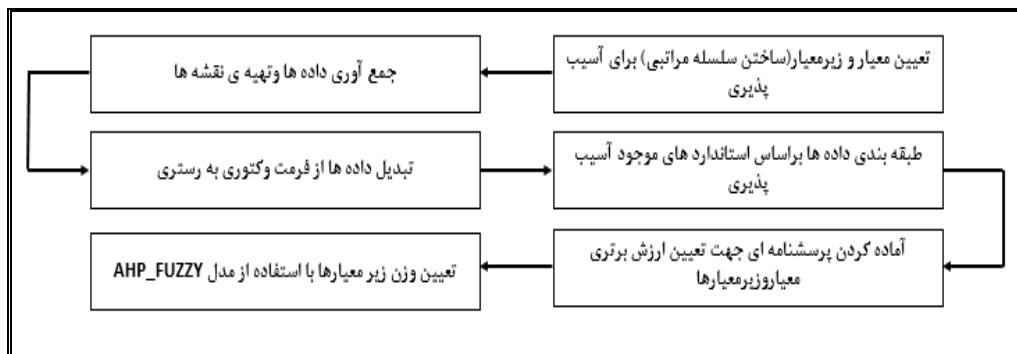
شکل ۱- نقشه محدوده خدمات‌رسانی فاضلاب منطقه ۱ آبفا و حوضه‌های بالادست- منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۵.

مواد و روش تحقیق:

روش پژوهش توصیفی-تحلیلی، با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی از طریق مدل ترکیبی FUZZY_AHP و TOPSIS پهنه‌بندی آسیب‌پذیری تأسیسات فاضلاب منطقه یک آب و فاضلاب کلان شهر تهران پرداخته شد. از نظر روش‌شناسی، پژوهش حاضر شامل چهار مرحله اصلی می‌شود. مرحله اول شامل تعیین زیرمعیارهای مؤثر بر آسیب‌پذیری شبکه فاضلاب منطقه ۱ آبفای شهر تهران می‌باشد (شکل ۲)؛ در ابتدا زیرمعیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب با استفاده از تهیه پرسشنامه و نظرات کارشناسان همسان‌سازی و اولویت‌بندی شدند و با استفاده از (جدول ۱) اعداد فازی مثلثی مقایسه و در مدل AHP-FUZZY وزن‌دهی شدند تا میزان تأثیر هر کدام بر متغیر هدف (آسیب‌پذیری شاخص فاضلاب) مشخص شود (جدول ۲).



شکل ۲- جریان شماتیک فرآیند انجام پژوهش و رسیدن به آسیب‌پذیری شبکه فاضلاب منطقه ۱ آبفای شهر تهران در مقابل سیلاب
منبع: مطالعه نویسنده، ۱۳۹۵.



شکل ۳- مراحل انجام کار برای آماده سازی لایه زیرمعیارها با استفاده از AHP-FUZZY- (منبع:مطالعه نویسندگان،۱۳۹۵).

جدول ۱- اعداد و مقیاس های فازی

مقیاس فازی معکوس	اهمیت زبانی	مقیاس فازی مثلثی
(۱،۰،۱)	اهمیت دقیقاً مساوی	(۱،۰،۱)
(۰/۶۶، ۱، ۲)	اهمیت تقریباً مساوی	(۳/۲، ۱، ۱/۲)
(۰/۵، ۰/۶۶، ۱)	کمی مهم تر	(۱، ۳/۲، ۲)
(۰/۴، ۰/۵، ۰/۶۶)	مهم تر	(۳/۵، ۲، ۲/۳)
(۰/۳۳، ۴، ۰/۵)	خیلی مهم تر	(۲، ۵/۲، ۳)
(۰/۲۹، ۰/۰، ۳۳/۴)	خیلی خیلی مهم تر	(۵/۳، ۳، ۷/۲)

منبع: رنگزن و همکاران، ۱۳۹۱.

جدول ۲- زیر معیارهای مؤثر در تهیه نقشه آسیب پذیری شبکه فاضلاب خطر سیلاب منطقه ی یک آبفای تهران

شاخص	زیر معیار فاضلاب	نزدیکی تا گزینه ایده آل
شاخص هیدرولوژی	فاصله از قنات	۰/۲۴
	فاصله از چاه	۱
	فاصله از مسیل	۰/۷۶
شاخص فیزیکی	ارتفاع	۰/۲۵
	شیب	۱
شاخص اقتصادی	زمین شناسی	۰/۵۸
	عرض معابر	۰/۵۲
	بافت فرسوده	۰/۹۰
شاخص اجتماعی- سلامت	کاربری اراضی	۰/۰۶
	تراکم جمعیت	۰/۶۲
	فاصله از مراکز خطر	۰/۹۴
شاخص شریانی حیاتی	فاصله از مراکز درمانی و امداد	۰/۲
	منهول	۰/۶۳
	لوله فاضلاب	۱

منبع: مطالعات میدانی نویسندگان، ۱۳۹۵.

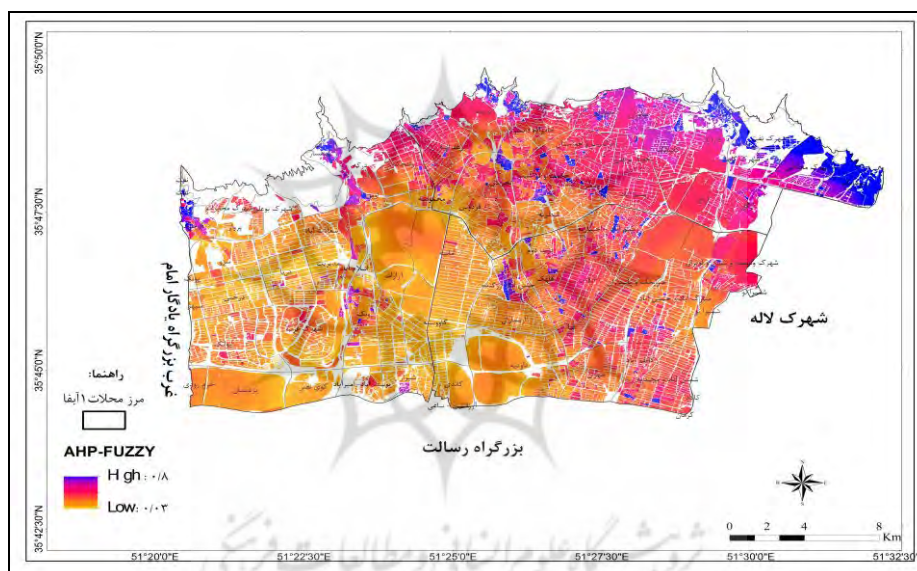
مرحله دوم شامل استفاده از لایه زیرمعیارهای تهیه شده برای تهیه پنج معیار فیزیکی، هیدرولوژی، اجتماعی- سلامت، اقتصادی و شریانی حیاتی است که این پنج معیار در قالب شاخص فاضلاب با هم ترکیب شدند؛ انجام این مرحله از پژوهش با بکارگیری مدل TOPSIS صورت گرفت. این روشها بر اساس تجزیه مسائل پیچیده به سلسله مراتب می باشد که در رأس آن

هدف کلی قرار دارد. با استفاده از این لایه نقشه میزان آسیب‌پذیری منطقه یک آبفای تهران نیز آماده می‌شود. (شکل ۴ تا ۸) نقشه معیارهای مؤثر در شاخص فاضلاب است که در (جدول ۳) وزن‌دهی معیارها نشان داده شده است. وزن معیار شاخص فاضلاب برای عامل فیزیکی ۰/۵۷، هیدرولوژی ۰/۷۱، اقتصادی ۰/۲۳، اجتماعی - سلامت ۰/۷۱ و شرایین حیاتی ۰/۰۵ محاسبه شده است؛ بنابراین عامل هیدرولوژی و اجتماعی - سلامت، فیزیکی، اقتصادی و شرایین حیاتی به ترتیب بیش‌ترین وزن را در تهیه نقشه آسیب‌پذیری شبکه فاضلاب دارد.

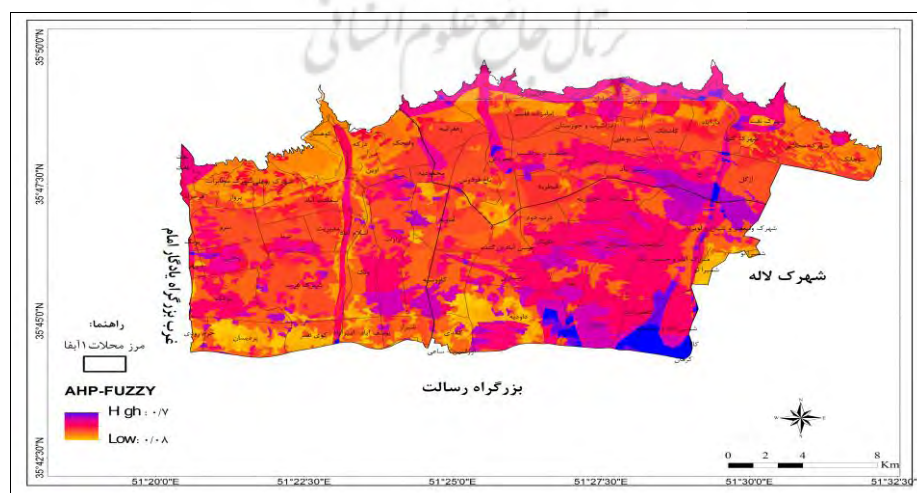
جدول ۳- وزن نسبی معیارهای مؤثر در تهیه نقشه آسیب‌پذیری خطر سیلاب با استفاده از مدل topsis

معیار	وزن نسبی
هیدرولوژی	۰/۷۱
فیزیکی	۰/۵۷
اقتصادی	۰/۲۳
اجتماعی - سلامت	۰/۷۱
شرایین‌های حیاتی	۰/۰۵

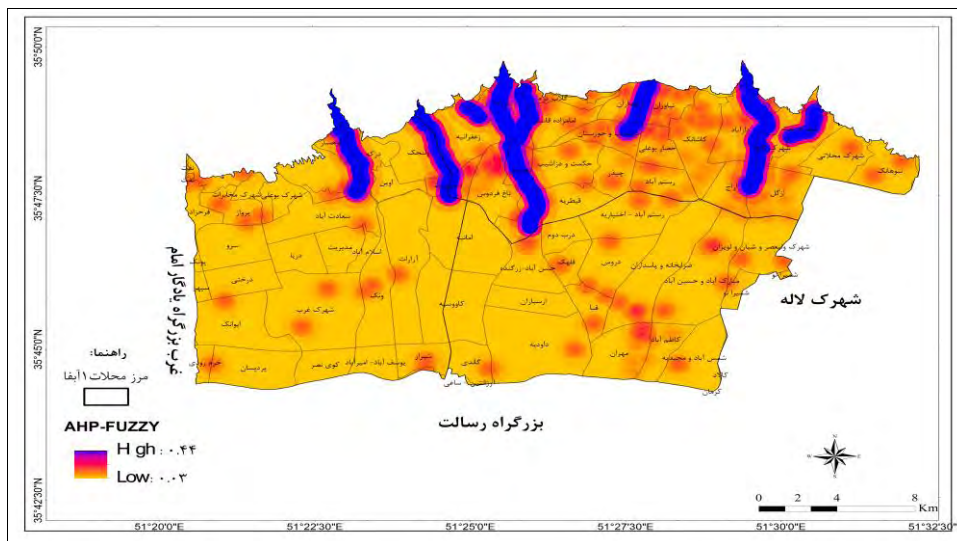
منبع: مطالعات میدانی، ۱۳۹۶.



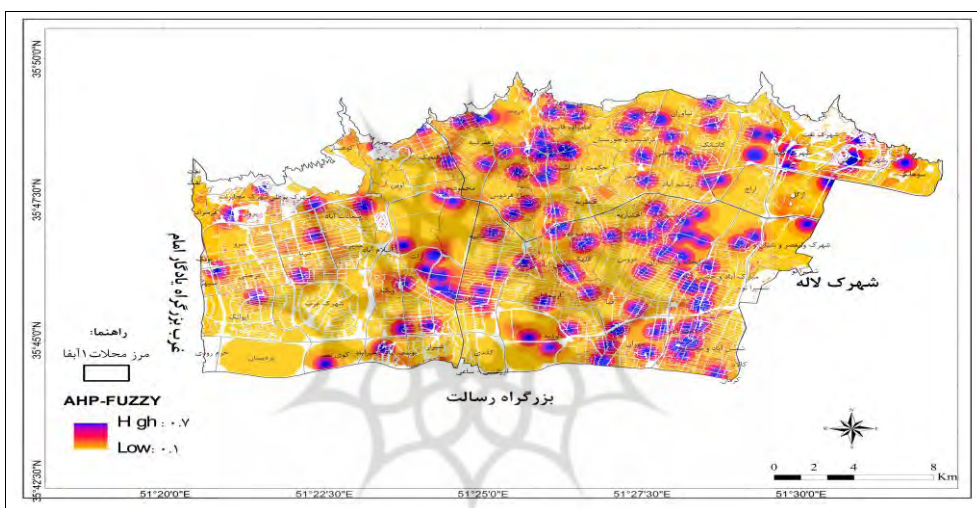
شکل ۴- نقشه معیار اقتصادی شاخص فاضلاب - منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۵.



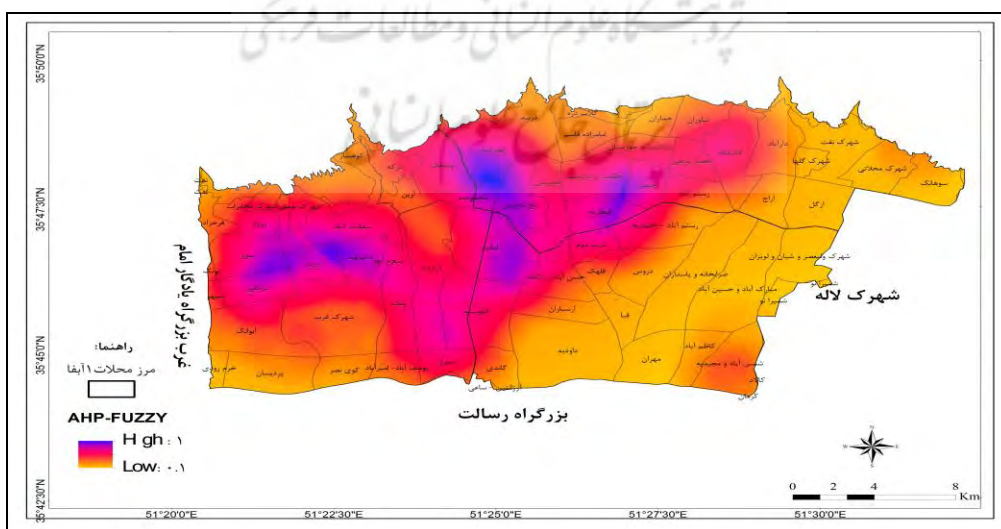
شکل ۵- نقشه معیار فیزیکی شاخص فاضلاب - منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۵.



شکل ۶- نقشه معیار هیدرولوژی شاخص فاضلاب - منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۵.



شکل ۷- نقشه معیار اجتماعی-سلامت شاخص فاضلاب- منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۵.

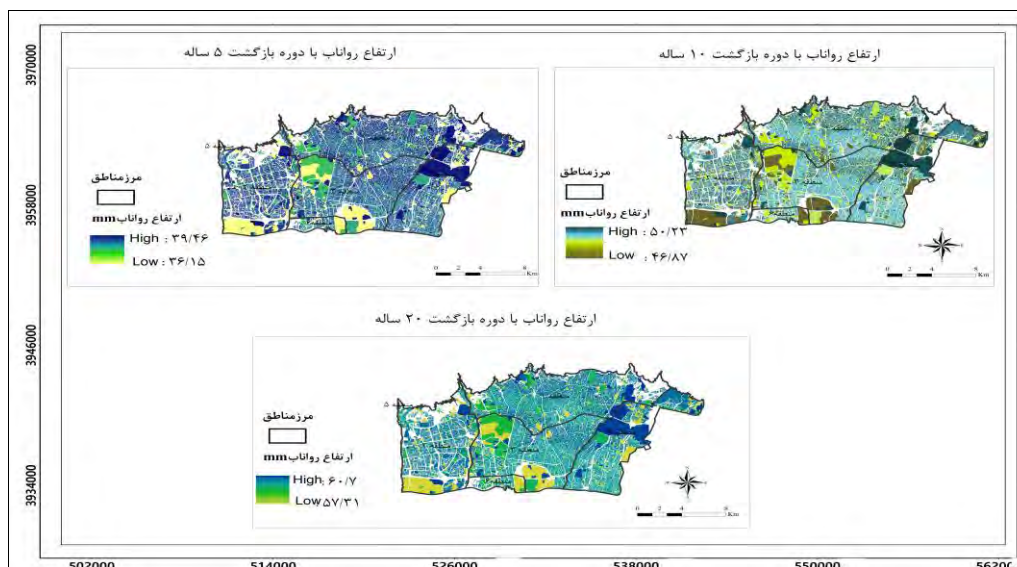


شکل ۸- نقشه معیار شریان حیاتی شاخص فاضلاب- منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۵.

مرحله سوم پژوهش حاضر؛ شامل مدل‌سازی رواناب (شکل ۹) منطقه یک آبفای تهران با استفاده از حداکثر بارش ۲۴ ساعته (داده‌های دوره آماری ۱۰ ساله از ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۲) ایستگاه نیاوران طی سه سناریوی ۵، ۱۰ و ۲۰ ساله انجام می‌گیرد. بارش روزانه ایستگاه‌های هواشناسی تهران می‌باشد. روش استفاده شده برای برآورد ارتفاع رواناب ArcCN-Runoff است که توسط ژانگ و همکاران (۲۰۰۴) جهت تعیین ارتفاع و حجم رواناب بر اساس روش SCS ارائه شده است و به محاسبه شماره منحنی، ارتفاع و حجم رواناب برای هر واحد مکانی می‌پردازد، با استفاده خاصیت سلولی شماره منحنی، رواناب برای هر پیکسل محاسبه شده و به واقعیت نزدیک‌تر است. آخرین مرحله پژوهش هم شامل تلفیق شاخص‌های آب و فاضلاب با رواناب حداکثر ۲۴ ساعته در سه سناریوی ۵، ۱۰ و ۲۰ ساله است تا نقشه‌های نهایی آسیب‌پذیری شبکه فاضلاب منطقه ۱ آبفا بدست آید.

بحث و ارائه یافته‌ها:

در این پژوهش کلیه زیر معیارها در پنج شاخص فیزیکی، هیدرولوژی، اجتماعی-سلامت، اقتصادی و شریان حیاتی دسته بندی شدند که در شاخص فیزیکی سه زیر فاکتور شیب، ارتفاع و سنگ‌شناسی قرار گرفتند. هر کدام از این معیارها با توجه به رابطه‌ای که کلاس‌های آن‌ها با آسیب‌پذیری شبکه فاضلاب منطقه ۱ آبفا در برابر سیلاب دارند، در نظر گرفته شدند. در معیار شیب و ارتفاع رابطه معکوس در نظر گرفته شد زیرا در شیب بیش تر زهکشی آسان تر انجام می‌شود و در ارتفاع کمتر رواناب بیش تری دریافت می‌کنند. از نظر سنگ شناسی بیش ترین آسیب‌پذیری برای خاک‌های آبرفتی می‌باشد که توسط رواناب سریعتر جابجا می‌شود و کم‌ترین آسیب‌پذیری برای سنگ‌های آذرآواری و سنگ آهک بلورین می‌باشد که در بعضی قسمت‌های این منطقه رخنمون دارد. در معیار هیدرولوژی فاصله از مسیل، چاه و قنات در نظر گرفته شده است. زیرا مشاهدات نشان داده است که در هنگام وقوع رواناب این محدوده‌ها بیشتر تخریب شده است و همچنین فروریزش و قطع شبکه فاضلاب و پس زدن فاضلاب را به دنبال داشته است. در شاخص اجتماعی-سلامت، تراکم جمعیت، فاصله از مراکز درمانی-امدادی و مراکز خطر در نظر گرفته شده است. بدیهی است که تراکم نسبی جمعیت میزان آسیب‌پذیری را افزایش می‌دهد، بویژه این تراکم در محدوده‌های خطر مثل نزدیکی ایستگاه‌های فشار شکن آب، افزایش فشار گاز و تقویت برق باشد. از طرفی نزدیکی به مراکز درمانی-امدادی کمک‌رسانی را تسهیل می‌بخشد و می‌تواند آسیب‌پذیری جانی را کاهش دهد. در شاخص اقتصادی به زیر معیارهای کاربری اراضی، بافت فرسوده و شبکه‌ی معابر توجه شده است. زیرا بعضی از کاربری‌ها بویژه در شمال تهران، سبب کاهش نفوذپذیری و افزایش آسیب‌پذیری می‌شود. بافت فرسوده از نظر کاهش مقاومت در مقابل شدت رواناب و آبگرفتگی، آسیب‌پذیری را شدت می‌بخشد و شبکه‌ی معابر با عرض بیشتر هم کمک به هدایت رواناب می‌کند و مانع از آبگرفتگی می‌شود و هم امکان دسترسی و کمک‌رسانی را فراهم می‌سازد. در شاخص شریان حیاتی در خصوص فاضلاب قطر و جنس لوله فاضلاب، قطر و جنس منهول در نظر گرفته شده است. از نظر جنس هرچه مقاومت و انعطاف مواد تشکیل دهنده بیشتر آسیب‌پذیری کمتر می‌باشد. مشاهدات نشان داده که جنس پلی اتیلن دارای آسیب‌پذیری کمتری می‌باشد. منهول‌های که جنس‌های ترکیبی (پلی اتیلن-بتنی) دارند نسبت به بقیه با آسیب‌پذیری کمتری مواجه می‌شوند. در خصوص قطر لوله فاضلاب و قطر منهول، همیشه قطر‌های بیشتر آسیب‌پذیری کمتر را به دنبال دارند. نتایج حاصل از مدل‌سازی رواناب منطقه یک آبفای تهران (شکل ۹) با استفاده از حداکثر بارش ۲۴ ساعته (داده‌های دوره آماری ۱۰ ساله از ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۲) ایستگاه نیاوران طی سه سناریوی ۵، ۱۰ و ۲۰ ساله نشان می‌دهد که با دوره بازگشت ۲۰ سال ارتفاع رواناب در منطقه ۱ به ۵۷ تا ۶۰ میلی‌متر می‌رسد. تقریباً دو برابر دوره بازگشت ۵ ساله قابل پیش‌بینی است.



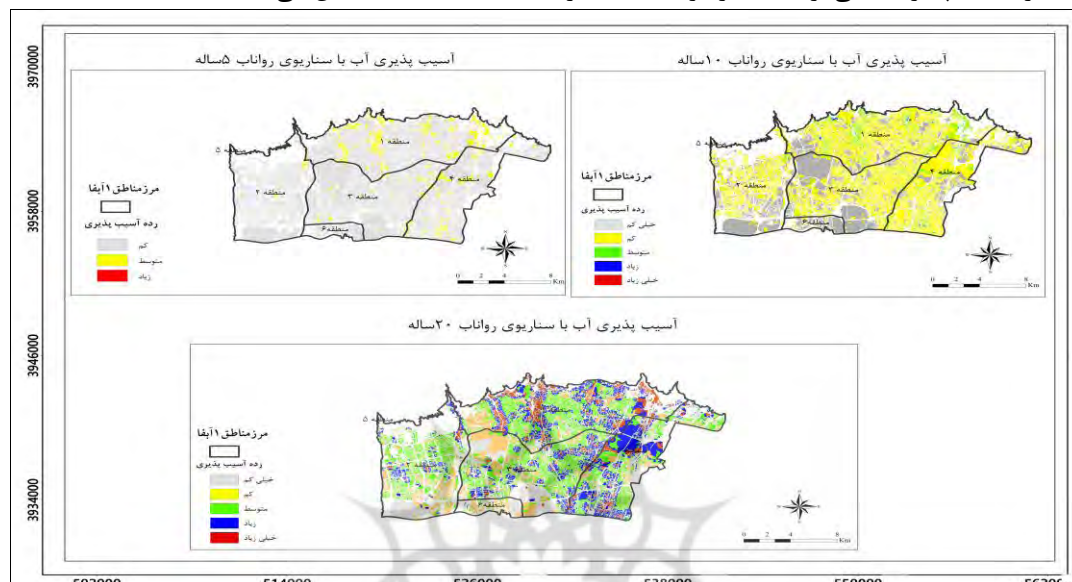
شکل ۹- نقشه ارتفاع رواناب با دوره بازگشت ۵، ۱۰، ۲۰ ساله - منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۵.

پهنه بندی آسیب پذیری و تحلیل آن:

وزن‌های نسبی محاسبه شده برای معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری ضرابی هستند که در تهیه این نقشه بکار گرفته شدند؛ این وزن‌ها (ضرایب) به‌عنوان میزان تأثیرگذاری هر معیار در ایجاد نقشه آسیب‌پذیری مورد استفاده قرار گرفتند. در نهایت لایه‌های بدست آمده از معیارها در مرحله قبل با تابع Raster Calculator بر اساس وزن‌های نهایی شاخص‌های فاضلاب (جدول ۳) را با هم ترکیب نموده و لایه آسیب‌پذیری شاخص‌های فاضلاب حاصل شد. به عبارتی نقشه آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در شبکه توزیع فاضلاب در منطقه یک آبفای تهران به‌صورت تابعی از این ضرایب تعریف و از رابطه ۱ بدست آمد که در نهایت تلفیق شاخص‌های آسیب‌پذیری با رواناب حداکثر ۲۴ ساعته در سه دوره بازگشت ۵، ۱۰ و ۲۰ ساله، نقشه‌های نهایی آسیب‌پذیری شبکه فاضلاب منطقه ۱ آبفا (شکل ۱۰) تولید نمود. نقشه‌های اخیر بر اساس توزیع اعداد در یک هیستوگرام فرکانسی، طبقه‌بندی شدند؛ هر نقشه با توجه به دامنه اعداد در پنج رده با آسیب‌پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفت که در جدول ۵ و ۴ درصد پهنه‌های آسیب‌پذیر نیز نمایش داده شده است. رابطه (۱). آسیب‌پذیری فاضلاب: (هیدرولوژی * ۰/۷۱) + (فیزیکی * ۰/۵۶) + (اقتصادی * ۰/۲۳) + (اجتماعی - سلامت * ۰/۷۱) + (شراین حیاتی * ۰/۰۵) (موسساتی و مطالعات فرعی)

به‌طور کلی، با توجه به نتایج حاصل شده از نقشه و جدول آسیب‌پذیری شاخص فاضلاب در سه دوره بازگشت می‌توان گفت که نقشه آسیب‌پذیری فاضلاب (شکل ۱۰) می‌تواند بازتاب مناسبی از وضعیت‌های هیدرولوژی، اجتماعی، فیزیکی، اقتصادی و شراین حیاتی مناطق مختلف منطقه یک آبفای تهران در برابر آسیب‌پذیری منتج از سیلاب ارائه دهد. به طوری که آسیب‌پذیرترین بخش‌های شهری بر شیب زیاد، فاصله از چاه و مسیل‌ها، مراکز خطر و بافت فرسوده با تراکم جمعیتی بالا منطبق است که از علت‌های اصلی آسیب‌پذیر بودن این بخش‌ها در مقابل سیلاب می‌باشد. میزان آسیب‌پذیری تأسیسات فاضلاب منطقه یک آبفا بر مبنای وزن‌های محاسبه شده از روش سلسله مراتبی/ فازی و تاپسیس با استفاده از تحلیل زونی، نشان داد که منطقه ۱ (ناحیه ۱ آبفا) آسیب‌پذیرترین بخش‌های شهر در برابر سیلاب شهری بر اساس معیارهای شبکه فاضلاب هستند که به‌طور پراکنده قسمت‌هایی از محلات شهرک گلها، شهرک نفت، دارآباد، کاشانک، نیاوران، حصار بوعلی، رستم آباد، حکمت و دزاشیب، دزاشیب و جوزستان، جماران، گلابدره، امامزاده قاسم، دربند و تجریش، زعفرانیه، ولنجک، چیدر، درکه، اوین، نیاوران و محمودیه را در بر می‌گیرد. بیشترین مساحت این محدوده را بافت ناپایدار با مراکز خطر بالا در بر گرفته است که بیش‌ترین تعداد منابع زیرزمینی (چاه) را هم شامل می‌شود که در هنگام وقوع سیلاب‌های شدید و به دنبال آن بالا آمدن سطح آب زیرزمینی یکی از آسیب‌های حاصل شده پس زدن آب

در لوله‌های فاضلاب سبب سرریز شدن آدروها، مخازن فضولات و چاه‌های فاضلاب می‌شود که در راستای مسیل‌های بالادست دریند، دارآباد، جمشیدیه، مقصود بیگ، لارک، ولنجک، درکه قرار گرفته است و هرکدام به نوبه خود تهدید جدی و مهمی از نظر خطر سیلاب برای شبکه فاضلاب منطقه ۱ تلقی می‌شوند. در صورتی که مناطق ۶ و ۲ کم‌ترین آسیب‌پذیری را در برابر وقوع سیلاب شهری به لحاظ معیاری شبکه فاضلاب دارند؛ این مناطق مراکز خطر کم‌تر و تقریباً عاری از بلوک فرسوده بوده و تراکم پایین جمعیتی و درصد فضای سبز بالایی هم دارند که با وجود تجمع کمتر و جاگذاری تاسیسات در عمق بیشتر، آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب را بر مبنای معیارهای شبکه فاضلاب کاهش می‌دهند.



شکل ۱۰- نقشه آسیب‌پذیری فاضلاب در سناریوی با رواناب ۵-۱۰-۲۰ ساله - منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۵.

جدول ۴- درصد مساحت پهنه‌های آسیب‌پذیری فاضلاب در سناریوی با رواناب ۵-۱۰-۲۰ ساله براساس نواحی منطقه ۱ آبفا

پهنه‌های آسیب‌پذیری فاضلاب در سناریوی با رواناب ۵ ساله				
درصد مساحت آسیب‌پذیری نواحی مناطق یک آبفا				
ناحیه ۳	ناحیه ۲	ناحیه ۱	ارزش	رده آسیب‌پذیری
۹۷/۱۷	۸۴/۸۷	۹۳/۸۰	۰-۰/۱	کم
۲/۸۳	۱۵/۱۱	۶/۲۰	۰/۱-۰/۲	متوسط
-	۰/۰۲	-	۰/۲<	زیاد
پهنه‌های آسیب‌پذیری فاضلاب در سناریوی با رواناب ۱۰ ساله				
۵۶/۹۲	۲۱/۵۸	۳۱/۷۹	۰-۰/۱	خیلی کم
۴۰/۷۸	۶۳/۲۰	۶۱/۸۸	۰/۱-۰/۲	کم
۲/۲۳	۱۴/۷۸	۶/۲۹	۰/۲-۰/۳	متوسط
۰/۰۷	۰/۴۲	۰/۰۴	۰/۳-۰/۴	زیاد
۰/۰۳	۰/۲	-	۰/۴<	خیلی زیاد
پهنه‌های آسیب‌پذیری فاضلاب در سناریوی با رواناب ۲۰ ساله				
۲۷/۱۲	۸/۶۹	۱۳/۵۹	۰-۰/۱	خیلی کم
۴۲/۱۶	۲۳/۴۶	۲۹/۳۵	۰/۱-۰/۲	کم
۲۵/۳۱	۴۱/۲۵	۴۰/۵۹	۰/۲-۰/۳	متوسط
۵۶/۴	۱۸/۶۱	۱۴/۲۴	۰/۳-۰/۴	زیاد
۰/۸۵	۷/۹۹	۲/۲۵	۰/۴<	خیلی زیاد

جدول ۵- درصد مساحت پهنه‌های آسیب‌پذیری فاضلاب در سناریوی با رواناب ۵-۱۰-۲۰ ساله براساس مناطق آبفا

پهنه‌های آسیب‌پذیری فاضلاب در سناریوی با رواناب ۵ ساله						
درصد مساحت آسیب‌پذیری مناطق یک آبفا						
منطقه ۴	منطقه ۳	منطقه ۲	منطقه ۱	ارزش	رده آسیب‌پذیری	
۱۰	۹۰/۸۷	۹۷/۲۷	۹۸/۵۷	۸۴/۱۵	۰-۰/۱	کم
-	۹/۱۳	۲/۸۳	۱/۴۳	۱۵/۸۳	۰/۱-۰/۲	متوسط
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۲<	زیاد
پهنه های آسیب‌پذیری فاضلاب در سناریوی با رواناب ۱۰ ساله						
۸۹/۲۳	۲۱/۳۴	۴۸/۱۹	۵۱/۲۹	۲۳/۹۲	۰-۰/۱	خیلی کم
۱۰/۶۷	۶۹/۳۹	۴۵/۹۷	۴۷/۴۶	۶۰/۱۰	۰/۱-۰/۲	کم
۰/۱۰	۹/۱۹	۲/۸۹	۱/۴۴	۱۵/۴۵	۰/۲-۰/۳	متوسط
۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۴	۰/۳-۰/۴	زیاد
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۴<	خیلی زیاد
پهنه های آسیب‌پذیری فاضلاب در سناریوی با رواناب ۲۰ ساله						
۴۸/۳۵	۹/۴۱	۲۲/۸۳	۲۳/۳۶	۸/۷۰	۰-۰/۱	خیلی کم
۴۵/۱۱	۲۰/۶۵	۳۷/۴۲	۴۲/۱۳	۲۶/۵۹	۰/۱-۰/۲	کم
۶/۱۹	۶۴/۴۰	۳۱/۸۹	۳۰/۷۰	۳۷/۴۲	۰/۲-۰/۳	متوسط
۰/۳۵	۲۰/۲۹	۶/۹۲	۳/۳۹	۱۸/۶۸	۰/۳-۰/۴	زیاد
۰/۰۰	۳/۲۵	۰/۹۴	۰/۴۱	۸/۶۱	۰/۴<	خیلی زیاد

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۶.

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها:

وقتی حادثه بزرگی همانند سیل در یک شهر روی می‌دهد به طور طبیعی تأسیسات آب و فاضلاب نیز همانند دیگر تأسیسات شهری در معرض آسیب قرار می‌گیرند. اگر چه آسیب‌پذیری بسیاری از این تأسیسات شهری کمتر است، ولی می‌تواند علاوه بر صدمات و خسارات مستقیم وارده در ترکیب با دیگر تأسیسات و ابنیه، خطرات و خسارات ثانویه ای را بدنبال داشته باشد که شرایط بحرانی را حاصل کند. بطور کلی نتایجی که در این پژوهش بدست آمد، نتایج آسیب‌پذیری با مدل‌های TOPSIS و AHP-FUZZY روشن ساختند که منطقه یک (ناحیه ۲) آبفا ریسک قابل توجهی نسبت به مناطق دیگر دارد که آسیب‌پذیری بالای این منطقه با توجه به اولویت شاخص‌ها بیشتر ناشی از تجمع بالای تأسیسات با ارزش اقتصادی بالا (لوله فاضلاب و منهول)، تجمع بالای مراکز خطر (ایستگاه گاز و خطوط انتقال نیرو)، بافت فرسوده، شیب، تراکم جمعیت بالا، شرایط تأسیسات (از لحاظ قطر و عمق کارگزاری) و مخصوصاً با توجه به اولویت شاخص هیدرولوژی و وجود چاه‌ها مخصوصاً مسیل‌های شمال تهران (درکه، دربند، ولنجک، مقصودییک، جمشیدیه، دارآباد و لارک) که مانعی جهت جاگذاری تأسیسات به صورت مدفون و در عمق زیاد جهت محافظت و امنیت بیشتر می‌باشند، هستند؛ از این رو بیشتر تأسیسات این منطقه یا در عمقی کمتر از حالت عادی و یا به صورت روکار نصب شده است که زیان‌های ناشی از سیل مربوط به پوشیده شدن زمین از آب و نیز فشار خود آب است که سیل ممکن است لوله‌های آب یا فاضلاب را جابه‌جا کند. در یک مورد، ۵ کیلومتر از یک لوله ۹۰ سانتی‌متری آب را سیل با خود برده است که بر اساس اطلاعات منتشره در سایت آب و فاضلاب منطقه ۱ حدود ۷۸۰۰ فقره انشعاب فاضلاب در این منطقه وجود دارد. متأسفانه هیچ‌گونه تمهیداتی برای دفع فاضلاب در شرایط بحرانی و کنترلی برای تعیین دبی فاضلاب و سایر پارامترهای مهم مربوط به فاضلاب وجود ندارد. پس زدن آب در لوله‌های فاضلاب بیشتر در معرض صدمات سیل قرار می‌گیرند زیرا به علت اتصال غیر مجاز آب راه باران به شبکه جمع‌آوری فاضلاب و همچنین اتصال کانال‌های آب سطحی شهرداری و با بالا آمدن سطح آب زیر زمینی (چاه‌ها) سبب نفوذ به داخل شبکه جمع‌آوری می‌شود و در صورت بارش باران سنگین فاضلاب از منهول‌ها بیرون زده و در معابر جاری می‌شود که سبب سرریز شدن آدمروها، مخازن

فضولات و چاه‌های فاضلاب می‌شود. به علت بالا آمدن سطح آب انواع زباله در نقاط مختلف پخش می‌شوند که جمع‌آوری و دفع آن‌ها مشکل مهمی ایجاد می‌کند. جمع شدن زباله و فضولات سبب افزایش مگس و جوندگان می‌شود و وجود باکتری‌ها و میکروب‌های بیماری‌زا ناشی از پساب بیمارستان‌ها و صنایع در فاضلاب‌ها عاملی خواهد بود جهت شیوع بسیاری از بیماری‌ها که مشکلات فوری و مهمی را به وجود می‌آورد و بالطبع نسبت به سایر مناطق ریسک بیشتری را شامل می‌شود. به گفته مسئولین فاضلاب با توجه به توپوگرافی منطقه شبکه‌های نزدیک زرگنده و دارآباد هنگام بارش و طغیان دچار پس زدگی شده‌اند که به علت بالا آمدن سطح آب انواع زباله در نقاط مختلف پخش می‌شوند. از طرفی ممکن است تأسیسات تصفیه آب و تلمبه‌خانه‌ها زیر آب فروروند و گل‌ولای داخل تلمبه‌ها، موتورها و سایر تجهیزات شوند که این امر سبب تعمیرات گران و وقت‌گیری خواهد شد. آسیب ساختمان‌های محافظ چاه‌ها و چشمه‌ها ممکن است منجر به آلودگی آب آشامیدنی شود. تأسیسات تصفیه فاضلاب و لوله‌های خروج فاضلاب بیشتر در معرض صدمات سیل قرار می‌گیرد که بررسی آسیب‌پذیری تأسیسات وابسته در تحقیقات بعدی مطمئن‌کننده است در حالی که در مناطق پایین دست لوله‌های فاضلاب بدون مانع با قطر زیاد در عمق بیشتر مدفون شده است که آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب کمتر خواهد کاهش خطرهای ناشی از سیل و بالطبع توسعه پایدار کشور تنها با ایمن‌سازی و مقاوم‌سازی ساختمان‌ها، شریان‌های حیاتی و تأسیسات زیربنایی امکان‌پذیر می‌باشد. موارد ایمن‌سازی می‌باید بعنوان برنامه‌ای منسجم و با گام‌های اجرایی مشخص مورد توجه قرار گیرد و به صورت مرحله‌بندی و موضوع‌بندی به مورد اجرا گذارده شود. مهم‌ترین اقدامات در این راستا، اقدامات پیشگیرانه است. بنابراین از هم‌اکنون در اجرای تأسیسات جدید، اعمال سیاست‌های سخت‌گیرانه در جهت به‌کارگیری مصالح مرغوب، استفاده از اتصالات مقاوم و قابل انعطاف و رعایت شرایط ایجاد مقاومت در مقابل سیل و دیگر بلایای طبیعی باید الزامی گردد.

قدردانی و تشکر

این مقاله از طرح پژوهشی «آسیب‌پذیری و تحلیل ریسک سیلاب در شبکه توزیع آب منطقه یک آب و فاضلاب تهران انجام شده است، استخراج گردیده» که با حمایت مالی سازمان آب و فاضلاب منطقه ۱ است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع و مأخذ:

- تهذیبی، کامبیز؛ نوری، مهدی؛ مشعوف، بیژن و نصیبی، مهدی، (۱۳۹۴): «ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه‌های انتقال آب با استفاده از روش خوشه‌بندی»، فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران، شماره هفتم، صص ۹۷-۱۰۴.
- حسن‌نیا، احد و فکور، زهرا، (۱۳۹۰): «انواع روش‌های مقاوم‌سازی لوله‌های مدفون، اولین کنفرانس ملی مدیریت بحران، زلزله و آسیب‌پذیری اماکن و شریان‌های حیاتی»، تهران، وزارت کشور، سازمان مدیریت بحران کشور.
- رادمهر، احمد و عراقی نژاد، شهاب، (۱۳۹۳): «کاربرد روش تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی فازی در تعیین مناطق آسیب‌پذیر از سیلاب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهری تهران)»، نشریه دانش و آب و خاک، صص ۱۱۵-۱۲۸.
- رنگرن، کاظم، منجزی، ناهید، فتقی زاده، ایوب و نیامدپو، ایوب، (۱۳۹۲): «شناسایی مکان‌های مناسب جهت احداث سدهای زیر زمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تصمیم‌گیری چند معیاره فازی در دشت بتوند»، استان خوزستان، فصلنامه سنجش از دور، صص ۱-۱۳.
- روزبهانی، عباس و تابش، مسعود، (۱۳۹۲): «ارائه مدل خبره ارزیابی ریسک سیستم‌های تامین و توزیع آب شهری مبتنی بر آسیب‌پذیری اجزا با قابلیت در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود»، نهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- رهگذر، محمدعلی؛ زارع، محمدرضا و هاشمی فشارکی، سید محمد، (۱۳۹۳): «پیشنهاد شبکه هوشمند ارزیابی شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه جمع‌آوری فاضلاب در بستر GIS (مطالعه موردی: شهرکرد)»، مجله آب و فاضلاب، دوره ۲۶، شماره ۶، صفحه ۵-۱۵.
- صادقی، فاطمه؛ سلیمانی هرق، ابراهیم؛ شکری، صمد و بابائی، جواد، (۱۳۹۲): «بررسی اثرات سیل‌های سال ۱۳۹۱ بر روی شریان‌های حیاتی کشور جمهوری اسلامی ایران»، کنفرانس ملی مدیریت بحران و HSE در شریان‌های حیاتی، صنایع و مدیریت شهری.

- . عنبری، محمدجواد؛ تابش، مسعود، (۱۳۹۴): « محاسبه میزان پیامد وقوع شکست در شبکه های جمع آوری فاضلاب»، دهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران.
- . قهرودی تالی، منیژه؛ ثروتی، محمدرضا؛ صرافی، محمد؛ پورموسوی، سیدمحمد و درفشی، خه بات، (۱۳۹۱): «ارزیابی آسیب پذیری ناشی از سیلاب در شهر تهران»، فصلنامه علمی امداد و نجات، شماره ۳، صص ۷۹-۹۳.
- . نوروزی، رعنا، (۱۳۹۵): « آسیب پذیری و تحلیل ریسک سیلاب در شبکه توزیع آب منطقه یک آب و فاضلاب تهران». استادراهنما دکترا منیژه قهرودی. دانشگاه شهید بهشتی. صص ۱-۲۲۱.
11. Norouzi, R., Ghohroudi Tully, M., Derafshi, K. (2017). Urban Sewage vulnerability against floods (Case Study: Tehran Metropolitan Region 2). 3rd International Conference on Innovation in Science and Technology Germany, Berlin
 12. Xing, L., 2008. An Efficient Binary-Decision-Diagram-Based Approach for Network Reliability and Sensitivity Analysis . IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS PART A: SYSTEMS AND HUMANS. VOL. 38, NO. 1, JANUARY 2008.
 13. Zare, M.R., Wilkinson, S., and Potangaroa, R.T. (2010). Vulnerability of wastewater treatment plants and wastewater pumping stations to earthquakes. Disaster Planning and Management Conf. Cobra 2010, Rics and Dauphinek University, Paris, France.
 14. Zhan, X and Huang, M. 2004. Arc CN- runoff: ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps. Environ. Model Softward, v. 19, p. 875-879



