

## کاربرد روش تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی فازی در تعیین مناطق آسیب‌پذیر از سیلاب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهری تهران)

احمد رادمهر<sup>۱\*</sup> و شهاب عراقی نژاد<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۱/۵/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۲۵

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش مهندسی منابع آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

<sup>۲</sup> استادیار، بخش مهندسی منابع آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: aradmehr414@yahoo.com

### چکیده

اولویت‌بندی زیرحوضه‌های واقع در یک حوضه آبخیز به منظور انجام مطالعات کنترل سیلاب می‌تواند در قالب یک مسئله چند معیاره مطرح شود. در این تحقیق از یک سیستم پشتیبان برنامه‌ریزی فازی با تکیه بر تحلیل‌های مکانی با به کارگیری دو روش تصمیم‌گیری چند معیاره شامل فرایند تحلیل سلسله مراتبی و روش تاپسیس در محیط فازی به منظور در نظر گرفتن ابهام در فرایند تصمیم‌گیری استفاده شده است. از روش تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین ساختار فرایند تصمیم‌گیری و برآورد وزن نقشه‌های معیار و از مدل تاپسیس فازی برای رتبه‌بندی نهایی زیرحوضه‌های واقع در حوضه آبخیز شهری تهران استفاده شده است. همچنین به منظور انجام تحلیل‌های مکانی جهت انجام فرایند تصمیم‌گیری از یک جعبه ابزار توسعه داده شده در محیط نرم‌افزاری با برنامه‌نویسی در محیط Visual Basic استفاده شده است. در این تحقیق مدلی ارائه می‌شود که در آن مفاهیم مبهمی نظیر وزن معیارهای تصمیم‌گیری به صورت متغیرهای زبانی قابل تبدیل به اعداد فازی مثلثی بیان می‌شوند. در نهایت با استفاده از جابجایی وزن معیارهای تصمیم‌گیری و تولید سناریوهای وزن‌دهی، به تحلیل حساسیت مدل پرداخته شده است. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که زیرحوضه سه درون شهری در ۱۹ سناریو اولویت اول را از نظر مطالعات کنترل سیلاب کسب کرده است.

واژه‌های کلیدی: اولویت‌بندی، تاپسیس فازی، تحلیل حساسیت، تحلیل سلسله مراتبی، تصمیم‌گیری چند معیاره، مدیریت سیلاب

## Application of Fuzzy Spatial Multi Criteria Decision Making Approach in Determination of the Flood Vulnerable Zones (Case Study: Tehran Urban Basin)

A Radmehr\*<sup>1</sup> and S Araghinejad<sup>2</sup>

Received: 7 August 2012 Accepted: 15 January 2014

<sup>1</sup>- M.Sc. Student, Dept of Water Resources Engineering, University of Tehran, Iran.

<sup>2</sup>- Assist. Prof, Dept of Water Resources Engineering, University of Tehran, Iran.

\*Corresponding Author Email: aradmehr414@yahoo.com

### Abstract

Prioritization of the existent sub-basins in a basin in order to study flood control can be discussed in the framework of a spatial multiple criteria problem. In this research a Fuzzy planning support system based on spatial analysis using the multi criteria decision making methods of Analytic Hierarchy Process (AHP) and TOPSIS in Fuzzy environment to consider some uncertainty in decision making process is used. The AHP method is used to determine the structure of decision making process and to estimate the weights of criteria maps and the TOPSIS model is used to rank the sub-basins of Tehran urban basin. Also in order to perform spatial analysis for decision-making process, a developed toolbox in software environment with programming in visual basic is used. In this research a model is represented in which some vague concepts such as weights of decision making criteria are expressed in the form of linguistic variables to be converted to triangular fuzzy numbers. Finally, the sensitivity of the model was analyzed by changing the weights of decision making criteria and providing ranking scenarios. The results of sensitivity analysis showed that the sub-basin 3 acquired the first priority among the 19 scenarios for urban flood control study.

**Keywords:** Analytic Hierarchical Process, Flood control, Fuzzy TOPSIS, Multi criteria decision making, Prioritizing, Sensitivity analysis

### مقدمه

در یک حوضه مستلزم بکارگیری حجم بالایی از اطلاعات و داده‌های متنوع در مورد خصوصیات فیزیکی حوضه، کاربری اراضی، نوع خاک حوضه و وضعیت هیدرولیکی مسیر جریان می‌باشد. از این رو مدیریت سیلاب در یک حوضه نیازمند نگرش یکجا و سیستمی به سیکل هیدرولوژی در آن حوضه می‌باشد (گامبو و همکاران ۲۰۰۲، میلورادوف و مرجانویچ ۱۹۹۱). برت و همکاران

طراحی سیستم‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی در شهرها ارتباط بسیار نزدیکی با برنامه‌ریزی شهری دارد و عملاً بخشی از آن تلقی می‌شود. مسئله دفع آب‌های سطحی از مسائل عمده ایمن‌سازی مناطق مسکونی از خطر وقوع سیلاب و نهایتاً رفع خسارات احتمالی از مناطق شهری می‌باشد (آلکانتارا ۲۰۰۲). مطالعه سیلاب

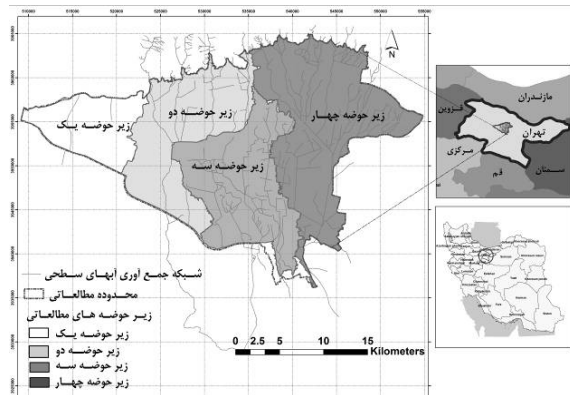
منظور مدیریت آب شهری در شهر زاهدان مورد بررسی قرار دادند. هالفاوی و همکاران (۲۰۰۸) از یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی به منظور برنامه‌ریزی شبکه جمع‌آوری آبهای سطحی استفاده کردند. از روش تاپسیس نیز به طور گسترده‌ای در مسائل رتبه‌بندی استفاده می‌شود که می‌توان به کاربردهای آن در زمینه مدیریت منابع آب (سیمونویچ و ورما ۲۰۰۸)، اقتصاد و محیط زیست (مونتاناری ۲۰۰۴ و لی ۲۰۰۹)، مدیریت مواد زائد (چنگ و همکاران ۲۰۰۸)، مدیریت پروژه (کائو و همکاران ۲۰۰۶) اشاره کرد. سیمونویچ و ورما (۲۰۰۸) در یک مسئله مرتبط با جمع‌آوری آبهای سطحی، از روش تاپسیس استفاده کردند. در تحقیق ایشان عدم قطعیت در مقادیر وزن معیارها از طریق تولید مجموعه‌ای از راه-حل‌های پارتوی فازی مورد بررسی قرار گرفت. افشار و همکاران (۲۰۱۰) کاربرد روش تاپسیس فازی را در ارزیابی سناریوهای مدیریتی منابع آب با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی-اجتماعی، اکولوژیکی، زیست محیطی، سیاسی و حقوقی در سد مخزنی کارون نشان دادند. سرژیویچ و همکاران (۲۰۰۴) کاربرد روش تاپسیس را در ارزیابی سناریوهای مدیریتی منابع آب و اولویت‌بندی آنها نشان دادند. در تحقیق ایشان، شاخص‌های کارایی سیستم به صورت مکانی و زمانی تعیین شدند. ضرغامی و همکاران (۲۰۰۸) روش جدیدی را در مدل سازی فازی-استوکستیک با استفاده از یکی از متدهای تصمیم‌گیری چند معیاره (عملگر OWA) توسعه دادند. مطالعه موردی ایشان حوضه آبریز سفیدرود ایران بود. مطالعات مرتبط با مدیریت سیلاب را می‌توان در قالب دو دسته کلی تقسیم بندی نمود که شامل مسائل مربوط به پیش بینی سیلاب و ارزیابی آسیب‌پذیری سیلاب می‌باشد. بخش اول (پیش‌بینی سیلاب) عمدتاً مرتبط با شاخص‌های دینامیک (پویا) سیلاب و عدم قطعیت‌های مربوط به آنها می‌باشد. این در حالی است که بخش دوم معمولاً به مشخصه‌های استاتیک مرتبط با پدیده سیلاب شامل مشخصه‌های منطقه‌ای و تاثیر آنها در میزان خطرپذیری سیلاب مربوط می‌شود. با توجه به مواردی که مطرح شد، تحقیق حاضر مرتبط با بخش

(۲۰۰۶) به بررسی کنترل فعال و غیر فعال در مخازن غیرخطی با هدف کاهش ارتفاع سیلاب در حوضه شهری واقع در شمال کالیفرنیا پرداختند. آنها دریافتند که انتقال رواناب اضافی به یک مخزن غیرخطی خصوصاً در مناطقی مانند حوضه‌های شهری که دارای ذخایر غیر خطی معدودی هستند، جهت کاهش ارتفاع حداکثر سیلاب بسیار مفید می‌باشد. اسکولز (۲۰۰۷) در تحقیقی اقدام به طبقه‌بندی روش‌های تعیین ظرفیت ذخیره سیلاب حوضه ای نمود. وی با بررسی ۳۴ متغیر کمی و کیفی موجود در ۳۴۰ حوضه آلمان، ظرفیت ذخیره حوضه‌ای را تعیین و طبقه‌بندی کرد. برخی از مسائل و مشکلات زندگی روزمره در زمینه مدیریت می‌توانند در ردیف مسائل آنالیز چند معیاری قرار بگیرند که از آن جمله می‌توان ارزیابی و انتخاب منابع، استراتژی‌ها، پروژه‌ها و پیشنهادات را نام برد (اصغرپور ۱۳۸۳). کاربرد روش تصمیم‌گیری چند معیاره در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۱</sup> در تحلیل مسائل مخاطرات طبیعی و تحلیل مناسبت‌ها به تفصیل توسط محققان مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. مالچوفسکی (۲۰۰۶) کاربرد کمیت‌های فازی را در مسئله تحلیل مناسبت اراضی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی با استفاده از روش میانگین وزنی مرتب شده<sup>۲</sup> که یکی از روش‌های ارزیابی چند معیاره می‌باشد، مورد بررسی قرار داد. ارزیابی ریسک سیلاب با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره گروهی فازی در حوضه‌ای در کشور سریلانکا مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه، متوسط عمق سیلاب و همچنین میزان گستردگی محدوده سیلابی به عنوان شاخص‌های خطرپذیری در نظر گرفته شدند. این در حالی است که شاخص‌هایی نظیر تراکم جمعیتی در محدوده مورد مطالعه به عنوان شاخص‌های آسیب‌پذیری تعیین شدند (فانکو و قانشان ۲۰۱۰). ابریشم‌چی و همکاران (۲۰۰۵) کاربرد روش برنامه‌ریزی سازشی که یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد را به

<sup>۱</sup> Geographic Information System

<sup>۲</sup> Ordered Weighted Average Method

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد حوضه آبریز شهری تهران از چهار زیرحوضه درون شهری تشکیل شده است.



شکل ۱- محدوده مطالعاتی شبکه جمع‌آوری آبهای سطحی تهران.

#### فرایند تحلیل سلسله مراتبی

فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از کارآمدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری می‌باشد که اولین بار توسط ساعتی (۱۹۸۰) مطرح شد. مدل‌سازی با استفاده از این روش شامل گام‌های زیر است: ۱) ساختن یک ساختار سلسله مراتبی برای مساله. ۲) تعیین ماتریس‌های مقایسه زوجی، محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها و ۳) بررسی سازگاری سیستم. در خصوص استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی باید اشاره شود که با توجه به ساختار سلسله مراتبی مسئله مدیریت سیلاب شهری از این روش در تحقیق حاضر استفاده شده است.

الگوریتم پیشنهادی به منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌های واقع در حوضه آبریز شهری تهران

الگوریتم پیشنهادی به منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌های واقع در حوضه آبریز شهری تهران، ترکیبی از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس در محیط تصمیم‌گیری فازی با تکیه بر تحلیل‌های مکانی می‌باشد، که از مراحل زیر تشکیل شده است:

-جمع‌آوری اطلاعات و انجام تجزیه و تحلیل‌های لازم بر روی آنها.

-تعیین گزینه‌ها و معیارهای مناسب جهت انجام

فرایند تصمیم‌گیری.

اخیر می‌باشد به گونه‌ای که با توجه به مطالعات پیشین انجام شده در زمینه مدیریت سیلاب و بررسی نتایج آنها، به ارزیابی آسیب‌پذیری سیلاب در محدوده حوضه آبریز شهری تهران، با تکیه بر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و انجام تحلیل‌های مکانی پرداخته شده است. به نحوی که از ماتریس تصمیم‌گیری مبتنی بر تحلیل‌های مکانی به منظور انجام تحلیل‌های فازی استفاده شده است. به عبارت دیگر استفاده از مقادیر عددی استخراج شده از نقشه‌های معیار تصمیم‌گیری به منظور انجام تحلیل‌های فازی که از تحلیل‌های چند معیاره مکانی حاصل شده است، به عنوان یکی از نتایج مهم این تحقیق می‌باشد. با توجه به موارد مطرح شده، هدف اصلی از انجام این مطالعه ارائه یک الگوی مناسب برای کمک به تصمیم‌گیران به منظور رتبه‌بندی زیرحوضه‌های یک حوضه آبریز از نظر مطالعات کنترل سیلاب در قالب یک سیستم پشتیبان برنامه‌ریزی، برای انجام مدیریت بهینه آن می‌باشد. لازم به ذکر است که موضوع فوق در قالب یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی با در نظر گرفتن تعدادی از معیارها مطرح می‌باشد که با عدم قطعیت و ابهام مواجه هستند. به این منظور از روش تحلیل سلسله مراتبی<sup>۱</sup> برای تعیین وزن معیارهای ارزیابی و از روش تاپسیس<sup>۲</sup> در محیط تصمیم‌گیری فازی با عبارت‌های زبانی و با استفاده از اعداد فازی مثلثی برای در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها و رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها استفاده شده است. همچنین به منظور انجام تحلیل‌های فازی از ماتریس تصمیم‌گیری مبتنی بر تحلیل‌های مکانی با استفاده از جعبه ابزار توسعه داده شده در محیط نرم افزار ARC GIS 9.3 استفاده شده است.

#### مواد و روش‌ها محدوده مطالعاتی

در این تحقیق حوضه آبریز شهری تهران به عنوان محدوده مطالعاتی در نظر گرفته شده است (شکل ۱).

<sup>۱</sup> Analytic Hierarchy Process

<sup>۲</sup> Technique for Order-Preference by Similarity to Ideal Solution

## جدول ۱- متغیرهای زبانی و اعداد فازی مثلثی معادل آن.

اعداد فازی	متغیرهای زبانی
(۰، ۰، ۰/۲)	Very low (VL)
(۰، ۰/۲، ۰/۴)	Low (L)
(۰/۲، ۰/۴، ۰/۶)	Medium (M)
(۰/۴، ۰/۶، ۰/۸)	High (H)
(۰/۶، ۰/۸، ۱)	Very high (VH)
(۰/۸، ۱، ۱)	Excellent (E)

کلیه بررسی‌های این قسمت باید به صورت مکان‌دار و با مشخصات کامل صورت پذیرد تا امکان تحلیل آنها در مراحل بعدی وجود داشته باشد. معیارهای ارزیابی در این تحقیق به سه دسته اصلی شامل معیارهای آسیب‌پذیری، هیدرولیکی و اثرات محیطی تقسیم شدند. معیار آسیب‌پذیری شامل سه دسته معیار کاربری اراضی شهری، فاصله از کانالها و مسیلها (سیستم‌های جمع‌کننده رواناب) و تراکم شبکه کانالها و مسیلها، معیار هیدرولیکی شامل دو دسته معیار ارتفاع و شیب، و معیار اثرات محیطی نیز به دو دسته معیار ژئولوژی و سطح ایستابی تقسیم‌بندی شدند. لازم به ذکر است که معرفی معیارهای مذکور بر اساس کمیت و کیفیت اطلاعات در دسترس صورت گرفته است. زیرحوضه‌های واقع در حوضه آبخیز شهری تهران نیز به عنوان گزینه‌های تصمیم‌گیری معرفی شده‌اند.

## نتایج و بحث

## محاسبه وزن معیارهای تصمیم‌گیری

بعد از تعیین ساختار سلسله مراتبی تحقیق، وزن معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی محاسبه می‌شود. نتایج مربوط به محاسبات ماتریس مقایسه زوجی در جدول ۲ ارائه شده است. مقدار نرخ ناسازگاری نیز برای ماتریس مقایسه زوجی، بدست آمده است که نشان دهنده سازگاری نتایج می‌باشد. در شکل ۳ نیز اولویت‌بندی معیارهای تصمیم‌گیری بر اساس مقادیر وزن آنها ارائه شده است.

استانداردسازی نقشه‌های معیار در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی.

استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین وزن‌های نسبی هر یک از نقشه‌های معیار با توجه به جعبه ابزار توسعه داده شده در این تحقیق.

استخراج ماتریس تصمیم‌گیری حاصل از تحلیل‌های مکانی بر اساس نقشه‌های معیار تولید شده در مرحله قبل.

ارزیابی گزینه‌ها با استفاده از مدل تاپسیس فازی و تعیین اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها.

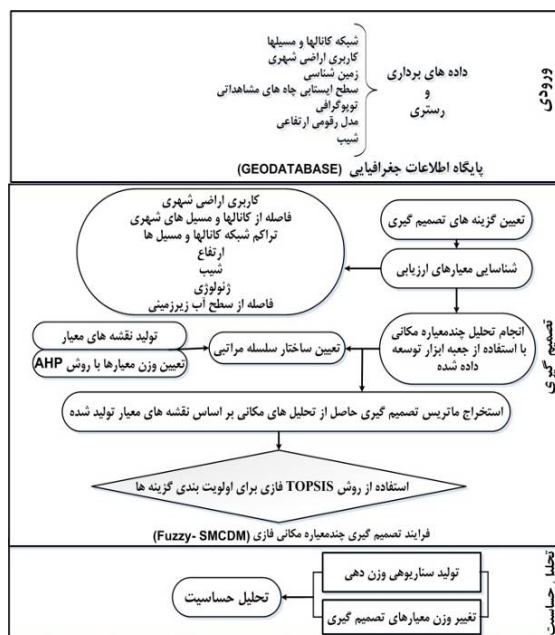
در مرحله اول پس از جمع‌آوری اطلاعات و انجام تجزیه و تحلیل‌های لازم بر روی آنها، گزینه‌ها و معیارهای تصمیم‌گیری تعیین شده و ساختار سلسله مراتبی شکل می‌گیرد. ساختار سلسله مراتبی بر این اساس شکل می‌گیرد که در سطح اول سلسله مراتبی، هدف نهایی تحقیق، در سطح دوم، معیارهای تصمیم‌گیری و در سطح سوم، گزینه‌ها قرار می‌گیرند. بعد از نهایی شدن ساختار سلسله مراتبی، وزن معیارها با روش AHP تعیین می‌شود. در مرحله بعد با استفاده از الگوریتم تاپسیس فازی و با توجه به پارامترهای موثر در میزان پتانسیل سیل‌خیزی در حوضه آبخیز شهری تهران، نسبت به تحلیل این عوامل با استفاده از نقشه‌های معیار تولید شده، به تفکیک هر یک از زیرحوضه‌های مطالعاتی و در نهایت نسبت به اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها اقدام خواهد شد. در این مرحله از متغیرهای زبانی برای ارزیابی گزینه‌ها استفاده می‌شود. همچنین اعداد فازی مثلثی مرتبط با عبارت‌های زبانی در جدول ۱ و الگوریتم انجام کار نیز در شکل ۲ ارائه شده است.

## شناسایی معیارهای تاثیر گذار در فرایند تصمیم‌گیری

همان‌طوری که در الگوریتم انجام تحقیق در شکل ۲ مشخص می‌باشد یکی از مراحل مهم، شناسایی عوامل تاثیرگذار در میزان پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز می‌باشد که در این مرحله، شرایط و وضعیت موجود مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

## تولید نقشه‌های معیار

به منظور تهیه نقشه‌های معیار، از یک جعبه ابزار توسعه داده شده در محیط نرم‌افزار Arc Gis 9.3 استفاده شده است که در این جعبه ابزار به منظور انجام تحلیل-های چندمعیاره در محیط GIS، از برنامه‌نویسی در محیط visual basic به عنوان واسط استفاده شده است (رادمهر و عراقی نژاد ۲۰۱۱). این در حالی است که بررسی تحقیقات انجام شده قبلی توسط محققان در زمینه مدیریت سیلاب نشان می‌دهد که این تحقیقات بر مبنای روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (یزدان دوست و بزرگی ۲۰۰۸) و یا استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (رودریگز و همکاران ۲۰۰۳) صورت گرفته است. در حالی که در تحقیق حاضر، کاربرد این روش‌ها به صورت تلفیقی در قالب روش تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی فازی در زمینه مدیریت سیلاب انجام شده است. در مدل تهیه شده در تحقیق حاضر، تمامی اطلاعات، متغیرهای ورودی، پردازش‌های لازم بر روی این متغیرها، روش تصمیم‌گیری چندمعیاره انتخابی (فرایند تحلیل سلسله مراتبی) که شامل تولید معیارهای اصلی اعم از معیارهای آسیب‌پذیری، هیدرولیکی و اثرات محیطی، همچنین زیرمعیارهای مربوط به آن‌ها و وزن-توسط فوا و مینووا (۲۰۰۵) در خصوص مسئله برنامه-ریزی حفاظت از مناطق جنگلی انجام شده است، معیار حفاظت از آب و خاک به عنوان یکی از معیارهای اصلی در تحقیق ایشان لحاظ شده است. به نحوی که یکی از زیرمعیارهای مربوط به حفاظت از آب و خاک، معیار مدیریت سیلاب می‌باشد، که برای آن پارامترهایی نظیر شیب، بارش سالانه، عمق خاک، ژئولوژی و توپوگرافی به عنوان زیرمعیار در نظر گرفته شده است. همان طور که در بخش‌های قبل اشاره شد، در این تحقیق معیارهای مرتبط با مسئله کنترل سیلاب بر اساس بررسی مطالعات انجام شده قبلی و همچنین کمیت و کیفیت اطلاعات موجود صورت گرفته است که در صورت دسترسی به اطلاعات دقیق‌تر نظیر خصوصیات خاک در محدوده حوضه آبخیز شهری تهران می‌توان به نتایج دقیق‌تری

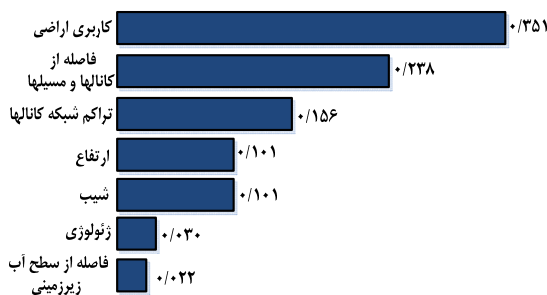


شکل ۲- الگوریتم پیشنهادی جهت اولویت‌بندی زیرحوضه-های واقع در حوضه آبخیز شهری تهران به منظور مطالعات کنترل سیلاب.

جدول ۲- نتایج حاصل از فرایند تحلیل سلسله مراتبی.

معیار	وزن (W)	$\lambda_{max}, CI, RI$	CR
C1	۰/۳۵۱	$\lambda_{max} = ۷/۸۷۸$	۰/۱
C2	۰/۲۳۸		
C3	۰/۱۵۶	CI = ۰/۱۴۵	
C4	۰/۱۰۱		
C5	۰/۱۰۱	RI = ۱/۳۲	
C6	۰/۰۳		
C7	۰/۰۲۲		

C1: کاربری اراضی شهری، C2: فاصله از کانالها  
C3: تراکم شبکه کانالها و مسیل‌های شهری، C4: ارتفاع،  
C5: شیب، C6: ژئولوژی، C7: فاصله از سطح آب زیرزمینی.



شکل ۳- اولویت‌بندی معیارهای تصمیم‌گیری.

توسط محققان دیگری نظیر فرناندز و لاتز (۲۰۰۹) نیز صورت گرفته است.

#### ارزیابی و تعیین رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها

در این مرحله از فرایند تصمیم‌گیری میزان ارجحیت گزینه‌ها به ازای هر یک از معیارها تعیین می‌شود. در این بخش با استفاده از نقشه‌های معیار تولید شده و ارزیابی هر یک از گزینه‌ها (زیرحوضه‌های مطالعاتی) به ازای هر یک از نقشه‌های معیار و کلاس‌های مربوط به آنها، اقدام به تهیه ماتریس تصمیم‌گیری می‌شود. لازم به ذکر است که ماتریس تصمیم‌گیری مذکور مبنای تحلیل‌های فازی در مرحله بعدی به حساب می‌آید. به منظور تهیه ماتریس تصمیم‌گیری مبتنی بر تحلیل‌های مکانی، ابتدا نقشه‌های معیار با استفاده از جعبه ابزار توسعه داده شده، تولید شدند. سپس بر اساس کلاس‌های خطرپذیری تعریف شده برای هر یک از نقشه‌های معیار که در بخش قبل به آن اشاره شد، یکی از کلاس‌های مذکور مبنای ارزیابی گزینه‌ها مدنظر قرار گرفت. به این ترتیب که برای همه نقشه‌های معیار به غیر از نقشه معیار ارتفاعی و نقشه معیار فاصله از سطح آب زیرزمینی، کلاس خطرپذیری یک مبنای محاسبات بعدی قرار گرفت. برای نقشه معیار ارتفاعی، کلاس ۲ خطرپذیری و برای نقشه معیار فاصله از سطح آب زیرزمینی نیز با توجه به اینکه در زیرحوضه‌های یک و دو، تنها یک کلاس خطرپذیری (کلاس با سطح ایستابی بزرگتر از ۳۰ متر = کلاس ۶) واقع می‌شود، کلاس ۶ خطرپذیری مبنای محاسبات برای این معیار در نظر گرفته شد. همچنین باید اشاره شود که کلیه نقشه‌های معیار به غیر از نقشه معیار فاصله از سطح آب زیرزمینی، به عنوان معیارهای سود در محاسبات مربوط به روش تاپسیس فازی در نظر گرفته شدند که این امر با توجه به کلاس خطرپذیری مورد استفاده در این معیارها محقق شده است. در مورد معیار سطح آب زیرزمینی باید اشاره شود با توجه به اینکه در این معیار از کلاس ۶ خطرپذیری استفاده شده است، این معیار به عنوان معیار هزینه در محاسبات مربوط به روش تاپسیس فازی در نظر گرفته شد. در شکل ۴ نقشه‌های

دست یافت. در مورد جعبه ابزار تهیه شده لازم به ذکر است که اشاره شود این جعبه ابزار در قالب یک برنامه الحاقی در محیط نرم افزار Arc Gis 9.3 که بر مبنای یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (فرایند تحلیل سلسله مراتبی) استوار است، قابل اجراست. نحوه اجرای برنامه فوق به این ترتیب است که ابتدا لایه‌های برداری ورودی توسط برنامه خوانده شده، بعد از انجام پردازش‌های لازم بر روی آنها، به فرمت اطلاعات رستری تبدیل می‌شوند. در گام بعدی ساختار سلسله مراتبی با توجه به هدف مسئله شکل گرفته و در مرحله بعد وزن معیارهای تصمیم‌گیری بر اساس ماتریس مقایسه زوجی محاسبه می‌شوند. در نهایت در گام آخر برنامه، نقشه‌های خروجی بعد از کلاسه‌بندی تولید می‌شود. همچنین هر یک از زیرمعیارها با توجه به تاثیر آنها در میزان پتانسیل سیل‌خیزی مناطق شهری به کلاس‌های مختلف خطرپذیری تقسیم‌بندی شدند. کلاسه‌بندی معیارهای اصلی و زیرمعیارهای مربوط به آنها به این صورت می‌باشد که کلاس‌های پایین‌تر (به سمت کلاس یک) تاثیر بیشتر و کلاس‌های بالاتر تاثیر کمتری در میزان سیل‌خیزی مناطق شهری دارند. نقشه معیار کاربری اراضی در محدوده مطالعاتی به پنج کلاس شامل خیابان، تجاری-بازرگانی، صنعتی، مسکونی و فضای باز، نقشه معیار فاصله از شبکه جمع‌آوری آب-های سطحی به هفت کلاس، نقشه معیار تراکم کانالها به شش کلاس، نقشه معیار ارتفاعی و نقشه معیار شیب، با توجه به وسعت محدوده مورد مطالعه به نه کلاس، نقشه معیار ژئولوژی به پنج کلاس و نقشه معیار فاصله از سطح آب زیرزمینی نیز به شش کلاس خطرپذیری تقسیم‌بندی شدند. در خصوص پارامترهای شیب و ارتفاع باید اشاره شود که این معیارها به منظور در نظر گرفتن مسائل طراحی تحت عنوان معیار هیدرولیکی در نظر گرفته شدند. لازم به ذکر است که سایر خصوصیات هیدرولیکی جریان نظیر پارامترهای دبی، سرعت، عمق و ... می‌توانند جهت تعیین مسیرهای مناسب برای جمع‌آوری رواناب‌های شهری مورد استفاده قرار گیرند. در خصوص تقسیم‌بندی معیار کاربری اراضی شهری به کلاس‌های مختلف، باید اشاره شود که این تقسیم‌بندی

تصمیم‌گیری فازی وزن‌دار شده می‌باشد. بر اساس وزن معیارها که از روش AHP تعیین شدند، در این مرحله ماتریس تصمیم‌گیری فازی وزن‌دار شده محاسبه می‌شود.

نتایج ماتریس تصمیم‌گیری فازی بعد از اعمال وزن‌های بدست آمده از روش AHP در جدول ۵ نشان داده شده است. بر اساس جدول ۵ مشاهده می‌شود که عناصر  $\tilde{V}_{ij}$  به ازای تمام مقادیر  $i$  و  $j$ ، اعداد فازی مثلثی مثبت نرمال شده می‌باشند و مقادیر آن‌ها در بازه بسته  $[0,1]$  قرار می‌گیرد. با توجه به موارد اشاره شده برای معیار سود، راه‌حل ایده‌آل مثبت فازی<sup>۱</sup>  $(FPIS, A^*)$  به صورت  $\tilde{v}_i^* = (1,1,1)$  و راه‌حل ایده‌آل منفی فازی<sup>۲</sup>  $(FNIS, A^-)$  به صورت  $\tilde{V}_i^- = (0,0,0)$  تعریف می‌گردد. همچنین برای معیار هزینه نیز، مقادیر FPIS و FNIS به صورت  $\tilde{v}_i^* = (0,0,0)$  و  $\tilde{V}_i^- = (1,1,1)$  تعریف می‌شود. در این تحقیق با توجه به هدف نهایی مسئله تصمیم‌گیری یعنی اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها به منظور مطالعات کنترل سیلاب، تمامی معیارها به غیر از معیار فاصله از سطح آب زیرزمینی به عنوان معیار سود و معیار فاصله از سطح آب زیرزمینی به عنوان معیار هزینه در نظر گرفته شدند. در گام بعدی فاصله هر یک از گزینه‌ها از ایده‌آل‌های مثبت و منفی یعنی مقادیر  $D^*$  و  $D^-$  محاسبه شده و سپس مقادیر معیار  $CC_j$  محاسبه می‌شود.

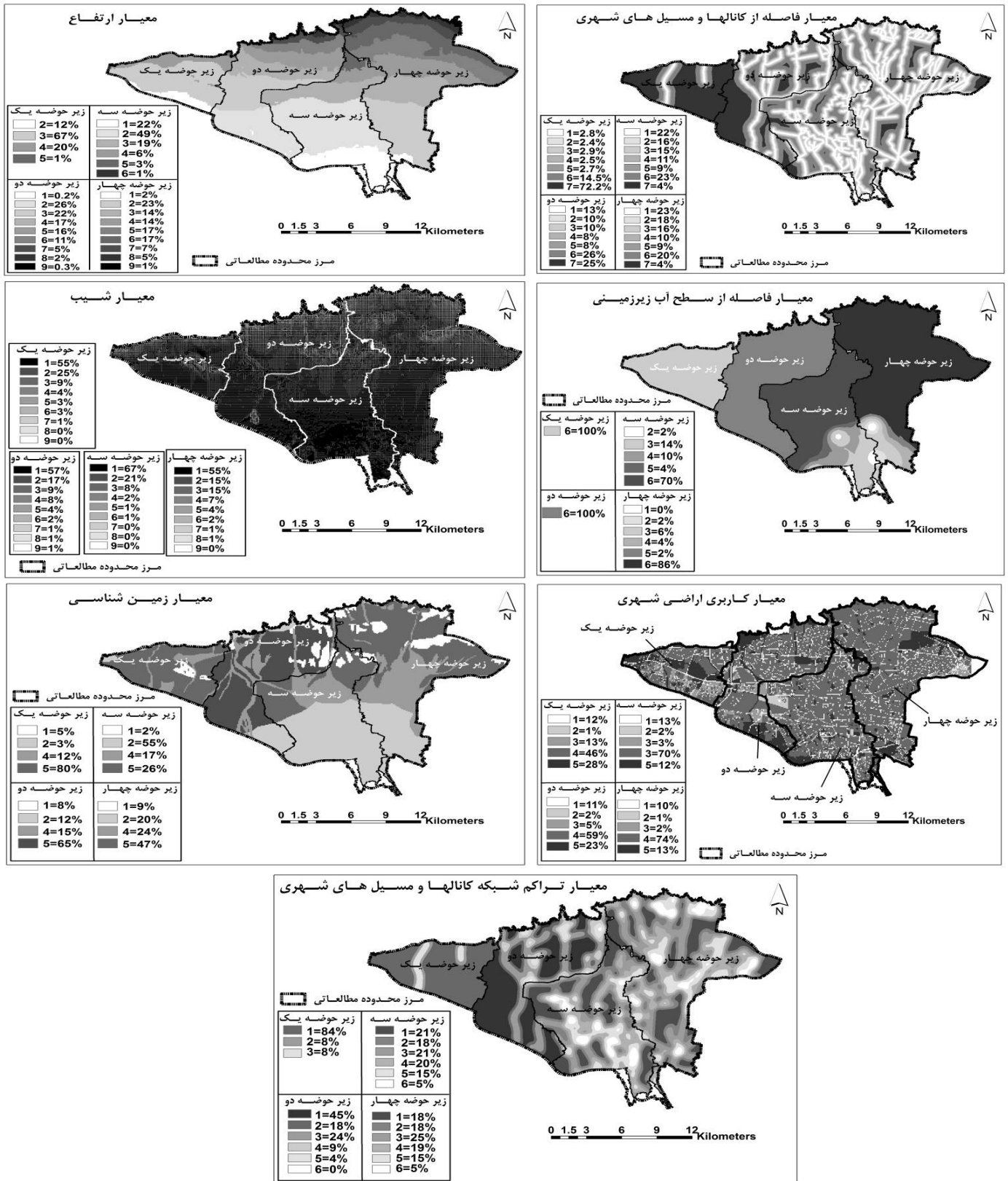
نتایج مربوط به محاسبات معیار  $CC_j$  برای گزینه‌های تصمیم‌گیری در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که زیرحوضه سه با شاخص  $CC_j$  معادل ۰/۲۴۸ به عنوان اولویت اول از نظر مطالعات کنترل سیلاب انتخاب شده است. لازم به ذکر است که در جدول ۶ براساس روش تاپسیس فازی، امتیازدهی هر یک از زیرحوضه‌های واقع در حوضه آبخیز شهری تهران به انجام رسیده است.

معیار به همراه درصد تحت پوشش هر یک از کلاس‌های خطرپذیری آنها به تفکیک زیرحوضه‌های مطالعاتی ارائه شده است. لازم به ذکر است که این نقشه‌های معیار، مبنای تصمیم‌گیری فازی در مرحله بعد قرار خواهند گرفت. با توجه به نقشه‌های معیار تولید شده و ارزیابی گزینه‌های تصمیم‌گیری (زیرحوضه‌های مطالعاتی) به ازای کلاس‌های خطرپذیری هر یک از نقشه‌های معیار، ماتریس تصمیم‌گیری در جدول ۳ ارائه شده است. اعداد ماتریس فوق بیان‌گر درصد کلاس‌های خطرپذیری هر یک از نقشه‌های معیار در زیرحوضه‌های مطالعاتی می‌باشند. ذکر این نکته ضروری است که با توجه به اینکه مقادیر عددی استخراج شده از نقشه‌های معیار تصمیم‌گیری در رابطه با بعضی از معیارها در زیرحوضه‌های مختلف، اختلاف قابل توجهی با هم نداشته و به منظور در نظر گرفتن تفاوت بین آنها، استفاده از مفهوم فازی مناسب‌تر از سایر روش‌ها می‌باشد. این در حالی است که ارقام ارائه شده در جدول ۳ که از تحلیل‌های چند معیاره مکانی حاصل شده است، مبنای محاسبات در مراحل بعد می‌باشد. همان‌طور که در مقدمه تحقیق حاضر اشاره شد، مقادیر عددی استخراج شده از نقشه‌های معیار تصمیم‌گیری به منظور انجام تحلیل‌های فازی که از تحلیل‌های چند معیاره مکانی حاصل شده است، به عنوان یکی از نتایج مهم این تحقیق می‌باشد. همچنین با توجه به عدم قطعیت‌های ذاتی در تعیین وزن معیارها و تاثیر آن بر نتایج فرایند تصمیم‌گیری (ژنگ و کانیز ۱۹۹۹)، استفاده از مفهوم فازی در تعیین اولویت گزینه‌های تصمیم‌گیری به ازای معیارهای تصمیم‌گیری و در نهایت تعیین مقادیر وزن معیارها، در تحقیق حاضر صورت گرفته است. به نحوی که مقادیر وزن معیارهای تصمیم‌گیری به صورت متغیرهای زبانی قابل تبدیل به اعداد فازی مثلثی بیان شده است. ماتریس فازی مربوط به مقایسه زوجی گزینه‌ها نیز به ازای معیارهای تصمیم‌گیری بر اساس متغیرهای زبانی، در جدول ۴ ارائه شده است. در این جدول A1 تا A4 بیان‌گر گزینه‌های تصمیم‌گیری (زیرحوضه‌های درون شهری) و C1 تا C7 نیز بیان‌گر معیارهای تصمیم‌گیری می‌باشند. بعد از تعیین ماتریس تصمیم‌گیری فازی، گام بعدی تهیه ماتریس

<sup>1</sup> Fuzzy Positive Ideal Solution

<sup>2</sup> Fuzzy Negative Ideal Solution





شکل ۴- نقشه‌های معیار ارزیابی بر اساس درصد تحت پوشش هر یک از کلاس‌های خطرپذیری به تفکیک زیرحوضه‌های مطالعاتی به منظور استخراج ماتریس تصمیم‌گیری.

وزن معیارها بدست آمد. لازم به ذکر است که هر کدام از این ترکیبات به عنوان یک سناریوی وزن‌دهی در نظر گرفته شدند. نتایج تحلیل حساسیت مدل در شکل ۵ و جدول ۷ ارائه شده است. در جدول ۷ مقادیر  $CC_j$  بر اساس سناریوهای مختلف وزن‌دهی معیارها، محاسبه گردید که نتایج آن در این جدول نشان داده شده است. به عنوان نمونه  $CC_{26}$  بیانگر سناریوی می‌باشد که در آن وزن معیارهای دوم و ششم جابجا شده است. بر اساس جدول ۷ مشاهده می‌شود در سناریوی ۸ که وزن معیارهای دوم و چهارم جابجا شده است، گزینه A1 دارای بیشترین مقدار  $CC_j$  معادل ۰/۲۳۱ نسبت به مقدار اولیه آن یعنی ۰/۲۲۱، گزینه A2 در همین سناریو دارای بیشترین مقدار  $CC_j$  معادل ۰/۲۳۱ نسبت به مقدار اولیه آن یعنی ۰/۲۲۳ می‌باشد. در سناریوهای ۱۲ و ۱۳، که به ترتیب وزن معیارهای سوم و چهارم، سوم و پنجم جابجا شده است، گزینه A3 دارای بیشترین مقدار  $CC_j$  معادل ۰/۲۵۳ نسبت به مقدار اولیه آن یعنی ۰/۲۴۸ می‌باشد.

لازم به ذکر است که اولویت‌بندی حاضر ناشی از تحلیل‌های چند معیاره مکانی بوده که مزیت عمده تحقیق حاضر به حساب می‌آید. بعد از تعیین آسیب‌پذیرترین زیرحوضه در ادامه می‌توان به اجرای راهکارهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب با اولویت زیرحوضه سه درون شهری پرداخت. اولویت‌بندی مناطق آسیب‌پذیر و در ادامه اجرای راهکارهای مرتبط با کاهش خطرات، توسط محققان مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. به نحوی که در یک مسئله مدیریت آب شهری با توسعه یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری، اولویت‌بندی استراتژی‌های ذخیره آب به منظور تخصیص به طرح‌های توسعه جدید، توسط ماکروپلوس و همکاران (۲۰۰۸) مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه پایانی روند مبتنی بر تحلیل‌های چند معیاره مشتمل بر پیشنهادی از یک گزینه یا مجموعه‌ای از گزینه‌ها برای اجراست. هدف از تحلیل حساسیت تعیین چگونگی تاثیرپذیری گزینه‌های پیشنهادی (خروجی) از تغییرات در ورودی‌ها (مقادیر وزن معیارها) است. این تحلیل موجب می‌شود که نسبت به استحکام راه‌حل پیشنهادی اطمینان حاصل شود. به منظور انجام تحلیل حساسیت از جابجایی وزن معیارهای تصمیم‌گیری استفاده شده است که با توجه به تعداد معیارهای تصمیم‌گیری (هفت معیار) ۲۱ ترکیب از

جدول ۳- ماتریس تصمیم‌گیری حاصل از تحلیل‌های مکانی به منظور اولویت‌بندی زیر حوضه‌های درون شهری جهت مطالعات کنترل سیلاب (مقادیر بر حسب درصد).

کلاس‌های خطرپذیری نقشه‌های معیار							
معیار هزینه	معیارهای سود						
	فاصله از سطح آب زیرزمینی	ژئولوژی	ارتفاع	شیب	تراکم کانالها	فاصله از کانالها	کاربری اراضی
	کلاس شش	کلاس یک	کلاس دو	کلاس یک	کلاس یک	کلاس یک	کلاس یک
زیرحوضه یک درون شهری	۱۰۰	۵	۱۲	۵۵/۲۱	۸۴	۲/۸	۱۲
زیرحوضه دو	۱۰۰	۸	۲۶	۵۷	۴۵	۱۲/۷	۱۱/۴
زیرحوضه سه	۶۹	۲	۴۹	۶۷	۲۱	۲۲	۱۳
زیرحوضه چهار	۸۶	۹	۲۳	۵۵/۰۲	۱۸	۲۳/۵	۱۰/۷

جدول ۴- ماتریس تصمیم‌گیری فازی با عبارتهای زبانی و اعداد فازی مثلثی معادل آن.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	very high (۰/۶، ۰/۸، ۱)	very low (۰، ۰، ۰/۲)	Excellent (۰/۸، ۱، ۱)	high (۰/۴، ۰/۶، ۰/۸)	low (۰، ۰/۲، ۰/۴)	low (۰، ۰/۲، ۰/۴)	low (۰، ۰/۲، ۰/۴)
A2	high (۰/۴، ۰/۶، ۰/۸)	medium (۰/۲، ۰/۴، ۰/۶)	high (۰/۴، ۰/۶، ۰/۸)	very high (۰/۶، ۰/۸، ۱)	high (۰/۴، ۰/۶، ۰/۸)	medium (۰/۲، ۰/۴، ۰/۶)	medium (۰/۲، ۰/۴، ۰/۶)
A3	Excellent (۰/۸، ۱، ۱)	very high (۰/۶، ۰/۸، ۱)	low (۰، ۰/۲، ۰/۴)	Excellent (۰/۸، ۱، ۱)	Excellent (۰/۸، ۱، ۱)	very low (۰، ۰، ۰/۲)	very high (۰/۶، ۰/۸، ۱)
A4	medium (۰/۲، ۰/۴، ۰/۶)	Excellent (۰/۸، ۱، ۱)	very low (۰، ۰، ۰/۲)	high (۰/۴، ۰/۶، ۰/۸)	medium (۰/۲، ۰/۴، ۰/۶)	high (۰/۴، ۰/۶، ۰/۸)	high (۰/۴، ۰/۶، ۰/۸)
وزن معیارها از روش AHP	۰/۳۵۱	۰/۲۳۸	۰/۱۵۶	۰/۱۰۱	۰/۱۰۱	۰/۰۳۰	۰/۰۲۲

جدول ۵- ماتریس تصمیم‌گیری فازی وزن‌دار شده.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	(۰/۲۱۱، ۰/۲۸۱، ۰/۳۵۱)	(۰، ۰، ۰/۴۸)	(۰/۱۲۵، ۰/۱۵۶، ۰/۱۵۶)	(۰/۰۴، ۰/۰۶۱، ۰/۰۸۱)	(۰، ۰/۰۲، ۰/۰۴)	(۰، ۰/۰۰۶، ۰/۰۱۲)	(۰، ۰/۰۰۴، ۰/۰۰۹)
A2	(۰/۱۴، ۰/۲۱۱، ۰/۲۸۱)	(۰/۰۴۸، ۰/۰۹۵، ۰/۱۴۳)	(۰/۰۶۲، ۰/۰۹۴، ۰/۱۲۵)	(۰/۰۶۱، ۰/۰۸۱، ۰/۱۰۱)	(۰/۰۴، ۰/۰۶۱، ۰/۰۸۱)	(۰/۰۰۶، ۰/۰۱۲، ۰/۰۱۸)	(۰/۰۰۴، ۰/۰۰۹، ۰/۰۱۳)
A3	(۰/۲۸۱، ۰/۳۵۱، ۰/۳۵۱)	(۰/۱۴۳، ۰/۱۹۰، ۰/۲۳۸)	(۰، ۰/۰۳۱، ۰/۰۶۲)	(۰/۰۸۱، ۰/۱۰۱، ۰/۱۰۱)	(۰/۰۸۱، ۰/۱۰۱، ۰/۱۰۱)	(۰، ۰، ۰/۰۰۶)	(۰/۰۱۳، ۰/۰۱۸، ۰/۰۲۲)
A4	(۰/۰۷، ۰/۱۴، ۰/۲۱۱)	(۰/۱۹، ۰/۲۳۸، ۰/۲۳۸)	(۰، ۰، ۰/۰۳۱)	(۰/۰۴، ۰/۰۶۱، ۰/۰۸۱)	(۰/۰۲، ۰/۰۴، ۰/۰۶۱)	(۰/۱۲، ۰/۰۱۸، ۰/۰۲۴)	(۰/۰۰۹، ۰/۰۱۳، ۰/۰۱۸)
ایده ال مثبت	$\tilde{v}_1^* = (1,1,1)$	$\tilde{v}_2^* = (1,1,1)$	$\tilde{v}_3^* = (1,1,1)$	$\tilde{v}_4^* = (1,1,1)$	$\tilde{v}_5^* = (1,1,1)$	$\tilde{v}_6^* = (1,1,1)$	$\tilde{v}_7^* = (0,0,0)$
ایده ال منفی	$\tilde{v}_1^- = (0,0,0)$	$\tilde{v}_2^- = (0,0,0)$	$\tilde{v}_3^- = (0,0,0)$	$\tilde{v}_4^- = (0,0,0)$	$\tilde{v}_5^- = (0,0,0)$	$\tilde{v}_6^- = (0,0,0)$	$\tilde{v}_7^- = (1,1,1)$

جدول ۶- اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها بر اساس مقادیر شاخص  $CC_j$ .

گزینه	$D_j^*$	$D_j^-$	$CC_j$	رتبه بندی نهایی گزینه‌ها
A1	۵/۴۸۰	۱/۵۳۳	۰/۲۲۱	۳
A2	۵/۴۶۰	۱/۵۸۶	۰/۲۲۳	۲
A3	۵/۳۸۰	۱/۷۳۹	۰/۲۴۸	۱
A4	۵/۵۲۴	۱/۵۰۵	۰/۲۱۴	۴

است، بدست آمد. کمترین مقادیر  $CC_j$  به ترتیب برای گزینه‌های A1، A2، A3 و A4 معادل ۰/۱۷۳، ۰/۱۷۵، ۰/۱۶۷ و ۰/۱۶۶ می‌باشند. مشاهده می‌شود که گزینه A3 (زیرحوضه سه) در ۱۹ سناریو اولویت اول را کسب کرده است. فرناندز و لاتز (۲۰۰۹) کاربرد روش انتشار

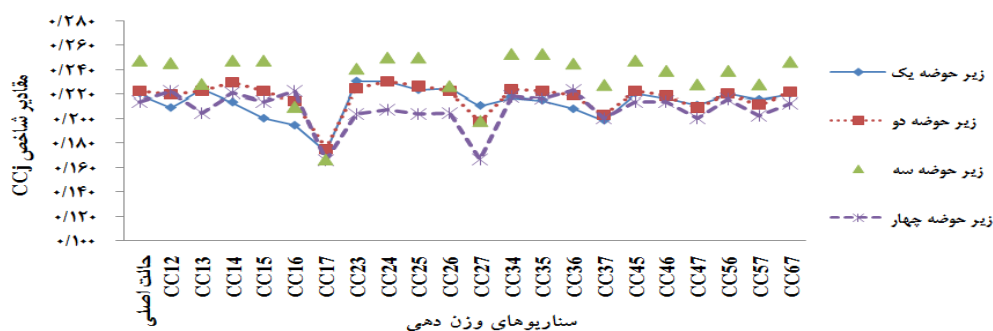
در سناریوی ۵ که وزن معیارهای اول و ششم جابجا شده است، گزینه A4 دارای بیشترین مقدار  $CC_j$  معادل ۰/۲۲۳ نسبت به مقدار اولیه آن یعنی ۰/۲۱۴ می‌باشد. همچنین کمترین مقدار  $CC_j$  برای تمام گزینه‌ها در سناریوی ۶ که وزن معیارهای اول و هفتم جابجا شده

روش تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین وزن معیارها در فرایند تصمیم‌گیری و از مدل تاپسیس در محیط فازی برای رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها استفاده شده است. در نهایت، استحکام مدل فوق با جابجایی وزن معیارهای تصمیم‌گیری مورد تحلیل حساسیت قرار گرفت. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که زیرحوضه سه درون شهری در ۱۹ سناریو اولویت اول را از نظر مطالعات کنترل سیلاب کسب کرده است. بدین ترتیب به منظور اجرای راهکارهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب، می‌بایست کلیه این اقدامات با اولویت مطالعاتی و اجرایی در زیرحوضه سه درون شهری به عنوان آسیب‌پذیرترین ناحیه صورت گیرد. این در حالی است که در ادامه با انجام مطالعات میدانی در این زیرحوضه، می‌توان به بررسی‌های دقیق‌تر در مکان‌هایی که نیاز به فعالیت‌های کنترل سیلاب دارند، پرداخت. لازم به ذکر است که کاربرد الگوریتم توسعه داده شده منحصر به تحقیق حاضر نبوده و می‌تواند در موارد مشابه نیز مورد استفاده قرار گیرد. در پایان می‌توان عنوان کرد با توجه به اینکه یکی از اصول اولیه مدیریت، اطلاع از اولویت‌های مدیریتی می‌باشد، این الگو و نتایج حاصل از آن می‌تواند راهکار مناسبی جهت اعمال مدیریت سیلاب در حوضه‌های شهری باشد.

خطا را به منظور ارزیابی عدم قطعیت و تعیین اهمیت نسبی فاکتورهای ورودی در یک مسئله کنترل سیلاب نشان دادند. به نحوی که اثر وزن معیارها در محدوده تغییرات ۲۵٪ تا ۷۵٪ مقادیر اولیه پارامترهای ورودی مورد تحلیل قرار گرفت.

### نتیجه‌گیری کلی

هدف از انجام این تحقیق، اولویت‌بندی زیرحوضه‌های موجود در حوضه آبخیز شهری تهران از منظر آسیب‌پذیری سیلاب می‌باشد. به این منظور نیاز به تعریف معیارهای متعددی می‌باشد که ممکن است با یکدیگر در تناقض باشند و موجب ابهام در فرایند تصمیم‌گیری شوند. در این تحقیق با استفاده از متغیرهای زبانی که قابل تبدیل به اعداد فازی مثلثی می‌باشند در قالب روش تصمیم‌گیری چند معیاره فازی که مبتنی بر تحلیل‌های مکانی می‌باشد، به بیان عدم قطعیت‌ها در فرایند تصمیم‌گیری پرداخته شده است. به این منظور یک مدل تصمیم‌گیری با توجه به گزینه‌های موجود (زیرحوضه‌های مطالعاتی) بر اساس یک سری از معیارهای تعریف شده توسعه داده شد. مدل ارائه شده ترکیبی از مفاهیم فازی، فرایند تحلیل سلسله مراتبی و الگوریتم تاپسیس فازی است که به کمک آن می‌توان مفاهیم مبهمی نظیر وزن معیارهای تصمیم‌گیری را در قالب یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره لحاظ نمود. از



شکل ۵- تحلیل حساسیت به ازای سناریوهای وزن‌دهی.

جدول ۷- مقادیر شاخص CCz برای گزینه‌های تصمیم‌گیری به ازای سناریوهای مختلف وزندهی.

مقاسیر CCz				وزن معیارها							ستاریجتهای وزن فازی
A <sub>4</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	W <sub>7</sub>	W <sub>6</sub>	W <sub>5</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>1</sub>	
+۰/۲۱۴	+۰/۲۴۸	+۰/۲۲۳	+۰/۲۲۱	+۰/۰۲۲	+۰/۰۳۰	+۰/۱۰۱	+۰/۱۰۱	+۰/۱۵۶	+۰/۲۳۸	+۰/۳۵۱	حالت اصلی
+۰/۲۲۲	+۰/۲۴۶	+۰/۲۲۰	+۰/۲۰۹	+۰/۰۲۲	+۰/۰۳۰	+۰/۱۰۱	+۰/۱۰۱	+۰/۱۵۶	+۰/۳۵۱	+۰/۲۳۸	1= C12
+۰/۲۰۵	+۰/۲۲۹	+۰/۲۲۳	+۰/۲۲۴	+۰/۰۲۲	+۰/۰۳۰	+۰/۱۰۱	+۰/۱۰۱	+۰/۳۵۱	+۰/۲۳۸	+۰/۱۵۶	2= C13
+۰/۲۲۱	+۰/۲۴۸	+۰/۲۳۰	+۰/۲۱۴	+۰/۰۲۲	+۰/۰۳۰	+۰/۱۰۱	+۰/۳۵۱	+۰/۱۵۶	+۰/۲۳۸	+۰/۱۰۱	3= C14
+۰/۲۱۴	+۰/۲۴۸	+۰/۲۲۳	+۰/۲۰۱	+۰/۰۲۲	+۰/۰۳۰	+۰/۳۵۱	+۰/۱۰۱	+۰/۱۵۶	+۰/۲۳۸	+۰/۱۰۱	4= C15
+۰/۲۲۳	+۰/۲۱۰	+۰/۲۱۴	+۰/۱۹۵	+۰/۰۲۲	+۰/۳۵۱	+۰/۱۰۱	+۰/۱۰۱	+۰/۱۵۶	+۰/۲۳۸	+۰/۰۳۰	5= C16
+۰/۱۶۶	+۰/۱۶۷	+۰/۱۷۵	+۰/۱۷۳	+۰/۳۵۱	+۰/۰۳۰	+۰/۱۰۱	+۰/۱۰۱	+۰/۱۵۶	+۰/۲۳۸	+۰/۰۲۲	6= C17
+۰/۲۰۴	+۰/۲۴۱	+۰/۲۲۵	+۰/۲۳۰	+۰/۰۲۲	+۰/۰۳۰	+۰/۱۰۱	+۰/۱۰۱	+۰/۲۳۸	+۰/۱۵۶	+۰/۳۵۱	7= C23
+۰/۲۰۸	+۰/۲۵۰	+۰/۲۳۱	+۰/۲۳۱	+۰/۰۲۲	+۰/۰۳۰	+۰/۱۰۱	+۰/۲۳۸	+۰/۱۵۶	+۰/۱۰۱	+۰/۳۵۱	8= C24
+۰/۲۰۴	+۰/۲۵۰	+۰/۲۲۷	+۰/۲۲۴	+۰/۰۲۲	+۰/۰۳۰	+۰/۲۳۸	+۰/۱۰۱	+۰/۱۵۶	+۰/۱۰۱	+۰/۳۵۱	9= C25
+۰/۲۰۵	+۰/۲۲۷	+۰/۲۲۳	+۰/۲۲۵	+۰/۰۲۲	+۰/۲۳۸	+۰/۱۰۱	+۰/۱۰۱	+۰/۱۵۶	+۰/۰۳۰	+۰/۳۵۱	10=CC26
+۰/۱۶۷	+۰/۱۹۸	+۰/۱۹۸	+۰/۲۱۱	+۰/۲۳۸	+۰/۰۳۰	+۰/۱۰۱	+۰/۱۰۱	+۰/۱۵۶	+۰/۰۲۲	+۰/۳۵۱	11= CC2
+۰/۲۱۸	+۰/۲۵۳	+۰/۲۲۵	+۰/۲۱۸	+۰/۰۲۲	+۰/۰۳۰	+۰/۱۰۱	+۰/۱۵۶	+۰/۱۰۱	+۰/۲۳۸	+۰/۳۵۱	12= CC3
+۰/۲۱۷	+۰/۲۵۳	+۰/۲۲۳	+۰/۲۱۵	+۰/۰۲۲	+۰/۰۳۰	+۰/۱۵۶	+۰/۱۰۱	+۰/۱۰۱	+۰/۲۳۸	+۰/۳۵۱	13= CC3
+۰/۲۲۳	+۰/۲۴۵	+۰/۲۲۰	+۰/۲۰۸	+۰/۰۲۲	+۰/۱۵۶	+۰/۱۰۱	+۰/۱۰۱	+۰/۰۳۰	+۰/۲۳۸	+۰/۳۵۱	14=CC36
+۰/۲۰۱	+۰/۲۲۸	+۰/۲۰۴	+۰/۱۹۹	+۰/۱۵۶	+۰/۰۳۰	+۰/۱۰۱	+۰/۱۰۱	+۰/۰۲۲	+۰/۲۳۸	+۰/۳۵۱	15= CC3
+۰/۲۱۴	+۰/۲۴۸	+۰/۲۲۳	+۰/۲۲۱	+۰/۰۲۲	+۰/۰۳۰	+۰/۱۰۱	+۰/۱۰۱	+۰/۱۵۶	+۰/۲۳۸	+۰/۳۵۱	16= CC4
+۰/۲۱۴	+۰/۲۳۹	+۰/۲۱۹	+۰/۲۱۷	+۰/۰۲۲	+۰/۱۰۱	+۰/۱۰۱	+۰/۰۳۰	+۰/۱۵۶	+۰/۲۳۸	+۰/۳۵۱	17= CC4
+۰/۲۰۰	+۰/۲۲۸	+۰/۲۰۹	+۰/۲۱۱	+۰/۱۰۱	+۰/۰۳۰	+۰/۱۰۱	+۰/۰۲۲	+۰/۱۵۶	+۰/۲۳۸	+۰/۳۵۱	18= CC4
+۰/۲۱۶	+۰/۲۳۹	+۰/۲۲۱	+۰/۲۲۱	+۰/۰۲۲	+۰/۱۰۱	+۰/۰۳۰	+۰/۱۰۱	+۰/۱۵۶	+۰/۲۳۸	+۰/۳۵۱	19= CC5
+۰/۲۰۳	+۰/۲۲۸	+۰/۲۱۲	+۰/۲۱۶	+۰/۱۰۱	+۰/۰۳۰	+۰/۰۲۲	+۰/۱۰۱	+۰/۱۵۶	+۰/۲۳۸	+۰/۳۵۱	20= CC5
+۰/۲۱۳	+۰/۲۴۷	+۰/۲۲۲	+۰/۲۲۰	+۰/۰۳۰	+۰/۰۲۲	+۰/۱۰۱	+۰/۱۰۱	+۰/۱۵۶	+۰/۲۳۸	+۰/۳۵۱	21= CC6

## منابع مورد استفاده

اصغری‌پور م، ۱۳۸۳، تصمیم‌گیری‌های چند معیاره، انتشارات دانشگاه تهران.

- Abrishamchi A, Ebrahimian A, Tajirishi M and Marino MA, 2005. Application of multi criteria decision making to urban water supply. *Water Resources. Planning and Management*, ASCE 131: 326-335.
- Afshar A, Marino MA, Saadatpour M and Afshar A, 2010. Fuzzy TOPSIS multi-criteria decision analysis applied to Karun reservoirs system. *Water Resources Management* 25: 545-563.
- Alcantara-Ayala I, 2002. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology* 47: 107-124.
- Brett F, John C and David A, 2006. Passive and active control of diversions to an off-line reservoir for flood storage reduction. *Advances in Water Resources* 29, 861-871.
- Chang NB, Parvathinathan G and Breeden JB, 2008. Combining GIS with fuzzy multi criteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. *Environmental Management* 87: 139-153.

- Fanghua H and Guanchun C, 2010. Fuzzy multi-criteria group decision-making model based on weighted borda scoring method for watershed ecological risk management: a case study of three Gorges reservoir area of China. *Water Resources Management* 24: 2139–2165.
- Fernandez D. S and Lutz M. A, 2010. Urban flood hazard zoning in Tucuman Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Engineering Geology* 111: 90-98.
- Gumbo B, Munayamba N, Sithol G and Savenije HG, 2002. Coupling of digital elevation model and rainfall-runoff model in storm drainage network design. *Physics and Chemistry of the Earth* 27: 755-764.
- Halfawy MR, Dridi L and Baker S, 2008. Integrated decision support system for optimal renewal planning of sewer networks. *Computing in Civil Engineering, ASCE* 22: 360-372.
- Kao HP, Wang B, Dong J and Ku KC, 2006. An event-driven approach with makespan/cost tradeoff analysis for project portfolio scheduling. *Computers in Industry* 57: 379–397.
- Li XB, 2009. Study of multi-objective optimization and multi-attribute decision-making for economic and environmental power dispatch. *Electric Power Systems Research* 79: 1105–1113.
- Makropoulos CK, Natsis K, Liu S, Mittas K and Butler D, 2008. Decision support for sustainable option selection in integrated urban water management. *Environmental Modelling & Software* 23: 1448–1460.
- Malczewski J, 2006. Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis. *Applied Earth Observation and Geoinformation* 8: 270–277.
- Miloradov M and Marjanovic P, 1991. Geographic information system in environmentally sound river basin development. Third Rhine-Danube workshop, Delf.
- Montanari R, 2004. Environmental efficiency analysis for enel thermopower plants. *Cleaner Production* 12: 403–414.
- Phua MH and Minowa M, 2005. A GIS-based multi-criteria decision making approach to forest conservation planning at a landscape scale. *Landscape and Urban Planning* 71: 207–222.
- Radmehr A and Araghinejad S, 2011. Optimal urban flood management using spatial multicriteria decision making approach. Pp. 221. Proceedings of 5th International Conference on Flood Management (ICFM5). 27-29 September, Tokyo, Japan.
- Rodrigues F, Andrieu H and Creutin JD, 2003. Surface runoff in urban catchments morphological identification of unit hydrograph from urban databanks. *Hydrology* 283: 146-168.
- Saaty TL, 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw Hill, New York.
- Scholz M, 2007. Classification methodology for sustainable flood retention basins. *Landscape and Urban Planning* 81: 246–256.
- Simonovic SP and Verma R, 2008. A new methodology for water resources multi-criteria decision making under uncertainty. *Physics and Chemistry of the Earth* 33: 322–329.
- Srdjevic B, Medeiros YDP and Faria AS, 2004. An objective multi-criteria evaluation of water management scenarios. *Water Resources Management* 18: 35–54.
- Yazdandoost F and Bozorgy B, 2008. Flood risk management strategies using multi-criteria analysis. *ICE - Water Management* 161: 261–266.
- Zarghami M, Ardakanian R and Szidarovszky F, 2008. Robust water resources management by using fuzzy-stochastic OWA operator. paper no. 60. Proceedings of the 4th National Conference on Civil Engineering. 6-8 May, Tehran, Iran.
- Zheng D and Kainz W, 1999. Fuzzy rule extraction from GIS data with a neural fuzzy system for decision making. Pp. 79-84. Proceedings of the 7th ACM international symposium on Advances in geographic information systems. 2-6 November, Kansas City, Missouri, USA.