

# Risk Assessment of the Urban Runoff Collection Networks Using Spatial Multi Criteria Decision-Making (Case Study: District 11 of Tehran)

**R. Shariat<sup>1</sup>, A. Roozbahani<sup>2</sup>, A. Ebrahimian<sup>3</sup>**

1. MSc Student, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Aburaihan Campus, University of Tehran, Tehran, Iran.
2. Assist. Prof., Department of Irrigation and Drainage Engineering, Aburaihan Campus, University of Tehran, Tehran, Iran  
(Corresponding Author) roozbahany@ut.ac.ir
3. Research Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Villanova University, USA

(Received June 23, 2017 Accepted Dec. 3, 2017)

#### To cite this article :

Shariat, R., Roozbahani, A., Ebrahimian, A., 2018, "Risk assessment of the urban runoff collection networks using spatial multi criteria decision-making (Case study: District 11 of Tehran)." *Journal of Water and Wastewater*, 30(1), 1-17.  
Doi: 10.22093/wwj.2017. 90371.2435 (In Persian)

#### Abstract

Urban runoff management as well as collecting and transferring surface waters are the major concerns for officials and managers in urban affairs. The Multiple components of runoff drainage systems, the close interrelationships between the functionalities of the components and the relationship between the runoff collection network and the individual and social assets within the cities lead to a doubled complication in management plans. Flooding risk is generally subjected to numerous factors and the integrated management of these factors makes the urban runoff management a multi-criteria problem. The current research offers a comprehensive method for risk management in management of surface water collection networks. The necessary measures taken to implement this method include modeling the study area in Autodesk SSA software, specifying the layer of hydrology, hydraulics, social, traffic, environment, urban appearance and structures. Weights were extracted from the ideas inquired from the urban affairs experts and based on AHP multi criteria decision-making. Eventually, the map for canals' flooding risk was generated by taking advantage of GIS capabilities and spatial MCDM methods such as SAW and TOPSIS. The implementation of the proposed method on degree 3 and degree 4 canals in District 11 of the Tehran Municipality is indicative of high and very high flooding risks for a length of about 6% to 9% of the total canals

**Keywords:** Surface Water Drainage, Spatial Multi Criteria Decision Making, Risk Analysis, GIS, Autodesk SSA.

## تحلیل ریسک شبکه‌های جمع‌آوری رواناب شهری با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی (مطالعه موردی: منطقه ۱۱ تهران)

ریحانه شریعت<sup>۱</sup>، عباس روزبهانی<sup>۲</sup>، علی ابراهیمیان<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی،

پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان،

دانشگاه تهران، تهران، ایران (نویسنده مسئول) roozbahany@ut.ac.ir

۳- استاد پژوهشی، گروه مهندسی عمران و محیط زیست،

دانشگاه ویلانووا، ایالات متحده آمریکا

(دریافت ۹۶/۲ پذیرش ۹۶/۱۰/۹)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام فرمایید:

شریعت، ر.، روزبهانی، ع.، ابراهیمیان، ع.، ۱۳۹۷. "تحلیل ریسک شبکه‌های جمع‌آوری رواناب شهری با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی

(مطالعه موردی: منطقه ۱۱ تهران)" مجله آب و فاضلاب، ۳۰(۱)، ۱۷-۱۰. Doi: 10.22093/wwj.2017.90371.2435

### چکیده

مدیریت رواناب شهری و جمع‌آوری و هدایت آبهای سطحی یکی از دغدغه‌های اصلی مسئولان و مدیران امور شهری است. اجزای متعدد شبکه زهکشی رواناب، ارتباط تنگاتنگ عملکرد اجزا با یکدیگر و ارتباط این شبکه با دارایی‌های فردی و اجتماعی در شهرها، منجر به پیچیدگی مدیریت آن می‌شود. به‌طور کلی ریسک آبگرفتگی تحت تأثیر عوامل متعددی است که مدیریت یکپارچه این عوامل، مسئله مدیریت رواناب شهری را به یک مسئله چند معیاره تبدیل می‌کند. در این پژوهش روشی جامع به‌منظور مدیریت ریسک شبکه‌های جمع‌آوری آبهای سطحی ارائه شد. اقدامات لازم به‌منظور پیاده‌سازی این روش شامل مدل‌سازی منطقه مورد مطالعه در نرم‌افزار Autodesk SSA، است و شامل تعریف لایه‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی، اجتماعی، ترافیکی، زیست‌محیطی، سیمای شهری و سازه‌ای و زیرلایه‌های لازم، استخراج وزن آنها با استفاده از نظرات متخصصان امور شهری و با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و در نهایت تهیه نقشه ریسک آبگرفتگی در کانال‌ها با استفاده از قابلیت‌های GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره SAW و TOPSIS به‌صورت مکانی است. اجرای روش ارائه شده در این پژوهش در مورد کانال‌های درجه ۳ و ۴ منطقه ۱۱ شهرداری تهران نشان دهنده ریسک آبگرفتگی زیاد و خیلی زیاد برای ۶ تا ۹ درصد طول کل کانال است.

**واژه‌های کلیدی:** جمع‌آوری آبهای سطحی، تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی، تحلیل ریسک، GIS، Autodesk SSA.

### ۱- مقدمه

به محیط زیست، نارضایتی عمومی و غیره باشد، لزوم بررسی سیلاب و آبگرفتگی در مناطق شهری، به‌ویژه مناطق پرجمعیت با تراکم جمعیتی بالا به وضوح مشخص می‌شود. علی‌رغم توجه زیادی که به پدیده سیلاب در مناطق غیرشهری شده است، توجه به این رخداد در شهرها از سابقه طولانی برخوردار نیست (Chen et al., 2009)

افزایش جمعیت شهرها منجر به افزایش شهرسازی، افزایش سطوح نفوذناپذیر، کاهش نفوذ و به‌دنبال آن افزایش دبی پیک رواناب در شبکه جمع‌آوری آبهای سطحی می‌شوند. با توجه به ارزش اقتصادی بالای مراکز شهری پرجمعیت و عواقب وقوع سیلاب در آنها که می‌تواند شامل به تعویق افتادن توسعه شهرها، خسارت به دارایی‌های فردی و اجتماعی، خسارت به سلامت عمومی، خسارت



به صورت تابعی خطی از ۴ پارامتر: زمان شروع، مدت، حجم و حداکثر نرخ سیلاب تعریف کرده و مقادیر ۴ پارامتر فوق را با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره<sup>۲</sup> TOPSIS با یکدیگر ترکیب کرده‌اند. در این پژوهش هم از GIS به عنوان ابزار تحلیل مکانی و از AHP به منظور تعیین وزن معیارهای تعریف شده به منظور جانمایی حوضچه‌های ذخیره، استفاده شده است (Ahmadisharaf et al., 2016). میر و همکاران در سال ۲۰۰۹ ارزیابی چندمعیاره ریسک سیلاب در اطراف رودخانه را با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی انجام داده‌اند. در این پژوهش از GIS برای نمایش مقادیر معیارها به صورت مکانی و از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره وزن دهی ساده<sup>۳</sup> و رضایتمندی خاص<sup>۴</sup> برای ترکیب نقشه‌ها و استحصال نقشه ریسک نهایی استفاده شده است. (Meyer et al., 2009).

جلایر و همکاران در سال ۲۰۱۴ از ترکیب لایه‌های اطلاعاتی مناطق مستعد سیلاب، نوع مورفولوژی شهری (در نظر گرفتن مناطق مسکونی و معابر اصلی شهر) و تراکم جمعیت، با فرمت نقشه‌های GIS به بررسی و تعیین نقاط حساس در برابر سیلاب شهری پرداخته‌اند و این کار را یکی از گام‌های نخست به منظور ارزیابی و کاهش یکپارچه ریسک سیلاب شهری معرفی کرده‌اند (Jalayer et al., 2014). ژو و همکاران در سال ۲۰۱۶ مدل‌سازی شبکه زهکشی رواناب یک شهرک مسکونی را با نرم‌افزار SWMM انجام داده و با در نظر گرفتن بارش با دوره بازگشت‌های ۱ تا ۱۰۰ سال و معیارهای هیدرولوژیکی نظیر ضریب رواناب، حجم و زمان سیلاب و غیره، ریسک آبگرفتگی در چاهک‌های بازدید را مورد بررسی قرار داده‌اند (Zhu et al., 2016).

رادمهر و عراقی‌نژاد در سال ۲۰۱۶ با تعریف لایه‌های آسیب‌پذیری، هیدرولیکی و اثرات محیطی و تلفیق روش تصمیم‌گیری چند معیاره AHP و GIS، چهار زیرحوضه اصلی شهر تهران را از نظر آسیب‌پذیری در برابر سیلاب رتبه‌بندی کرده‌اند. نتایج نشان داده است که زیر حوضه مرکزی شهر تهران دارای بیشترین میزان آسیب‌پذیری در برابر سیلاب و آبگرفتگی است و بررسی دقیق‌تر سیستم جمع‌آوری سیلاب شهری، ضمن در نظر

شبکه زهکشی رواناب شهری شبکه‌ای پیچیده و دارای اجزای متعدد و بهم پیوسته است؛ از این رو به‌منظور کنترل و مدیریت موفق ریسک آبگرفتگی در این شبکه‌ها، علاوه بر در نظر گرفتن جنبه‌های مهندسی و هیدرولیکی لازم است جنبه‌های اجتماعی-اقتصادی و زیست‌محیطی نیز در نظر گرفته شوند (Tingsanchali, 2012).

در نظر گرفتن جنبه‌های مختلف مؤثر بر یک پدیده و تلفیق اثرات آنها به صورت مکانی نیازمند استفاده از روش‌های تصمیم چند معیاره مکانی است. به‌طور کلی تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی (ترکیب GIS و تصمیم‌گیری چند معیاره) از اواخر دهه ۸۰ میلادی و به موازات توسعه GIS، در حل مسائل مختلف مورد توجه قرار گرفت. توسعه GIS امکان حل مسائل تعیین تناسب کاربری زمین با تحلیل‌های پیچیده‌تر و انجام مدل‌سازی را فراهم ساخته است (Ahmadisharaf and Tajrishy, 2013). از آن زمان تاکنون استفاده از این روش‌ها در زمینه‌های مختلفی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است که به برخی از آنها اشاره می‌شود.

شاهمنصوری و همکاران در سال ۲۰۱۲ به منظور جانمایی و انتخاب نوع تصفیه‌خانه فاضلاب از تلفیق GIS و تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره AHP<sup>۱</sup> استفاده کرده‌اند (Shahmansouri et al., 2012). سلیمانی و همکاران در سال ۲۰۱۶ با بیان این موضوع که اصلاح مناسب شبکه موجود زهکشی آب‌های سطحی شهری سبب کاهش ریسک کمی و کیفی آبگرفتگی می‌شود، با مدل‌سازی شبکه جمع‌آوری رواناب شهر گلستان در استان تهران، با استفاده از نرم‌افزار SWMM، با بهره‌گیری از روش تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره راهکارهای اصلاح این شبکه‌ها را اولویت بندی کرده‌اند (Soleimani et al., 2016).

احمدی شرف و همکاران در سال ۲۰۱۳ با ارائه روشی ابتکاری، نتایج مدل‌سازی با استفاده از مدل SWMM را به صورت مستقیم به منظور جانمایی حوضچه‌های ذخیره مورد استفاده قرار داده‌اند و در این راستا از GIS به عنوان ابزار تحلیل مکانی و از AHP به عنوان روش تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کرده‌اند (Ahmadisharaf et al., 2013).

احمدی شرف و همکاران در سال ۲۰۱۶ خطر سیلاب را

<sup>2</sup> Technique for the Order of Prioritization by Similarity (TOPSIS)

<sup>3</sup> Simple Additive Weighting

<sup>4</sup> Disjunctive approach

<sup>1</sup> Analytical Hierarchy Process (AHP)



## ۲- محدوده مطالعاتی

### ۱-۲- مشخصات کلی محدوده مطالعاتی

منطقه ۱۱ شهرداری تهران با مساحتی در حدود ۱۲/۰۶ کیلومتر مربع و جمعیت تقریبی ۲۸۹ هزار نفر، حدوداً در مرکز شهر تهران واقع شده است. بر اساس آخرین طرح جامع شهر تهران مصوب سال ۱۳۸۶، بخش عمده کاربری اراضی منطقه مسکونی بوده و یا به معابر و راه‌های دسترسی اختصاص دارد. به دلیل وجود مراکز تاریخی، نظامی و سیاسی، این منطقه همواره پذیرای مهمانان خارجی و محل تردد آنها است و موقعیت استراتژیکی ویژه‌ای دارد. همچنین وجود مراکز مهم اقتصادی و بازارهای تخصصی با عملکرد فرمانطقه‌ای و فراشهری، مراکز مهم دانشگاهی و علمی و همچنین اماکن مهم آموزش کشوری در منطقه ۱۱، بدان مرکزیت خاصی داده است. شکل ۱، موقعیت منطقه ۱۱ در شهر تهران را نمایش می‌دهد.

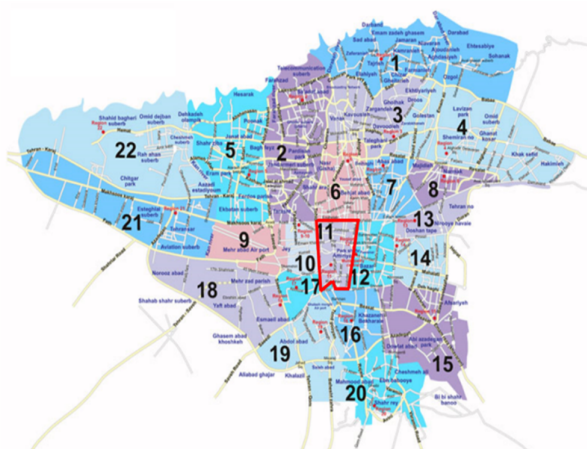


Fig. 1. District 11 of Tehran municipality and its location in the city of Tehran

شکل ۱- منطقه ۱۱ شهرداری تهران و موقعیت آن در شهر تهران

### ۲-۲- سیستم زهکشی رواناب محدوده مطالعاتی

حوضه‌های اصلی درون شهری تهران را می‌توان بر اساس زهکش‌های اصلی (کانال‌های درجه ۱ شامل: سیل برگردان شرق، سیل برگردان غرب، رودخانه کن و رودخانه چیتگر) به حوضه‌های شرقی، غربی، مرکزی و چیتگر تقسیم نمود. در این تقسیم‌بندی منطقه یازده شهرداری تهران در حوضه آبریز مرکزی قرار دارد که با مساحتی بالغ بر ۱۵۶ کیلومترمربع عمدتاً توسط تونل‌های اصلی

گرفتن معیارهای اقتصادی و اجتماعی امری ضروری است (Radmehr and Araghinejad, 2016).

با توجه به تمامی پژوهش‌های صورت گرفته، هدف از این پژوهش تحلیل و مدیریت جامع ریسک آبگرفتگی با در نظر گرفتن معیارهای جامع هیدرولوژیکی و هیدرولیکی، ترافیکی، اجتماعی، زیست محیطی، سازه‌ای و سیمای شهری است.

تحلیل ریسک در منطقه ۱۱ شهرداری شهر تهران که منطقه‌ای مرکزی، دارای تراکم جمعیتی بالا و بسیار پر رفت و آمد است، انجام شده است. از جمله نوآوری‌های این پژوهش مقیاس تحلیل ریسک است.

پژوهش‌های پیشین در مقیاس شبکه اصلی جمع‌آوری رواناب (کانال‌ها و مسیل‌های درجه یک و دو) صورت گرفته‌اند و بررسی جامع عملکرد شبکه فرعی جمع‌آوری رواناب (کانال‌های درجه سه و چهار) ضمن در نظر گرفتن معیارهای فوق‌الذکر در هیچ پژوهشی یافت نشد.

همچنین به منظور مدل‌سازی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی منطقه مورد مطالعه از نرم‌افزار Autodesk SSA<sup>1</sup> استفاده شد که نرم‌افزاری جدید و توانمند در مدل‌سازی همزمان شرایط هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و حتی کیفی سیلاب در مناطق شهری است و گزارشی مبنی بر استفاده از آن در پژوهش‌های مشابه پیشین ارائه نشده است.

از مزیت‌های این نرم‌افزار نسبت به موارد مشابه نظیر نرم‌افزار SWMM که به کرات در مطالعات گذشته مورد استفاده قرار گرفته است، می‌توان به قابلیت Autodesk SSA در مدل‌سازی فرایند بارش- رواناب با روش‌های متنوع اشاره کرد. نرم‌افزار SWMM برای تبدیل بارش به رواناب از مدل مخزن غیرخطی استفاده می‌کند (Mahab Ghodss Consulting Company, 2011).

روش‌های متنوعی به منظور انجام فرایند بارش- رواناب در Autodesk SSA ارائه شده است، که انتخاب بهترین روش با توجه به خصوصیات منطقه و با ترجیح کاربر صورت می‌گیرد.

لازم به ذکر است که تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در محیط نرم‌افزار GIS و با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به صورت مکانی صورت گرفته است.

<sup>1</sup> Autodesk Storm and Sanitary Analysis





مدیریت ریسک سیلاب به دو قسمت کلی آنالیز و ارزیابی ریسک سیلاب در یک سو و کاهش ریسک سیلاب از سوی دیگر تقسیم می‌شوند. به‌طور کلی هدف از ارزیابی ریسک سیلاب تفکیک و مشخص نمودن مناطقی است که ریسک به‌صورت غیرقابل قبولی در آنها بالا است و در نظر گرفتن تمهیداتی به‌منظور کاهش ریسک در آنها ضروری است (Meyer et al., 2009). در این راستا به‌منظور مدیریت موفق ریسک سیلاب تنها در نظر گرفتن جنبه‌های مهندسی و هیدرولیکی سیلاب کافی به نظر نمی‌رسد، بلکه باید جنبه‌های اجتماعی-اقتصادی و زیست‌محیطی نیز در نظر گرفته شوند. لذا در این پژوهش ساختاری جامع به‌منظور مدیریت ریسک سیلاب شهری در مقیاس شبکه فرعی سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی (کانال‌های درجه سه و چهار) ارائه شد. در این ساختار سعی شده است بیشتر عوامل ایجادکننده آبگرفتگی و عوامل تشدیدکننده اثرات آن مورد بحث و بررسی قرار گیرد. مراحل انجام این پژوهش به‌صورت شماتیک در شکل ۲ قابل رویت است.

خیام، نواب، دولتخواه و نهرفیروزآباد (کانال‌های درجه ۲) زهکشی می‌شود. اگرچه انتقال سیلاب‌های شهری به خارج از شهر، در دامنه وظایف زهکش‌های اصلی نامبرده است، اما جمع‌آوری سیلاب از سطح معابر اصلی و فرعی و انتقال آن تا محل ورود به کانال‌های اصلی درجه یک و دو، بر عهده انهار درجه سه و چهار است. عملکرد مناسب کانال‌های درجه سه و چهار منجر به تسریع فرایند زهکشی سیلاب از سطح مناطقی می‌شود که عمدتاً محل عبور و مرور، کسب و تجارت، تحصیل و یا زندگی مردم است. مجموع طول ۱۱۹۳ کانال درجه سه و چهار منطقه یازده، برابر با ۱۷۶/۶ کیلومتر است (Zistab Consulting Engineers, 2015). لازم به توضیح است که درجه کانال‌های شبکه فرعی با توجه به ابعاد آنها تعیین می‌شود. بر این اساس کانال‌های درجه سه دارای عرض بین ۳۵ تا ۸۰ سانتی‌متر و ارتفاع بین ۴۰ تا ۹۰ سانتی‌متر هستند. کانال‌های درجه چهار کانال‌هایی با عرض حداکثر ۳۵ سانتی‌متر و ارتفاع حداکثر ۴۰ سانتی‌متر می‌باشند.

### ۳- روش‌شناسی

در سال‌های اخیر تغییری در سیاست‌های مواجهه با سیلاب ایجاد شده و مفهوم پیشین "محافظت در برابر سیلاب" جایگاه خودش را به "مدیریت ریسک سیلاب" داده است (Schanze 2006).

### ۳-۱- مدل‌سازی شرایط هیدرولوژیکی و هیدرولیکی با

#### بهره‌گیری از مدل Autodesk SSA

همانطور که در شکل ۲ مشخص است، مدل‌سازی شرایط هیدرولوژیکی و هیدرولیکی منطقه مورد مطالعه نخستین گام در

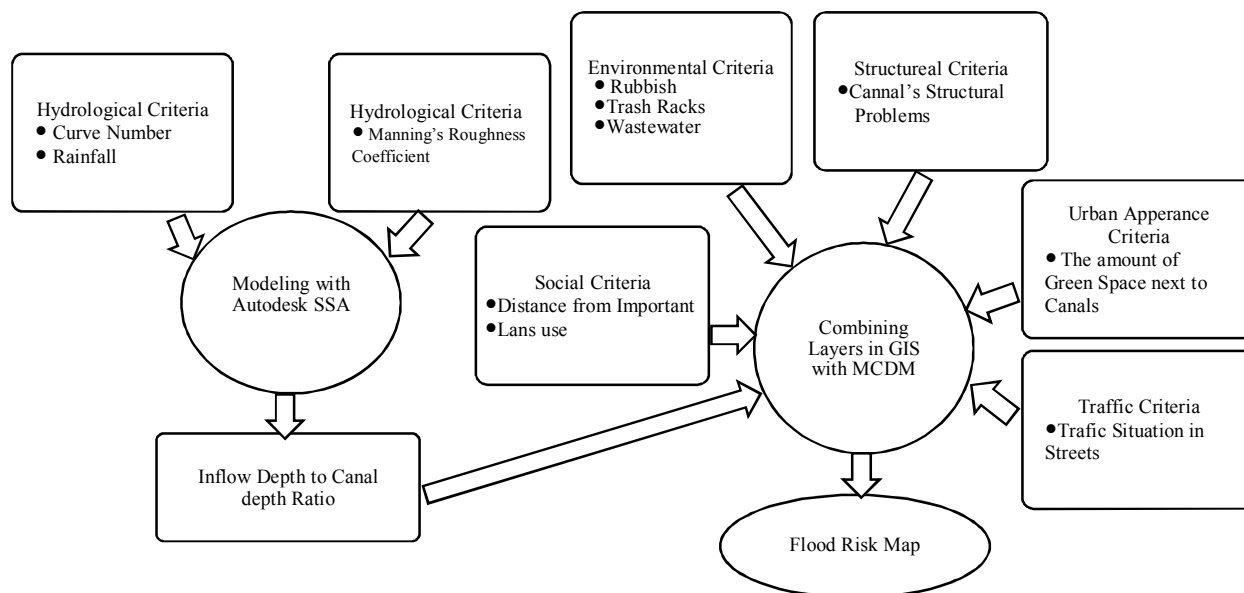


Fig. 2. The stages of risk assessment method in this paper

شکل ۲- مراحل روش ارزیابی ریسک در این پژوهش

مدت-فراوانی شهر تهران و با روش بلوک‌های متناوب استخراج شده است. در نهایت نتایج حاصل از مدل‌سازی به صورت مقادیر "عمق جریان در کانال به عمق کانال"، طبقه‌بندی شده و به منظور ادامه محاسبات با عنوان لایه هیدرولوژیکی-هیدرولیکی و به صورت مکانی وارد لایه اطلاعاتی GIS منطقه شده است.

### ۳-۲- تعریف سایر لایه‌ها و زیرلایه‌های اطلاعاتی

در این پژوهش ریسک آبگرفتگی به صورت تابعی از احتمال وقوع سیلاب و اثرات و خسارات ناشی از آن تعریف می‌شود و تمامی معیارها و زیرمعیارها به صورت زیرمجموعه این دو شاخص قابل دسته‌بندی هستند. با توجه به پژوهش‌های گذشته و با در نظر گرفتن شرایط منطقه، در این پژوهش ریسک آبگرفتگی متأثر از معیارهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی، اجتماعی (دارای دو زیرمعیار کاربری اراضی و فاصله از مراکز حساس)، زیست محیطی (دارای سه زیرمعیار زباله ریزشی به انبار، فاضلاب و تأسیسات آشغالگیر)، ترافیکی، سازه‌ای و سیمای شهری در نظر گرفته شد. لذا معیارهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی و زیرمعیارهای زباله ریزشی به انبار و تأسیسات آشغالگیر زیرمجموعه شاخص احتمال وقوع قرار می‌گیرند. معیارهای اجتماعی، ترافیکی، سازه‌ای و سیمای شهری و زیرمعیارهای فاضلاب و تأسیسات آشغالگیر به صورت زیرمجموعه شاخص اثرات و خسارات ناشی از سیلاب دسته‌بندی می‌شوند. مسلماً تمامی این لایه‌ها تأثیر یکسانی بر مقدار ریسک سیلاب در منطقه نخواهند داشت و تعیین اهمیت و ارجحیت آنها باید با استفاده از نظرات متخصصان انجام شود. از آنجایی که در روش تصمیم‌گیری چند معیاره AHP از روش مشخصی برای تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها استفاده می‌شود و امکان تلفیق نظرات چندین کارشناس نیز در آن فراهم است (Saaty, 1980)، ساختار معیارها و زیرمعیارها به صورت شکل ۳ تعریف و پرسشنامه تخصصی بر مبنای مقایسات زوجی روش AHP، به منظور تعیین وزن معیارها، زیرمعیارها و همچنین امتیازات کاربری‌های اراضی، تقدیم متخصصان شد. متخصصانی که از نظرات آنها در این پژوهش استفاده شد، در مجموع شامل ۸ نفر متخصص دانشگاهی، شهرداری منطقه ۱۱ تهران، سازمان مهندسی مشاور شهر تهران و شرکت مهندسی مشاور زیستاب بودند که همگی شناخت کافی از شرایط

انجام این پژوهش است. به این منظور نرم‌افزار Autodesk SSA برای مدل‌سازی شبکه زهکشی منطقه مورد استفاده قرار گرفت. Autodesk SSA در واقع یک پکیج مدل‌سازی پیشرفته، جامع و توانمند برای آنالیز و طراحی شبکه‌های زهکشی شهری، مجراهای جمع‌آوری سیلاب و فاضلاب است. این نرم‌افزار که در سال ۲۰۱۰ توسط شرکت AUTODESK ارائه شده است، قابلیت انجام فرایندهای تبدیل بارش به رواناب، محاسبه زمان تمرکز، رسم هیدروگراف واحد، محاسبه تلفات و روندیابی هیدرولیکی را به روش‌های متنوعی دارد. در این نرم‌افزار انتخاب روش انجام محاسبات بر عهده کاربر و بر اساس ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه است. بر این اساس و با توجه به ویژگی‌های منطقه روش HEC-1 به عنوان روش تبدیل بارش به رواناب انتخاب شد. محاسبه زمان تمرکز زیر حوضه‌ها با روش SCS TR-55، محاسبه مقدار نفوذ با روش Horton و استخراج هیدروگراف واحد با روش SCS انجام شد. با انتخاب روش تبدیل بارش به رواناب HEC1، رایج‌ترین روش محاسبه تلفات، روش شماره منحنی SCS است، شماره منحنی هریک از زیر حوضه‌ها با در نظر گرفتن توأم خصوصیات خاک، کاربری اراضی و درصد سطوح مؤثر، مشخص کننده مقدار نفوذ و تلفات بارش خواهد بود. در ادامه با توجه به عدم وجود لوب، عدم وجود جریان تحت فشار و عدم محاسبه فرایند برگشت آب به شبکه و با فرض تساوی شیب کف کانال و شیب سطح آب، روش روندیابی هیدرولیکی موج سینماتیک برگزیده شد. ورودی‌های Autodesk SSA به منظور مدل‌سازی سیستم زهکشی، شامل اطلاعات فیزیکی کانال‌ها نظیر ابعاد، شیب، نحوه اتصال کانال‌ها به هم و غیره، شرایط هیدرولیکی آنها مانند ضریب زبری مانینگ و شرایط هیدرولوژیکی منطقه از جمله CN<sup>1</sup> و هایتوگراف بارش ۶ ساعته با دوره بازگشت ۵ و ۱۰ سال بوده است. لازم به ذکر است به دلیل عدم وجود ایستگاه باران‌سنجی در محدوده مطالعاتی و تعداد اندک این ایستگاه‌ها در شهر تهران، از فرمول کالیبره شده توسط شرکت مه‌اب قدس (Mahab Ghodss Consulting Engineers, 2011) که شدت بارش را به صورت تابعی از ارتفاع در شهر تهران مورد محاسبه قرار می‌دهد، به منظور محاسبه شدت بارش استفاده شد. در ادامه هایتوگراف بارش با استفاده از منحنی‌های شدت-

<sup>1</sup> Curve Number

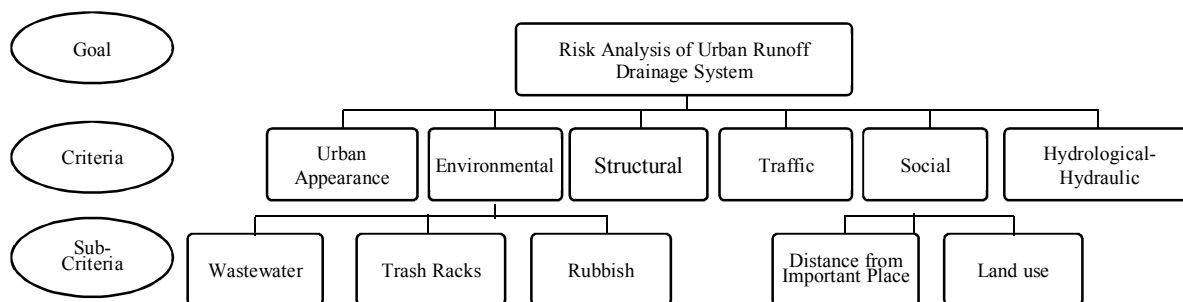


Fig. 3. Criteria and sub-criteria used in stormwater risk assessment

شکل ۳- معیارها و زیرمعیارهای مورد استفاده در ارزیابی ریسک سیلاب

بیمارستان‌های منطقه و دو پاساژ علاءالدین و بازار موبایل ایران که دارای عملکردی کاملاً فرا منطقه‌ای هستند به‌عنوان مراکز حساس جمعیتی شناخته شدند و کانال‌های اطراف آنها تا فاصله ۱۰۰ متری، براساس میزان نزدیکی به مراکز، دسته‌بندی و امتیازدهی شدند.

### ۳-۲-۳- معیار ترافیکی

آبگرفتگی در انهار مجاور معابر شلوغ و پر رفت و آمد، علاوه بر تمامی مخاطرات و خسارات احتمالی، منجر به ایجاد و یا تشدید ترافیک می‌شود. وجود خیابان‌های مهم و پر رفت و آمد کارگر، ولیعصر (عج)، امام خمینی (ره)، شوش، مولوی و غیره که در واقع راه‌های مواصلاتی شمال به جنوب و شرق به غرب به حساب می‌آیند، وضعیت ترافیکی منطقه ۱۱ را پیچیده کرده است. لذا برای تعیین درجه اهمیت خیابان‌ها از منظر معیار ترافیکی، ترافیک معمول در تمامی معابر منطقه در ۷ روز هفته و هر روز در چهار نوبت ۸ صبح، ۱۲ ظهر، ۴ عصر و ۸ شب، با استفاده از نرم‌افزار Google Map مورد بررسی قرار گرفت. شدت ترافیک در معابر با چهار درجه ترافیک روان (۱)، نیمه سنگین (۲)، سنگین (۳) و بسیار سنگین (۴) گزارش شده بود. میانگین وضعیت ترافیکی در ۲۸ زمان مختلف و نرم‌سازای آنها منجر به تولید داده‌های میزان ترافیک در معابر شد. کانال‌های مجاور معابر دارای اهمیت ترافیکی دارای امتیاز منفی ترافیکی شدند.

### ۳-۲-۴- معیار سازه‌ای

علاوه بر ظرفیت کانال‌ها، وضعیت سازه‌ای آنها نیز تأثیر بسزایی در

منطقه و شبکه زهکشی آن داشتند.

لازم به ذکر است که از آنجایی که پدیده آبگرفتگی و عوامل ایجادکننده و مخاطرات ناشی از آن، دارای ماهیتی منفی هستند، در این پژوهش هرچه قدر وضعیت یک کانال نامطلوب‌تر باشد، امتیاز مربوط به آن بزرگ‌تر یا به عبارت بهتر، منفی‌تر است.

### ۳-۲-۱- معیار هیدرولوژیکی و هیدرولیکی

درصد پرشدگی انهار با توجه به دوره بازگشت طراحی آنها، خروجی حاصل از مدل‌سازی منطقه در نرم‌افزار AutodeskSSA است. با توجه به این که ۱۵ درصد عمق کانال‌ها به‌عنوان ارتفاع آزاد در نظر گرفته شده است، بنابراین کانال‌هایی که درصد پرشدگی بیشتر از ۸۵ درصد داشته باشند، از نظر هیدرولوژیکی و هیدرولیکی دارای امتیاز منفی خواهند بود. نحوه امتیازدهی به این صورت است که کانال‌های دارای درصد پرشدگی ۸۵ تا ۸۸ درصد، کمترین امتیاز منفی و کانال‌های دارای درصد پرشدگی بیشتر از ۱۰۰ دارای بیشترین امتیاز منفی خواهند بود.

### ۳-۲-۲- معیار اجتماعی

تراکم جمعیت (جمعیت ساکن یا گذرنده) و همچنین حساسیت کاربری اراضی یک منطقه دو عامل اصلی تعیین‌کننده شدت اثرات ناشی از آبگرفتگی هستند، از این رو معیار اجتماعی دارای دو زیر معیار کاربری اراضی و فاصله از مراکز حساس در نظر گرفته شد. اهمیت کاربری‌های اراضی با تجمیع نظرات متخصصان و با روش مقایسات زوجی AHP مشخص شد و مراکز حساس با در نظر گرفتن جمعیت عبوری از آنها تعیین شد. بر این اساس تمامی



شدن انهار دارای دبی پایه فاضلاب، مشکلات زیست محیطی نیز به وجود خواهد آمد. در این بخش، انهار دارای دبی پایه با توجه به کیفیت آن، امتیاز منفی گرفتند.

### ۳-۲-۶- معیار سیمای شهری

وجود فضای سبز در مجاورت انهار، علاوه بر بهبود سیمای شهری، در صورت آبگرفتگی با جذب بخشی از آب مانع از پخش سریع سیلاب در معابر می شود و سیمای نامناسب نهر آبگرفته را پوشش می دهد. به استناد گزارش بخش فضای سبز شهرداری، پوشش گیاهی مجاور انهار عمدتاً به صورت درخت بوده و با تبدیل اطلاعات مساحت فضای سبز مجاور معابر (به تفکیک نواحی) به تعداد درختان، این گونه برآورد می شود که تقریباً به ازای هر ۴/۵ متر طول کانال در سه ناحیه ۱، ۲ و ۴، یک درخت و در ناحیه ۳ به ازای هر ۱۰ متر طول نهر تنها ۱ درخت در مجاورت آن وجود دارد. لذا وضعیت سیمای شهری در نواحی ۱، ۲ و ۴ متوسط و در ناحیه ۳ بسیار ضعیف در نظر گرفته شد.

### ۳-۳- تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها و اهمیت کاربری های

#### اراضی با روش مقایسات زوجی AHP

به طور کلی برای تعیین اوزان معیارها به کمک روش مقایسات زوجی AHP، سه گام اصلی تعریف ساختار سلسله مراتبی، محاسبه وزن ها و محاسبه نرخ ناسازگاری باید انجام گیرد. روش انجام محاسبات به این صورت بود که پس از تعریف ساختار سلسله مراتبی، ماتریس های مقایسات زوجی در قالب پرسشنامه تخصصی در اختیار متخصصان قرار داده شد و پس از اخذ نظرات ایشان، نرخ ناسازگاری ماتریس ها<sup>۱</sup> مورد محاسبه قرار گرفت. نرخ ناسازگاری ماتریس کمتر یا مساوی ۰/۱، نشان دهنده سازگاری مناسب نظرات تصمیم گیرنده است. در مواردی که نرخ سازگاری بیشتر بود، از متخصص درخواست می شد که در نظرات خود تجدید نظر کند. درگام بعدی مقادیر بیانی ترجیحات متخصصان با استفاده از جدول ۱ به مقادیر عددی تبدیل شد.

در این روش در صورت وجود چند تصمیم گیرنده، لازم است نظرات تمامی آنها در ماتریس تصمیم گیری لحاظ شود. لذا برای

عملکرد آنها در گذردهی سیلاب خواهد داشت. با توجه به مشکلات سازه ای کانال های منطقه شامل تخریب و شکستگی، خروج جداول از ردیف، فرسایش و شن نما شدن و تنگ شدگی موضعی، نسبت طول کانال نیازمند به مرمت به کل طول کانال مورد محاسبه قرار گرفت. در مواردی به دلیل وجود همزمان چند مشکل در کانال، این نسبت ها دارای مقادیر بیشتر از یک بودند. به هر حال مقادیر در دامنه خود دسته بندی شده و انهار دارای مشکلات سازه ای، امتیاز منفی مناسب را دریافت نمودند.

### ۳-۲-۵- معیار زیست محیطی

سه زیر معیار مقدار "زباله"، "تأسیسات آشغالگیر" و "فاضلاب" برای معیار زیست محیطی تعریف شد. یکی از بزرگ ترین عوامل ایجاد کننده آبگرفتگی در سطح شهرها، ریزش زباله به انهار روباز است. جمعیت زیاد عبوری از منطقه ۱۱، وجود مراکز تجاری و همچنین روباز بودن انهار عوامل اصلی حجم بالای زباله ریزشی به انهار منطقه هستند. به گزارش بخش خدمات شهری شهرداری منطقه، روزانه بالغ بر ۲۰۰ تن زباله در منطقه تولید می شود که حدود ۲ تن آن وارد انهار می شود. این حجم زباله با کاهش ظرفیت انهار، ایجاد مشکلات زیست محیطی و بستن مسیر جریان منجر به ایجاد اختلال در عملکرد شبکه زهکشی رواناب شهری می شود و بالعکس وجود تأسیسات آشغالگیر شامل حوضچه ها و تله های زباله گیر عملیات تخلیه زباله از انهار را تسریع می کند. بر این اساس و با توجه به این که اطلاعات دقیقی از مقدار زباله ریزشی به انهار وجود ندارد، با استناد به اطلاعات موجود در بخش خدمات شهری شهرداری منطقه ۱۱، ۴ ناحیه منطقه از منظر میزان زباله ریزشی به انهار با مقادیر بیانی خیلی کم، کم، متوسط و زیاد، اولویت بندی و انهار مجاور خیابان های با کاربری خاص تجاری که زباله ریزشی به آنها به صورت قابل توجهی بیشتر از سایر مناطق است، با عبارت بیانی خیلی زیاد ارزش گذاری شدند. همچنین با توجه به عملکرد تأسیسات آشغالگیر، خیابان های دارای این تأسیسات دارای ریسک کمتر زیست محیطی و خیابان های فاقد این تأسیسات دارای ریسک بالاتر در نظر گرفته شدند.

وجود دبی پایه در انهار نیز مستقل از کیفیت آن منجر به کاهش ظرفیت مفید آنها می شود. با توجه به روباز بودن بخش اعظمی از سیستم زهکشی سیلاب شهری در شهر تهران، در صورت سرریز

<sup>1</sup> Inconsistency Ratio (IR)



TOPSIS استفاده شد و به منظور ذخیره و تلفیق اطلاعات به صورت مکانی از نرم افزار GIS استفاده شد.

### ۳-۴-۱- روش تصمیم‌گیری چند معیاره Spatial SAW

با توجه به این موضوع که وزن لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره AHP قبلاً مشخص شده است، در این قسمت با روش SAW تنها لایه‌ها با یکدیگر ترکیب می‌شوند. روش کار به این صورت بود که ابتدا زیرلایه‌های مربوط به هر لایه به صورت مجزا تلفیق شد و مقادیر لایه‌های اجتماعی و زیست محیطی به صورت مکانی و با کمک ابزارهای GIS محاسبه شدند. سپس با آماده بودن تمامی لایه‌ها و مشخص بودن وزن آنها نقشه نهایی ریسک در GIS تهیه شد. روش SAW ساده‌ترین روش تلفیق اطلاعات است و فرمولاسیون آن به صورت معادله شماره ۴ است

$$\text{Final Risk} = \sum_{i=1}^n (W_i \times L_i) \quad (4)$$

که در این معادله  $W_i$  وزن معیار  $i$  ام،  $L_i$  مقادیر مربوط به لایه  $i$  ام و متغیر  $i$  نشان دهنده تعداد لایه‌ها است. در این پژوهش شش لایه تعریف شد.

### ۳-۴-۲- روش تصمیم‌گیری چند معیاره Spatial TOPSIS

مقادیر شش معیار تصمیم‌گیری و همچنین زیرمعیارهای مربوط به دو معیار اجتماعی و زیست محیطی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS) که دارای مبنای فاصله‌ای است، با یکدیگر ترکیب شدند (Hwang and Yoon, 1981)

این روش به دلیل فرایند محاسباتی ساده‌ای که دارد می‌تواند به راحتی مورد استفاده قرار بگیرد (Kim et al. 1997). دلیل انتخاب این روش و ارجحیت آن بر سایر روش‌ها نظیر برنامه‌ریزی توافقی<sup>۱</sup> این است که در روش برنامه‌ریزی توافقی تنها فاصله از راه‌حل ایده‌آل مورد محاسبه قرار می‌گیرد در حالی که در TOPSIS فاصله از هر دو راه‌حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل مورد محاسبه قرار می‌گیرد (Hwang and Yoon, 1981). مراحل انجام محاسبات TOPSIS در

جدول ۱- مقادیر عددی ارجحیت‌ها در مقایسات زوجی (Saaty, 1980)

Table 1. Numerical values of preferences in paired comparisons (Saaty, 1980)

Numerical values	Expression to determine the preference
1	Equal preference or importance
3	Low preference or importance
5	Strong preference or importance
7	Very strong preference or importance
9	Absolute priority or importance
2,4,6,8	Preferences between the above phrases

تصمیم‌گیری گروهی از میانگین هندسی معادله برای عناصر ماتریس تصمیم‌گیری استفاده شد.

$$a'_{ij} = \left( \prod_{i=1}^n a_{ij} \right)^{1/n} \quad i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m, i \neq j \quad (1)$$

که  $n$  تعداد تصمیم‌گیرندگان و  $m$  تعداد معیارها، زیرمعیارها و یا تعداد کاربری‌های اراضی است.

با تلفیق نظرات متخصصان مختلف و تشکیل ماتریس مقایسات زوجی گروهی، وزن معیارها با استفاده از روش میانگین هندسی و استفاده از معادلات ۲ و ۳ تعیین می‌شود

$$r_{i1}' = \left( \prod_{j=1}^m a_{ij}' \right)^{1/m} \quad (2)$$

$$w_i' = r_{i1}' \times (r_{11}' + \dots + r_{m1}')^{-1} \quad (3)$$

که در این معادلات

$r_{i1}'$  میانگین هندسی اعضا سطر اول ماتریس تصمیم‌گیری گروهی و  $w_i'$  نشان دهنده وزن معیار  $i$  ام است (Tabesh et al., 2015).

### ۳-۴-۳- تلفیق لایه‌ها و استخراج نقشه نهایی ریسک

در گام آخر و به منظور تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به صورت مکانی و استخراج نقشه نهایی ریسک آبرفتگی در این پژوهش از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره Spatial SAW و Spatial

<sup>1</sup> Compromise Programming (CP)



$$A^- = \left\{ (\min V_{ij} | j \in J^+) \cdot (\max V_{ij} | j \in J^-) \right\} \quad (8)$$

$i = 1, 2, \dots, m$

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

که در معادلات فوق

$S_i^+$  نشان دهنده فاصله از حالت ایده آل و  $S_i^-$  نشان دهنده فاصله از حالت ضد ایده آل است.

معیار نهایی رتبه بندی انهار ( $C_i^*$ ) با استفاده از معادله ۱۱ محاسبه می شود

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (11)$$

رتبه بندی انهار مرحله نهایی فرایند تصمیم گیری با روش TOPSIS است. در این روش گزینه ای که بیشترین مقدار  $C_i^*$  را داراست دارای بهترین شرایط و گزینه ای که دارای کمترین مقدار  $C_i^*$  باشد دارای بدترین شرایط است. بر این اساس، در این پژوهش نیز مقادیر  $C_i^*$  بالاتر نشان دهنده شرایط بهتر یعنی ریسک پایین تر و مقادیر  $C_i^*$  کمتر نشان دهنده شرایط نامساعدتر یعنی ریسک بالاتر خواهد بود.

با انجام مراحل فوق به صورت مکانی و در محیط GIS، نقشه نهایی ریسک سیلاب به روش TOPSIS تهیه شد.

#### ۴- نتایج و بحث

##### ۴-۱- نتایج حاصل از مدل سازی در Autodesk SSA

شرایط مدل سازی و روش های انتخابی به منظور انجام محاسبات به طور کامل توضیح داده شد. با توجه به این که اساس طراحی انهار درجه ۳ و ۴ در منطقه مورد مطالعه بر مبنای گذردهی سیلابی با دوره بازگشت ۵ و یا ۱۰ ساله است، مدل سازی تحت بارش ۵ ساله و ۱۰ ساله انجام شد. بارش ورودی به مدل با استفاده از فرمول کالیبره شده شرکت مهتاب قدس (Mahab Ghodss, Consulting

گام های زیر آورده شده است (Ahmadisharaf et al., 2016). ساخت ماتریس ارزیابی نخستین گام محاسبات است. در ماتریس توسعه داده شده در این پژوهش، شش معیار و ۱۳۲۳ قطعه کانال وجود دارد که باید از نظر ریسک سیلاب با یکدیگر مقایسه شوند.

اگر F مشخص کننده ماتریس ارزیابی باشد، هریک از اعضای این ماتریس با  $f_{ij}$  مشخص می شوند و زیروندهای  $i$  و  $j$  به ترتیب نشان دهنده کانال ها و معیارها هستند. به عبارت دیگر  $f_{ij}$  نشان دهنده امتیاز کانال  $i$  ام در ارتباط با معیار  $j$  ام است. در گام بعدی باید اعضای ماتریس یا به عبارت دیگر امتیازات کانال ها نسبت به هر معیار نرمال و بی واحد شوند، به این منظور از معادله ۵ استفاده می شود

$$r_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sum_{i=1}^m f_{ij}^2} \quad (5)$$

که در این معادله

$r_{ij}$  مشخص کننده اعضای نرمال شده ماتریس ارزیابی است. به دست آوردن ماتریس وزن دار گام بعدی محاسبات است. همانطور که توضیح داده شد وزن هر یک از معیارها به روش AHP محاسبه شده است. بنابراین به منظور محاسبه ماتریس وزن دار تنها کافی است امتیازات نرمال شده کانال ها در رابطه با هر معیار در وزن معیار مربوطه ضرب شود (معادله ۶).

$$V_{ij} = W_j \times r_{ij} \quad (6)$$

که در این معادله

$W_j$  وزن معیار  $j$  ام و  $V_{ij}$  مشخص کننده اعضای نرمال شده و وزن دار ماتریس ارزیابی است.

گام بعدی پیدا کردن حل ایده آل و ضد ایده آل است. اگر حالت ایده آل را  $A^+$  و حالت ضد ایده آل  $A^-$  و نیز مجموعه معیارهای مثبت  $J^+$  و مجموعه معیارهای منفی باشد، آنگاه

$$A^+ = \left\{ (\max V_{ij} | j \in J^+) \cdot (\min V_{ij} | j \in J^-) \right\} \quad (7)$$

$i = 1, 2, \dots, m$





انجام اصلاحات در سطح منطقه است. همان‌طور که از جدول ۲ برآورد می‌شود، بیشتر انهار منطقه دارای دوره بازگشت ۱۰ ساله هستند و همچنین درصد بیشتری از همین انهار قادر به گذردهی دبی طراحی خود نیستند.

در بررسی دقیق‌تر معلوم شد ۱۱۸ نهر با دبی طراحی ۱۰ ساله، حتی قادر به گذردهی رواناب ناشی از بارش ۵ ساله هم نیستند و تحت بارش ۵ ساله نیز دچار آبگرفتگی شدند.

از آنجایی که یکی از عوامل تعیین دوره بازگشت طراحی انهار، موقعیت آنهاست، بنابراین انهار با دوره بازگشت طراحی ۱۰ سال قطعاً در مناطق دارای اهمیت بیشتر هستند و ضعف این چنین در عملکرد آنها باید بررسی و اصلاح شود. واضح است که اولویت اصلاحات با بررسی بیشتر و تلفیق نتایج مدل‌سازی با سایر معیارها مشخص می‌شود.

جدول ۲- تعداد انهار سیلابی

Table 2. Number of flooded canals

Number of flooded canals, with design return period of 10 years under a 10 year rainfall	Number of flooded canals with design return period of 10 years	Number of flooded canals, with design return period of 5 years under a 5 year rainfall	Number of flooded canals with design return period of 5 years
146	1177	13	146

#### ۲-۴- معیارهای مؤثر در ریسک سیلاب

در جدول ۳ وزن به‌دست آمده برای هر یک از معیارها و زیرمعیارها، امتیازات کاربری‌های اراضی و همچنین نحوه دسته بندی و امتیازات مربوط به هر یک از معیارها و زیرمعیارها ارائه شده است.

از آنجایی که هدف مقاله استفاده از روش‌های Spatial MCDM<sup>۱</sup> به‌منظور ایجاد نقشه پهنه‌بندی ریسک سیلاب در انهار منطقه بود، تمامی لایه‌ها به فرمت نقشه‌های GIS تبدیل شدند. در شکل ۵ لایه‌ها و زیرلایه‌های ورودی به مدل تصمیم‌گیری ارائه شده است.

(Engineers, 2011) به‌دست آمد و با توجه به این که لازمه محاسبات بارش در این معادله داشتن ارتفاع منطقه است، متوسط ارتفاع منطقه ۱۱ (برابر با ۱۱۶۳ متر از آبهای آزاد) وارد معادله شد و بر همین اساس ارتفاع بارش با دوره بازگشت ۵ سال و ۱۰ سال به ترتیب ۲۱ و ۲۴/۵ میلی‌متر به‌دست آمد. در شکل ۴ الگوی توزیع زمانی بارش در شهر تهران ارائه شده و توزیع مکانی بارش در سطح منطقه یکنواخت فرض شده است.

از آنجایی که برای مدل، آستانه ۸۵ درصد عمق جریان به عمق انهار، به‌عنوان مرز آبگرفتگی تعریف شده است، نقاط و خطوط آبی در شمای خروجی نشان دهنده گره‌ها و انهار سیلابی با نسبت عمق جریان بیشتر از ۸۵ درصد هستند. با توجه به این موضوع که انتظار می‌رود دبی مربوط به سیلاب با دوره بازگشت طراحی از هر یک از انهار عبور کند، عدم توانایی انهار در گذردهی سیلابی بزرگ‌تر از سیلاب طراحی نمی‌تواند نشان دهنده عدم کارایی آنها باشد. درصد پرشدگی انهار با دوره بازگشت طراحی ۵ ساله از خروجی مدل تحت بارش ۵ ساله و درصد پرشدگی انهار با دوره بازگشت طراحی ۱۰ ساله از خروجی مدل تحت بارش ۱۰ ساله استخراج شد.

نتایج مدل‌سازی نشان دهنده عملکرد نامناسب ۸ درصد از انهار با دبی طراحی ۵ ساله و ۱۲ درصد از انهار با دبی طراحی ۱۰ ساله است و این ارقام نشان دهنده لزوم بررسی بیشتر و همچنین لزوم

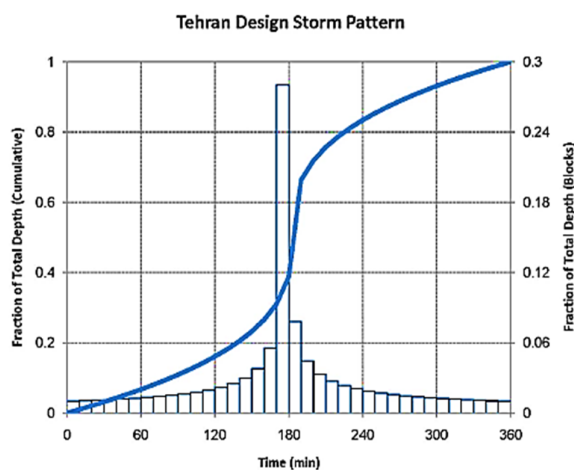


Fig. 4. The pattern of rainfall's temporal distribution in the city of Tehran

شکل ۴- الگوی توزیع زمانی بارش در شهر تهران

<sup>۱</sup> Spatial Multi Criteria Decision Making

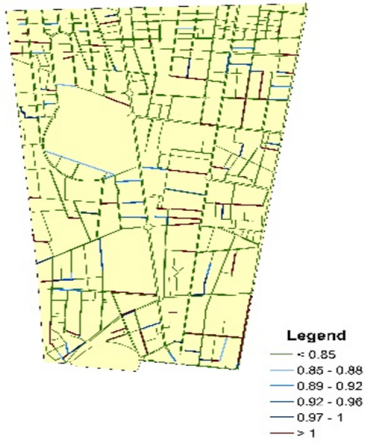
## جدول ۳- معیارها و زیرمعیارها و اوزان و امتیازات آنها

Table 3. Criteria and sub-criteria and their weights and scores

Criteria and their weights	Categories	Category's score	Normalized score	Sub-Criteria and their weights	Categories	Category's score	Normalized score				
Hydrological and Hydraulic (Criteria's weight: 0.42)	0.85>	0	0								
	0.88-0.85	1	0.11								
	0.92-0.89	3	0.33								
	0.96-0.93	5	0.56								
	1-0.97	7	0.78								
	1<	9	1								
Social (Criteria's weight: 0.15)				Distance from important places (Sub-Criteria's weight: 0.6)	20-0	1	0.11				
					40-21	3	0.33				
					60-41	5	0.56				
					80-61	7	0.78				
					100-81	9	1				
					100<	0	0	Land use (Sub-Criteria's weight: 0.4)	Military	2.48	1
							Residential		2.39	0.97	
							Commerical		1.84	0.71	
							Industrial		1.13	0.46	
							Institutional		1.10	0.44	
							Transportation		0.79	0.32	
							Parks and open spaces		0.42	0.17	
							Other		0.22	0.09	
Traffic (Criteria's weight: 0.16)	Without Traffic	0	0								
	Traffic degree 1	5	0.56								
	Traffic degree 2	7	0.78								
	Traffic degree 3	9	1								
Structural (Criteria's weight: 0.06)	0	0	0								
	0.2-0	1	0.11								
	0.5-0.21	3	0.33								
	0.8-0.51	5	0.56								
	1-0.81	7	0.78								
	1<	9	1								
Environmental (Criteria's weight: 0.11)				Rubbish (Sub-Criteria's weight: 0.24)	Very Low	1	0.11				
					Low	3	0.33				
					Medium	5	0.57				
					High	7	0.78				
					Very high	9	1				
				Trash Racks (Sub-Criteria's weight: 0.18)	sediment Boxes	1	0.11				
					Trash racks	3	0.33				
					Without any	9	1				
				Waste water (Sub-Criteria's weight: 0.58)	Without base flow	0	0				
					inaccessible	3	0.42				
					Clear base flow	5	0.71				
					Wastewater base flow	7	4				
				Urban Appearance (Criteria's weight: 0.10)	Medium	5	0.56				
Very poor	9	1									

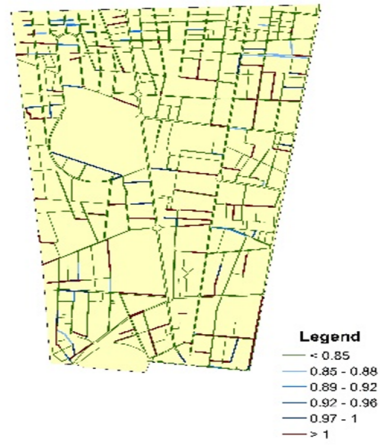


**Inflow Depth to Canal Depth Ratio**  
Return Period: 5 year



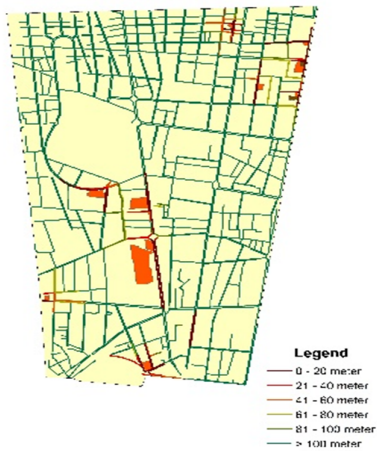
(a)

**Inflow Depth to Canal Depth Ratio**  
Return Period: 10 year



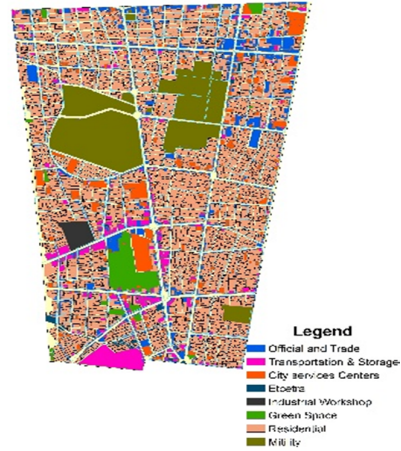
(b)

**Distance From Important Places**



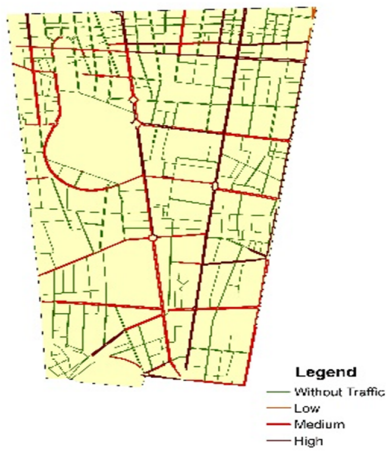
(c)

**Land Use**



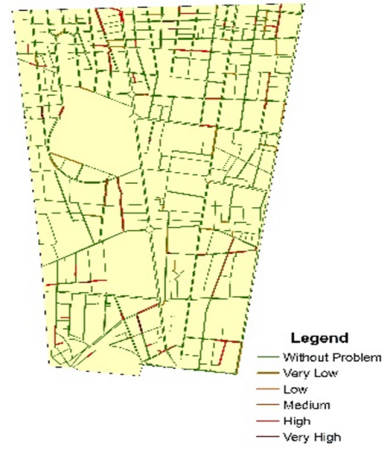
(d)

**Traffic Situation**



(e)

**Structural Problems**

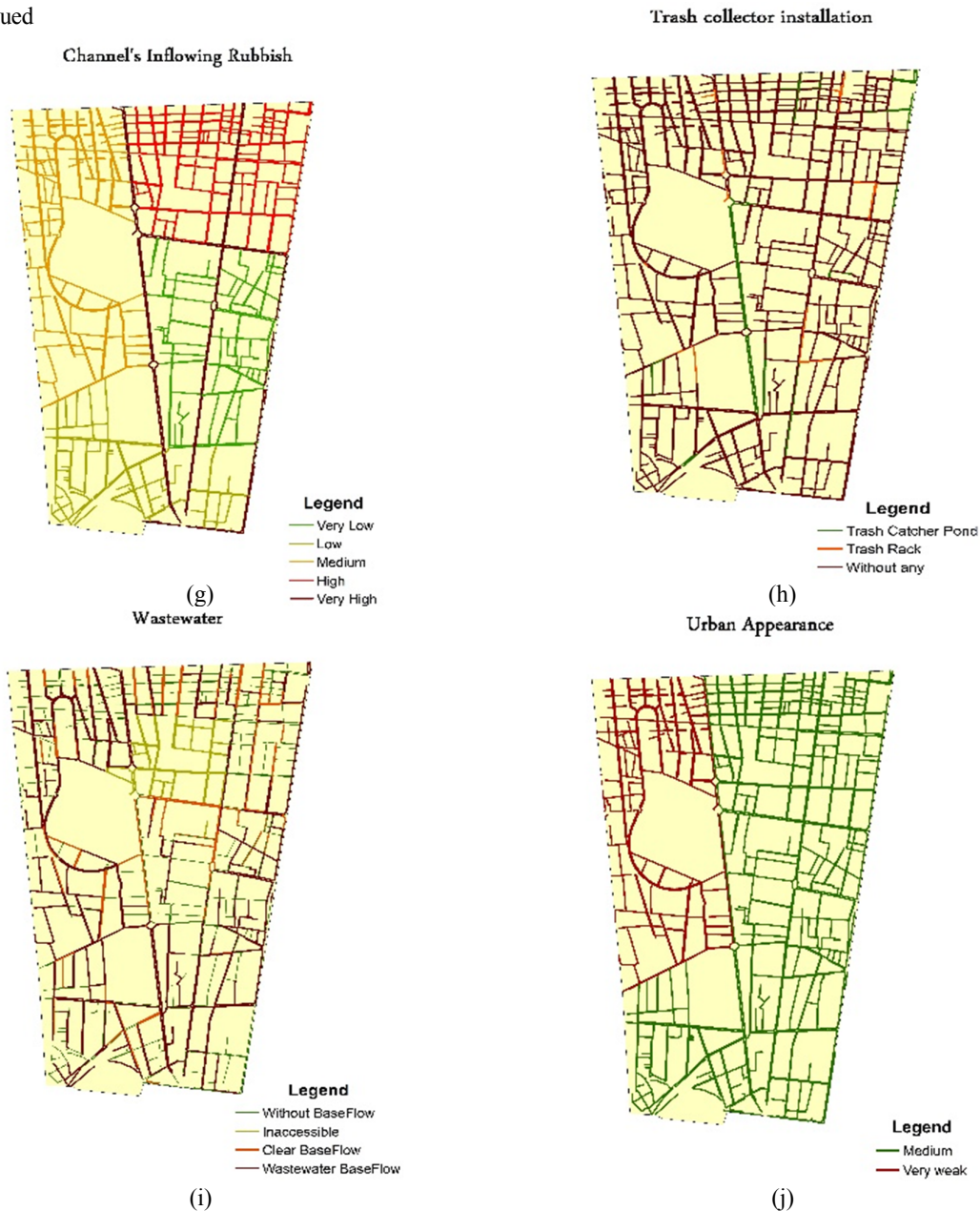


(f)

Continue on the next page



Continued



**Fig 5.** (a) Inflow depth to canal depth ratio considering 5-year flood. (b) Inflow depth to canal depth ratio considering 10-year flood. (c) Distance from important places, (d) the study area land use, (e) the region's traffic situation, (f) the canal's structural problems, (g) the study area situation in terms of the amount of canal's inflowing trash, (h) the canals condition in terms of trash collector installation, (i) the quality of waste water in canals, (j) urban appearance condition behind canals

شکل ۵- (a) درصد پرشدگی تحت سیلاب ۵ ساله، (b) درصد پرشدگی تحت سیلاب ۱۰ ساله، (c) فاصله از مراکز حساس، (d) کاربری اراضی محدوده مطالعاتی، (e) وضعیت ترافیکی منطقه، (f) مشکلات سازه ای انهار، (g) وضعیت منطقه مطالعاتی از نظر مقدار زیاده ریزشی به کانال، (h) وضعیت کانال‌ها از نظر تاسیسات آشغالگیر، (i) کیفیت فاضلاب موجود در انهار، (j) وضعیت سیمای شهری در حاشیه انهار





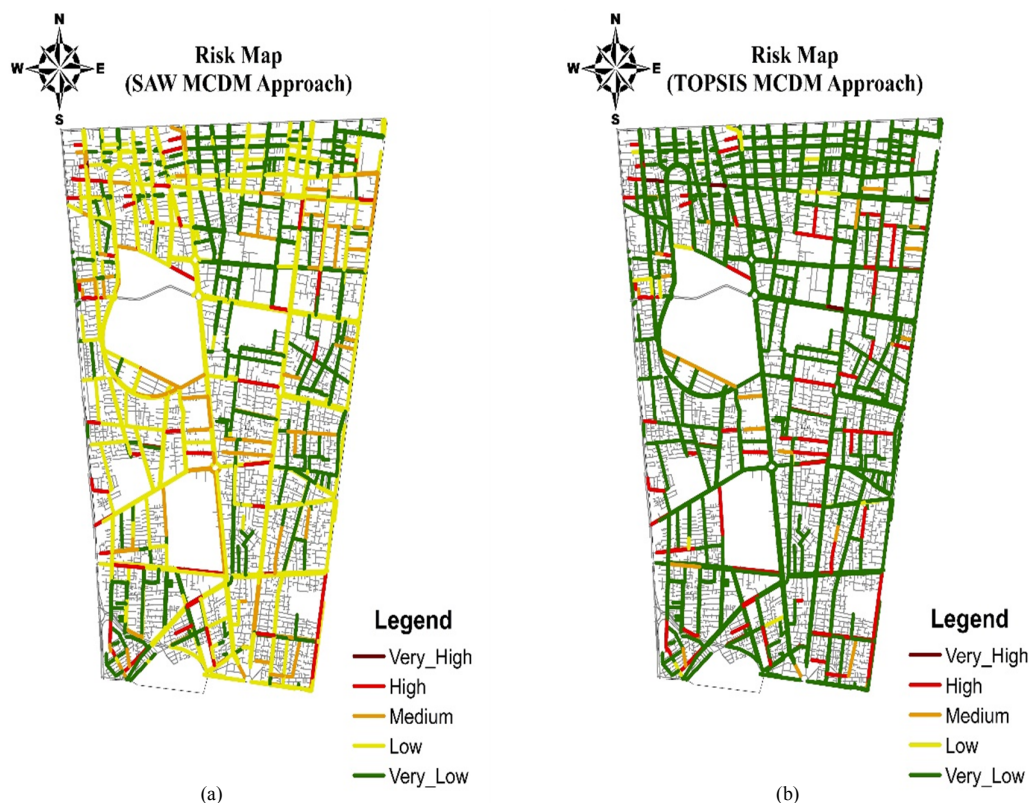


Fig. 6. Final risk map, made by (a) Spatial SAW approach and (b) Spatial TOPSIS approach  
 شکل ۶- نقشه ریسک نهایی، ایجاد شده با بهره‌گیری از (a) روش SAW مکانی و (b) روش TOPSIS مکانی

مختلف، همانطور که انتظار می‌رود شباهت زیادی بین نقشه ریسک خروجی با معیار هیدرولوژیکی- هیدرولیکی وجود دارد، این امر تأثیر به‌سزای نظرات تصمیم‌گیرنده در چگونگی نقشه ریسک خروجی را به وضوح نشان می‌دهد.

تفاوت در خروجی‌های دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره SAW و TOPSIS به دلیل تفاوت عمیق در نحوه محاسبات آنها است. روش SAW ساده‌ترین روش تلفیق لایه‌هاست و روش TOPSIS با محاسبات دقیق‌تر، فاصله از حالات ایده‌آل و غیرایده‌آل را به صورت همزمان مورد بررسی قرار می‌دهد. به هر حال تفاوت خروجی‌ها، به طور کامل با مقایسه تک به تک مقادیر ریسک در انهار قابل توجیه است. به طور مثال انهاری که با روش SAW دارای ریسک زیاد بودند، در روش TOPSIS دارای ریسک خیلی زیاد شدند و انهاری که دارای ریسک متوسط در روش SAW بودند در روش TOPSIS با توجه به وضعیتشان دارای ریسک زیاد،

### ۳-۴- نقشه ریسک نهایی و تحلیل آن

تمامی لایه‌ها و زیر لایه‌های تشریح و نمایش داده شده در بخش قبل، در این مرحله با یکدیگر تلفیق شدند و نقشه ریسک نهایی با دو روش SAW و TOPSIS استخراج شد. نقشه‌های ریسک در شکل ۶ و خلاصه نتایج کلاس بندی ریسک و تعداد انهار موجود در هر کلاس، در جدول ۴ ارائه شده است.

با توجه به نقشه‌های ریسک نهایی، مطالب زیر قابل بیان است: در مناطق شهری دارای شبکه جمع‌آوری رواناب روباز، تنها حجم رواناب منجر به ایجاد آبگرفتگی نمی‌شود، عامل مؤثر دیگر زباله است. به دلیل وجود زباله در تمامی انهار، عامل ایجاد ریسک در هیچ نهری صفر نیست و مجموع تعداد انهار در کلاس‌های مختلف ریسک برابر با ۱۳۲۳ نهر برابر با تعداد کل قطعات انهار است.

با توجه به جدول ۳ و مقایسه نقشه ریسک با نقشه لایه‌های



جدول ۴- متغیرهای بیانی توصیف کننده ریسک و تعداد آنها در هر کلاس ریسک

Table 4. Linguistic variables describing the risk value and the number of canals within every risk class

TOPSIS		SAW		The corresponding numerical range of each linguistic variable	Linguistic variables describing the risk value
Number of canals with design return period of 10 years (Canal's length (meter))	Number of canals with design return period of 5 years (Canal's length (meter))	Number of canals with design return period of 10 years (Canal's length (meter))	Number of canals with design return period of 5 years (Canal's length (meter))		
2 (316.9)	3 (339.4)	1 (10.9)	1 (49.7)	1-0.8	Very high
94 (13560.5)	5 (552.9)	59 (8400.2)	4 (490.4)	0.8-0.6	high
26 (3312.8)	1 (96)	114 (17703.1)	8 (832.2)	0.6-0.4	Medium
20 (2149.1)	1 (222.5)	603 (68965)	77 (9149.7)	0.4-0.2	Low
1035 (124631.2)	136 (15749.4)	400 (48891.3)	56 (6438.2)	0.2-0	Very low

محل رفت و آمد، کسب و زندگی مردم، به سرعت افراد و دارایی‌های آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به منظور ایجاد نقشه جامع ریسک با در نظر گرفتن معیارهای مختلف، از تلفیق GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شد.

در گام نخست، مدل‌سازی شرایط هیدرولوژیکی و هیدرولیکی منطقه با استفاده از نرم‌افزار جدید و قدرتمند Autodesk SSA انجام شد و نتایج مدل‌سازی با عنوان لایه هیدرولوژیکی- هیدرولیکی به صورت مکانی وارد GIS شد. با تعریف لایه‌ها و زیرلایه‌های اطلاعاتی با توجه به شرایط منطقه، و تعریف ساختار سلسله مراتبی، پرسشنامه تخصصی تهیه و با استفاده از نظرات کارشناسان وزن لایه‌ها تعیین شد. در نهایت با استفاده از دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره SAW و TOPSIS تلفیق لایه‌ها به صورت مکانی و در محیط GIS انجام شد و نقشه ریسک نهایی استخراج شد.

مطالعه موردی این پژوهش منطقه ۱۱ شهر تهران بود، که از جهات مختلف منطقه‌ای استراتژیک در مرکز تهران محسوب می‌شود.

نتایج حاصل از انجام این پژوهش در منطقه نشان دهنده مقدار ریسک خیلی زیاد و زیاد در ۶ تا ۹ درصد کل طول کانال‌ها است که این امر لزوم اصلاح شبکه را مشخص می‌سازد. در نهایت با توجه به ذات غیرقطعی پدیده سیلاب و تغییرات زیاد پدیده بارش

کم و یا حتی خیلی کم شدند. بررسی مقادیر مربوط به معیارها و زیرمعیارها در انباری دارای ریسک متوسط در روش SAW و مقایسه آنها نشان داد روش TOPSIS با دقت بالا این انبار را در سایر دسته‌ها طبقه‌بندی کرده است.

با توجه به تمامی این تفاسیر و همچنین با توجه به شرایط هیدرولوژیکی- هیدرولیکی منطقه و تعداد کانال‌های دچار آبگرفتگی، به نظر می‌رسد روش TOPSIS کارایی بیشتری در تلفیق چنین اطلاعاتی دارد.

نقشه ریسک جامعی که در این پژوهش ارائه شد، به خوبی می‌تواند راهنمای مدیران و تصمیم‌گیرندگان به منظور تصمیم‌گیری در مورد اولویت‌های اصلاح سیستم زهکشی سیلاب در منطقه مطالعاتی باشد. وارد کردن نظرات کارشناسان مختلف، تغییر وزن لایه‌های اطلاعاتی و یا حتی تغییر لایه‌ها به راحتی در این سیستم قابل اجرا است.

## ۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش روشی جامع به منظور مدیریت ریسک سیلاب شهری ارائه شد. هدف این پژوهش تعیین مقدار ریسک سیلاب در مقیاس کانال‌های درجه ۳ و ۴ شبکه زهکشی رواناب شهری است. کانال‌هایی که اگرچه برای گذردهی سیلاب ۵ و یا ۱۰ ساله طراحی شده‌اند اما هرگونه آبگرفتگی در آنها، با توجه به ارتباط نزدیکشان با



### ۶-قدردانی

به این وسیله از همکاری متخصصان محترم شرکت مهندسی مشاور زیستاب، برای مساعدت در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

با توجه به تغییرات آب و هوایی و اقلیمی و همچنین دقت پایین اطلاعات موجود، پیشنهاد می‌شود ساختار ارائه شده در این پژوهش به صورت غیر قطعی (فازی یا احتمالاتی) و با در نظر گرفتن دامنه تغییرات بارش با استفاده از سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، در مطالعات بعدی مورد توجه قرار بگیرد.

## References

- Ahmadisharaf, E. & Tajrishy, M. 2013. Siting detention basins using SWMM and spatial multi-criteria decision Making. *Journal of Water and Wastewater*, 25(6), 57-66. (In Persian)
- Ahmadisharaf, E., Tajrishy, M. & Alamdari, N. 2016. Integrating flood hazard into site selection of detention basins using spatial multicriteria decision-making. *Journal of Environmental Planning and Management*, 59(8), 1397-1417
- Chen, J., Hill, A. A. & Urbano, L. D. 2009. A GIS-based model for urban flood inundation. *Journal of Hydrology*, 373, 184-192
- Hwang, C. L. & Yoon K. P. 1981. *Multiple attribute decision making: Methods and applications*, Springer-Verlag, New York.
- Jalayer, F., Giugni, M., Topa, M. E., Nebebe, A., Renner, F., De Risi, R., et al. 2014. Probabilistic GIS-based method for delineation of urban flooding risk hotspots. *Journal of Natural Hazard*, 73(2), 975-1001.
- Kim, G., Park, C. S. & Yoon, K. P. 1997. Identifying investment opportunities for advanced manufacturing systems with comparative-integrated performance measurement. *Journal of Production Economics*, 50(1), 23-33.
- Mahab Ghodss Consulting Company. 2011. *Comprehensive project of Tehran's surface water management*, Tehran, Iran, (In Persian).
- Meyer, V., Scheuer, S. & Haase, D. 2009. A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany. *Journal of Natural Hazard*, 48(1), 17-39
- Radmehr, A. & Araghinejad, S. 2016. Optimal urban flood management using spatial multi criteria decision making approach. *Amirkabir Journal of Civil and Environmental Engineering*, 48(3), 227-240. (In Persian)
- Saaty, T.L. 1980. *The analytical hierarchical process: Planning, priority setting, resource allocation*, McGraw-Hill, New York.
- Schanze, J. 2006. "Flood risk management - a basic framework", In: Schanze, J., Zeman E., Marsalek, J. (Eds.) *Flood risk management: Hazards, Vulnerability and Mitigation measures*, Nato Science Series, Vol. 67. Springer, Dordrecht.
- Shahmansouri, A., Sabahi, M. S., Rezaei Adryani, R., Lotfi, A. & Khodadadi Darban, A. 2012. The application of Analytic Hierarchy Process (AHP) in the selection of type and location of water treatment plant. *Journal of Water and Wastewater*, 23(4), 134-139. (In Persian)
- Soleimani, M., Behzadian, K. & Ardeshir, A. 2016. Evaluation of strategies for modifying urban storm water drainage system using risk-based criteria. *Journal of Water and Wastewater*, 26(6), 16-29. (In Persian)
- Tabesh, M., Badali Bavani, E., Asgarian, M. & Roozbahani, A. 2015. An algorithm for risk analysis and management of wastewater treatment plants. *Iran-Water Resources Research*, 10(3), 53-65. (In Persian)
- Tingsanchali, T., 2012. Urban flood disaster management. *Journal of Procedia Engineering*, 32, 25-37.
- Zhu, Z., Chen, Z., Chen, X. & He, P. 2016. Approach for evaluating inundation risks in urban drainage systems. *Journal of Science of Total Environment*, 553, 1-12.
- Zistab Consulting Engineers. 2015. *Basic studies report (A study on operationalizing comprehensive surface waters plan and preparing river streams and canals improvement schemes for the District 11 of the city of Tehran*, Tehran, Iran. (in Persian)

