

بررسی آسیب پذیری نواحی شهری در برابر سیل با استفاده از روش تاپسیس (مطالعه موردی: منطقه عظیمیه، شهر کرج)

- ❖ **مینا پوراسمعیل؛** دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ **علی سلاجقه*؛** استاد دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ **آرش ملکیان؛** دانشیار دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ **امیررضا کشتکار؛** دانشیار مرکز تحقیقات بین المللی بیابان، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

چکیده

پیچیدگی‌های محیط شهری پرداختن به تمامی مؤلفه‌های آسیب‌پذیر شهری را امری دشوار نموده است. از این‌رو، تصمیم‌گیری در محیط‌های شهری یکی از مسائل بسیار مهم در مدیریت نوین به شمار می‌رود. لذا، هدف از این پژوهش بررسی آسیب‌پذیری منطقه عظیمیه در شهر کرج در برابر سیل بر اساس روش تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد. جامعه آماری کارشناسان و متخصصانی بودند که در زمینه مدیریت آسیب‌پذیری حوزه‌های شهری دارای دانش و تجربه کافی بودند. برای انجام این پژوهش نخست با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای شناخت جامعی از عوامل تأثیرگذار در آسیب‌پذیری شهرها در برابر سیل به دست آمد سپس با استفاده از نتایج فن دلفی از بین شاخص‌های اولیه، مجموعاً ۱۱ شاخص مؤثر انتخاب و نقشه مربوط به هر یک از آن‌ها به کمک نرم افزار ArcGIS تهیه شد. سپس آسیب‌پذیری شهر در برابر سیل با استفاده از روش تاپسیس محاسبه گردید. محدوده مورد مطالعه بر اساس الگوی هدایت رواناب و بازدیدهای میدانی به ۱۳ زیرحوزه تفکیک، و سپس ماتریس تصمیم‌گیری با توجه به ۱۳ زیرحوزه و ۱۱ شاخص تشکیل گردید. نتایج نشان دهنده آسیب‌پذیری این منطقه در برابر سیل بود، که در بین زیر حوزه‌های مورد بررسی، زیر حوزه‌های شماره ۱ و ۲ بیشترین زیر حوزه شماره ۱۳ کمترین آسیب‌پذیری را در برابر سیل داشتند. از علل آسیب‌پذیری منطقه در برابر سیل می‌توان به ارتباط مستقیم با حوزه‌های آبخیز بالادست که از نظر سنگ شناسی ناتراوا و از نظر خاک شناسی نفوذ ناپذیر هستند، تراکم ساختمان و تراکم جمعیت بالا و نبود فضاهای باز به میزان متناسب اشاره نمود.

کلید واژگان: آسیب‌پذیری، تصمیم‌گیری چند معیاره، سیلاب شهری، روش تاپسیس، کرج.

۱. مقدمه

یکی از جنبه‌های مهم و قابل توجه در برنامه‌ریزی توسعه، تأکید و توجه به آسیب‌پذیری کشور و از همه مهم تر آسیب‌پذیری شهرها در مقابل تهدیدات ناشی از جنگ و بلایای طبیعی است؛ زیرا بروز این حوادث در شهرها، با توجه به حجم بالای سرمایه‌گذاری و مکان‌گزینی بسیاری از تأسیسات و ابزارهای اقتصادی و اجتماعی، تلفات جانی و مالی زیادی به دنبال خواهد داشت. غالب مخاطرات شهری به خودی خود نتایج نامطلوبی در پی ندارند، آنچه از آن یک فاجعه می‌سازد، پیشگیری نکردن از تأثیرات و آمادگی نداشتن برای مقابله با عواقب آن است. از این رو شناسایی عوامل تأثیرگذار بر افزایش آسیب‌ناشی از این پدیده‌ها در شهرها از اهمیت بالایی برخوردار است [۱]. مفاهیم و تعاریف آسیب‌پذیری از نظر تعداد بی‌شمار و از نظر لغوی متفاوت هستند ولی در ساده‌ترین و پرکاربردترین حالت به معنای "درجهٔ زیان حاصل از یک پدیدهٔ بالقوه آسیب‌رسان" به کار رفته است [۷]. آمار و ارقام منتشر شده توسط سازمان ملل متحد نشان می‌دهد، از میان بلایای طبیعی، سیل بیشترین خسارات را به انسان وارد نموده است، به طوری که یک سوم خسارات اقتصادی بلایای طبیعی مربوط به سیل است و دو سوم جمعیت کرهٔ زمین به طور مسقیم و غیر مستقیم از عواقب آن متأثر می‌باشند [۱۶]. در کشور ما، سیل گرفتگی در مناطق شهری به دلیل بعضی محدودیت‌ها و نبود داده‌های دقیق کمتر مورد توجه قرار گرفته است، با توجه به این موضوع تصمیم‌گیری در محیط‌های پیچیدهٔ شهری یکی از مسائل بسیار مهم در مدیریت نوین به شمار می‌رود. در این موارد تصمیم‌گیرنده با گزینه‌هایی متفاوت تحت معیارهای مختلفی که از محیط داخلی یا خارجی سیستم متأثر می‌شوند روبرو است. برای این شرایط مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به عنوان یکی از ابزارهای کارا جهت اخذ تصمیم مناسب به نظر می‌رسد [۸]. در ارتباط

با ارزیابی میزان آسیب‌پذیری در برابر سیل پژوهش‌های زیادی در داخل و خارج انجام گرفته است. در پژوهشی به ارزیابی میزان آسیب‌پذیری جوامع در معرض خطر سیل در ناحیهٔ غربی وا، غنا پرداخته شد. نتایج نشان داد که وضعیت آسیب‌پذیری یک جامعه در برابر سیل ترکیبی از اثر چهار دسته شاخص آسیب‌پذیری اقتصادی-اجتماعی، اکولوژیکی، مهندسی و سیاسی است که ممکن است به صورت مستقل و یا به صورت هم‌زمان عمل کند [۳]. همچنین در تحقیقی از یک شاخص چند معیاره که شامل سه بعد: خطر سیل، حساسیت اجتماعی و اقتصادی و زیر ساخت بود برای تعیین آسیب‌پذیری شهری در مناطق شهری ADE استفاده کردند. نتایج نشان داد ۶۰-۹۰ درصد جمعیت شهری در شرایطی با درجهٔ آسیب‌پذیری متوسط تا بالا زندگی می‌کند [۲]. به علاوه در مطالعه‌ای با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره به ارزیابی آسیب‌پذیری در برابر سیل در شهرستان‌های غرب مازندران پرداخته شد. در این مطالعه آسیب‌پذیری از طریق شناسایی و ارزیابی معیارهای مؤثر (این معیارها به سه شاخص فنی، اجتماعی-اقتصادی، جمعیت-محیط زیست طبقه‌بندی می‌شوند) با روش نمره‌دهی، ارزیابی گردید و نتایج به دست آمده نشان داد که؛ مناطق شهری احاطه شده توسط دو رودخانه، در معرض خطر بالایی از آسیب‌پذیری هستند [۱۶]. همچنین در پژوهشی با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره تاب‌آوری شهر تهران در زمینهٔ سیلاب‌های ناشی از آب‌های سطحی یا سرریز شدن رودخانه‌ها، ارزیابی گردید. در این مطالعه شش بعد تاب‌آوری اجتماعی، اقتصادی، نهادی، زیربنایی، سرمایه اجتماعی و محیط زیست در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که مناطق ۶ و ۲۲ نسبتاً مقاوم‌ترین مناطق هستند، در حالی که منطقهٔ ۱ تنها منطقه‌ای با کمترین میزان مقاومت است [۱۱].

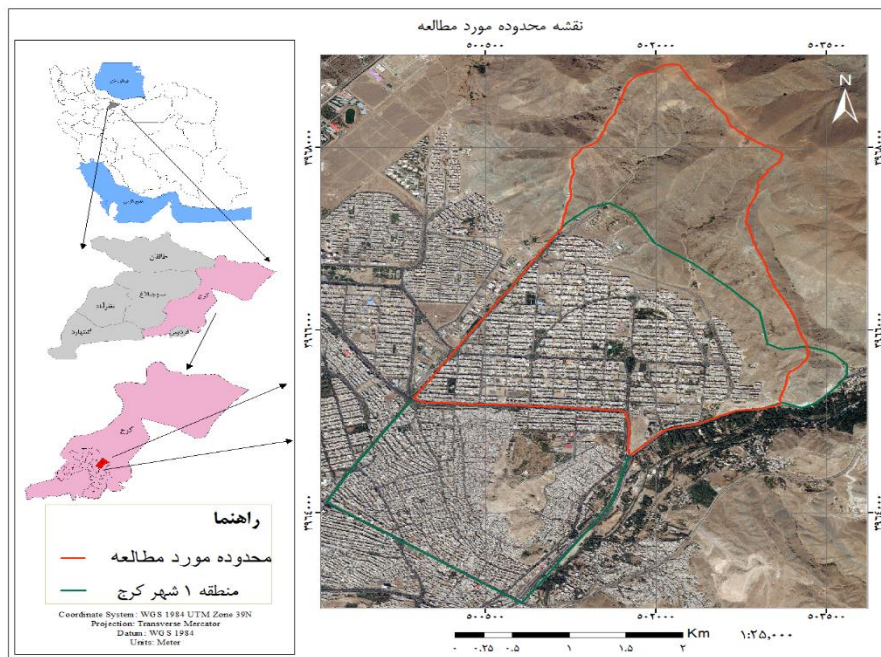
شهر کرج امروزه با مشکلات توسعه‌ای متعددی نظیر

۲. روش‌شناسی

۲.۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر کرج در عرض جغرافیایی ۳۱ و ۳۵ درجه تا ۱۲ و ۳۶ دقیقه و ۴۵ ثانیه شمالی و طول ۱۱ تا ۵۰ تا ۲۹ ۵۱ درجه و ۰ دقیقه و ۳۰ ثانیه قرار گرفته و ارتفاع متوسط آن از سطح دریاهای آزاد ۱۹۰۷ متر می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در این پژوهش بخشی از منطقه ۱ شهرداری کرج (منطقه عظیمیه) می‌باشد که در شکل (۱) نمایش داده شده است. طبق بررسی‌های انجام شده بر روی آمار بلندمدت ایستگاه هواشناسی کرج، بارندگی سالانه ۲۴۷/۳ میلی‌متر می‌باشد. مورفولوژی این منطقه، تپه ماهوری است که برجستگی‌ها، رسوبات آبرفتی در شت پادگانه‌های بلند آبرفتی و برونزدگی سنگ کف و فرورفتگی‌ها توسط رسوبات آبرفتی دشت پوشیده شده‌اند. این حالت می‌تواند مؤید شدت سیلاب‌های جاری شده از ارتفاعات و میزان سیلابگیر بودن این محدوده باشد. این منطقه با مساحتی در حدود ۱۲۰۰ هکتار دارای جمعیت ۱۹۵۰۰۰ نفر بر اساس آمار شهرداری در سال ۱۳۹۷ می‌باشد.

توسعه شهری، تأمین آب، جمع‌آوری و مهار آب‌های سطحی، توسعه و حفظ فضاهای سبز، مسائل مربوط به مواجهه با بافت فرسوده شهری، توسعه زیرساخت‌ها، رعایت اصول کاربری صحیح و اصولی اراضی شهری و مخاطرات متعدد طبیعی که با فعالیت‌های انسانی نیز رو به افزایش هستند روبرو است. برای رفع مشکلات برشمرده شده، برنامه‌ریزان شهر بایستی با توجه به این مسائل، کاربری اراضی شهری را در برنامه‌های توسعه و گسترش شهر، مبتنی بر اصول علمی تعیین نموده و بر این اساس اقدام به مکان‌یابی و نوسازی پروژه‌های عمرانی نظیر ساختمان‌سازی و ساخت شبکه معابر و سیستم‌های خدمات‌رسانی، تعیین نقاط ارتباطی و تأسیسات و سیستم‌های فاضلاب و ... نمایند. بر همین اساس بدیهی است لزوم توجه به آسیب‌پذیری همه شهرها به ویژه کلان‌شهرهایی مانند کرج که روند توسعه‌ای رو به رشدی دارند امری انکارناپذیر است و می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در کاهش آسیب‌های جانی و زیان‌های مالی بسیار کمک کند و امنیت زیستی را در مناطق شهری فراهم نماید. لذا، پژوهش حاضر با هدف شناسایی و بررسی آسیب‌پذیری نواحی شهری در برابر سیل در منطقه عظیمیه کرج انجام شد.



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

۲،۲. روش کار

روش تحقیق مورد استفاده در این مطالعه از لحاظ هدف کاربردی است، چون نتایج آن برای دست‌اندرکاران و برنامه‌ریزان تدوین سیاست‌های شهرسازی و آبخیزداری قابل استفاده است. برای انجام این پژوهش نخست با استفاده از نتایج پژوهش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری شهرها در ایران و جهان، شناخت جامعی از عوامل تأثیرگذار در آسیب‌پذیری شهرها در برابر سیل به دست آمد، و سپس با استفاده از روش دلفی و با نظر کارشناسان خبره از بین شاخص‌های اولیه، شاخص‌های مؤثر انتخاب و رتبه‌بندی شدند. روش دلفی زمانی کاربرد دارد که اهداف تحقیق، کشف و اولویت‌بندی و کسب اطلاعات جدید در زمینه

موضوع مورد مطالعه باشد [۱۵]. تکنیک دلفی که در دهه ۱۹۵۰ شکل گرفت، رهیافتی برای توافق‌سنجی و اجماع به وسیله پرسشنامه و ارائه بازخورد به مشارکت‌کنندگانی است که در موضوع مورد مطالعه متخصص و کارشناس هستند [۱۴]. هدف از این روش، دستیابی به مطمئن‌ترین توافق گروهی خبرگان درباره موضوع خاصی است که با استفاده از پرسشنامه و نظرخواهی، به دفعات و یا توجه به بازخورد حاصل از آن‌ها صورت می‌گیرد [۱۸]. به طور کلی، مراحل دلفی به درجه اجماع و توافق درک‌شده بررسی‌کنندگان بستگی دارد و می‌تواند از دو تا چهار مرحله متغیر باشد. اجرای این تکنیک شامل مراحل زیر بود (شکل شماره ۲).



شکل ۲. مراحل تکنیک دلفی

از کارشناسان و متخصصان دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، اداره کل منابع طبیعی استان البرز، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان آتش‌نشانی و خدمات

برای این منظور پرسشنامه نظر سنجی متخصصان (پرسشنامه دلفی) تهیه و در اختیار کارشناسان و متخصصان قرار گرفت. جامعه آماری تحقیق شامل ۴۰ نفر

تحلیل آسیب‌پذیری شهر در برابر سیل انجام گردید.

۱.۲.۲ روش TOPSIS

در این روش m گزینه به وسیله n شاخص، پس از طی کردن مراحل زیر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد:

مرحله اول: ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری، با توجه به تعداد گزینه‌ها و تعداد شاخص‌ها.

مرحله دوم: نرمال‌سازی و بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری، با استفاده از بی‌مقیاس‌سازی نرم (رابطه ۵). در بی‌مقیاس‌سازی نرم هر عنصر ماتریس تصمیم‌گیری بر مجموع مجذور مربعات عناصر هر ستون، تقسیم می‌گردد.

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (5)$$

n_{ij} مقدار بی‌مقیاس شده گزینه i ، از نظر شاخص j است. بدین طریق، کلیه ستون‌های ماتریس تصمیم‌گیری، دارای واحد طول مشابه (از بردار نظیر) می‌شوند و می‌توان به راحتی، آن‌ها را با هم مقایسه کرد [۴].

مرحله سوم: به دست آوردن ماتریس موزون، از ضرب ماتریسی ماتریس نرمال شده در ماتریس قطری وزن‌ها (رابطه ۶). W_j وزن معیار j ام در بردار W است.

$$V = N \times W_{n \times n} \quad (6)$$

مرحله چهارم: تعیین راه حل ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی با استفاده از روابط (۷) و (۸).

$$(7) \quad \left[\begin{array}{l} \text{راه حل ایده‌آل مثبت} \\ \text{بردار به بهترین مقادیر هر شاخص ماتریس } (v_j^+) \end{array} \right]$$

$$(8) \quad \left[\begin{array}{l} \text{راه حل ایده‌آل منفی} \\ \text{بردار بدترین مقادیر هر شاخص ماتریس } (v_j^-) \end{array} \right]$$

ایمنی شهرداری کرج، و اداره امور آب‌های سطحی شهرداری کرج می‌باشد.

این پرسشنامه‌ها این امکان را برای متخصصان فراهم کردند تا نظر خود را راجع به میزان اهمیت شاخص‌ها با یکی از پنج درجه اهمیت (بی‌اهمیت، کم‌اهمیت، با اهمیت، با اهمیت زیاد، و با اهمیت خیلی زیاد) بیان کنند. برای جمع‌بندی آرای پرسش‌شوندگان، امتیاز وزن‌دار هر معیار محاسبه می‌شود. تعداد انتخاب‌های صورت گرفته برای هر درجه اهمیت، معرف امتیاز آن درجه اهمیت (n) قلمداد می‌گردد. برای هر معیار دو مؤلفه آماری شامل درصد اهمیت معیار و درجه اهمیت معیار محاسبه می‌شود تا بر اساس نمودار اهمیت معیار، گزینش معیارهای منتخب فراهم شود [۹]. روابط (۱) تا (۴) روابط ریاضی محاسبه درصد و اهمیت معیار را نشان می‌دهد:

$$n_i = \text{تعداد گزینه‌های } i \text{ که به هر درجه اهمیت رای داده اند} \quad (1)$$

$$w_i = \frac{x_i}{\sum x_i} \quad (\text{وزن تعدیل شده}) \quad (1)$$

$$z_i = y_i \times n \quad (2)$$

$$= \frac{\sum z_i}{N} \times 100 \quad (\text{درصد اهمیت معیار}) \quad (3)$$

$$\frac{\sum (x_i \times n)}{N} \quad (\text{ترجمه اهمیت}) \quad (4)$$

پس از استخراج شاخص‌های مؤثر، نقشه مربوط به هر یک از شاخص‌های مؤثر به کمک نرم افزار ArcGIS تهیه شد و با استفاده از روش TOPSIS، شاخص‌ها با یکدیگر ترکیب و مدل‌سازی نهایی به کمک نرم افزار Excel انجام گرفت. سپس محدوده مورد مطالعه بر اساس وزن شاخص‌ها رتبه‌بندی گردید و نقشه آسیب‌پذیری شهر در محیط نرم افزار ArcGIS تهیه شد و در نهایت تجزیه و

¹Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

دلفی سیل پر سه‌شنامه طی سه گام توسط متخصصان تکمیل گردید و برای جمع‌بندی آرا، امتیاز وزن‌دار هر معیار (شامل جمعیت، کاربری اراضی شهری، خیابان‌ها و معابر عمومی، شرایط توپوگرافی، فاصله تا رودخانه، تراکم زهکشی، شرایط ساختمان‌ها، سنگ‌شناسی، بافت خاک و عملیات کنترل) محاسبه شد. برای هر معیار دو مؤلفه آماری شامل درصد اهمیت معیار (محور افقی) و درجه اهمیت معیار (محور عمودی) با استفاده از روابط (۱) تا (۴) محاسبه شد تا بر اساس نمودار اهمیت معیار، گزینش معیارهای منتخب فراهم شود.

به این ترتیب نمودار بر اساس نصف درجه اهمیت (برابر با ۵) و نصف حداکثر درصد اهمیت اخذ شده (برابر با ۱/۱۵) به چهار بخش تفکیک و معیارهایی که حداقل بیش از نصف ارزش عددی هر محور را داشتند، مشخص شدند. با توجه به آنچه در نمودار شماره (۲) نشان داده شده است تمامی معیارهای مورد بررسی بیش از نصف ارزش عددی هر محور را کسب کردند و همگی در آسیب‌پذیری شهر در برابر سیل حائز اهمیت هستند و در بین آن‌ها عملیات کنترل سیل با ۳۰/۲ درصد و پس از آن تراکم زهکشی با ۲۹ درصد، و شرایط توپوگرافی و کاربری اراضی شهری با ۲۸/۶ درصد از مهم‌ترین معیارها هستند (شکل شماره ۳).

"بهترین" مقادیر برای شاخص‌های مثبت، بزرگترین مقادیر و برای شاخص‌های منفی، کوچکترین مقادیر است، به بیانی دیگر شاخص‌های مثبت هر چه بیشتر و شاخص‌های منفی هر چه کمتر باشند مناسب‌تر است [۱۲]. مرحله پنجم: به دست آوردن میزان فاصله هر گزینه تا ایده‌آل‌های مثبت و منفی با استفاده از روابط (۹) و (۱۰).

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

مرحله ششم: تعیین نزدیکی نسبی (CL*) یک گزینه به راه حل ایده‌آل با استفاده از رابطه (۱۱) [۴].

$$CL_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (11)$$

۳. نتایج

برای بررسی معیارهای انتخاب شده با استفاده از روش



شکل ۳. اهمیت معیارهای آسیب‌پذیری شهر در برابر سیل

امتیازبندی معینی مشخص گردید که در جدول شماره (۱) نشان داده شده است.

با توجه به این نتایج مدلی با یازده شاخص ذکر شده تهیه شد، همچنین از آنجایی که شاخص‌ها در دو گروه کمی و کیفی قرار داشتند برای مقادیر مختلف هر معیار

جدول ۱. اهمیت معیارهای آسیب‌پذیری شهر در برابر سیل

ردیف	معیار	طبقات	امتیاز	ردیف	معیار	طبقات	امتیاز
		<۵	۱			بدون تراکم	۱
		۵-۸	۲			کم تراکم	۲
		۸-۱۲	۳	۷	شیب	تراکم متوسط	۳
		۱۲-۲۰	۴			تراکم زیاد	۴
		>۲۰	۵			تراکم خیلی زیاد	۵
		بزرگراه	۱			بدون تراکم	۱
		معبر شریانی	۲			کم تراکم	۲
		معبر اصلی	۳	۸	خیابان‌ها و معابر عمومی	تراکم متوسط	۳
		معبر فرعی	۴			تراکم زیاد	۴
		کوچه	۵			تراکم خیلی زیاد	۵
		نفوذپذیری بسیار کم	۱			۱۴۵۰-۱۳۵۰	۱
		نفوذپذیری کم	۲			۱۵۵۰-۱۴۵۰	۲
		نفوذپذیری متوسط	۳	۹	نفوذپذیری سنگ‌ها	۱۶۵۰-۱۵۵۰	۳
		نفوذپذیری زیاد	۴			۱۸۵۰-۱۶۵۰	۴
		نفوذپذیری بسیار زیاد	۵			>۱۸۵۰	۵
		کم تراکم	۱			محدوده شهری	۱
		تراکم متوسط	۲	۱۰	تراکم زهکشی	شبکه دسترسی	۲
		تراکم زیاد	۳			فضاهای باز	۳
		تراکم خیلی زیاد	۴			مراتع	۴
		<۱۰۰	۱			A	۱
		۵۰۰-۱۰۰	۲	۱۱	فاصله از رودخانه	B	۲
		۱۰۰۰-۵۰۰	۳			C	۳
		>۱۰۰۰	۴			D	۴
						فاقد عملیات کنترل سیل	۱
						سازه‌ای یا بیولوژیک	۲
						سازه‌ای و بیولوژیک	۳

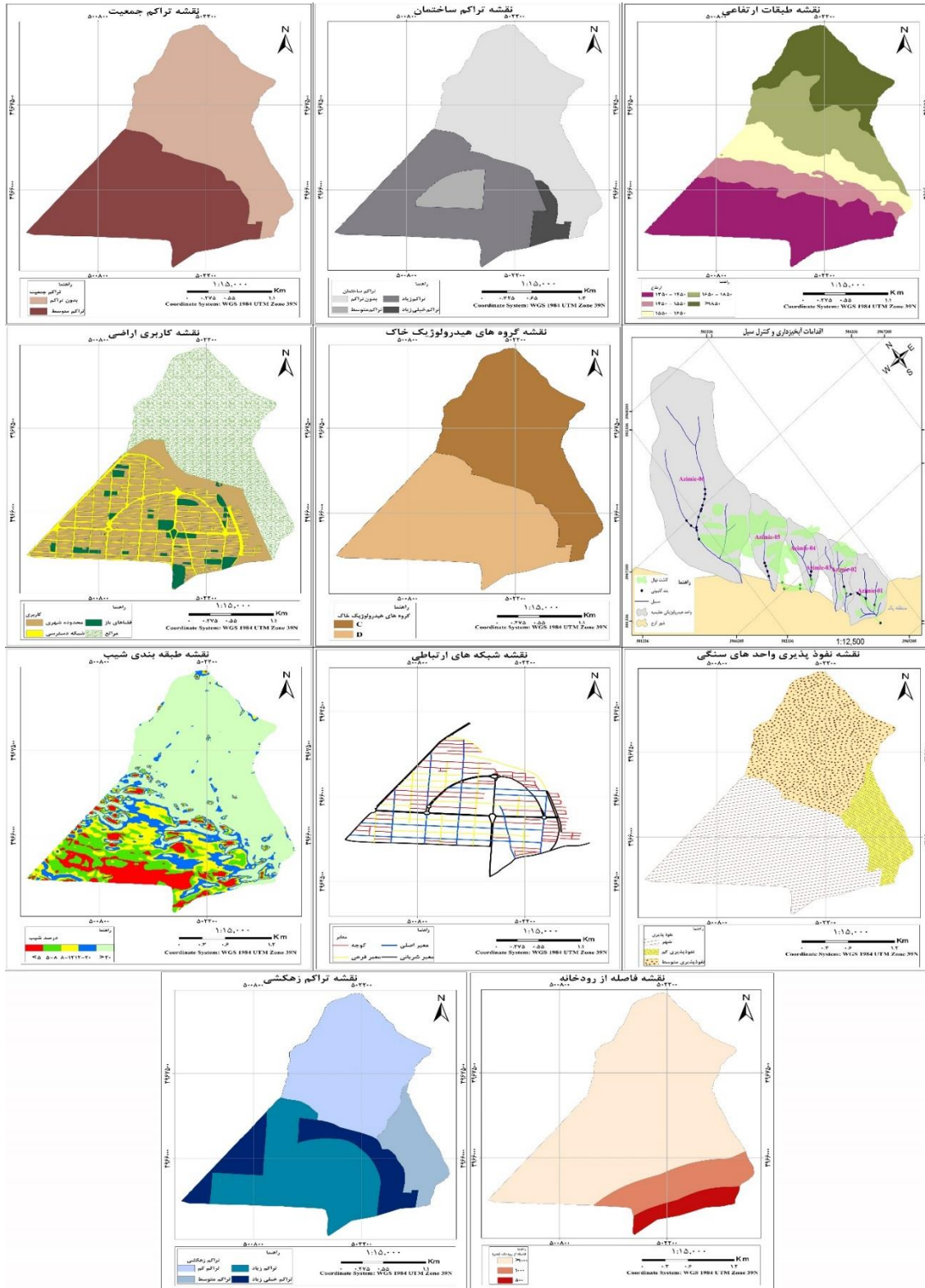
مرحله اول با توجه به تعداد گزینه‌ها (۱۳ زیرحوزه) و تعداد شاخص‌ها (۱۱ شاخص) ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل گردید، جدول شماره ۲ این ماتریس را نشان می‌دهد که در هر ردیف آن امتیاز هر شاخص به ازای گزینه‌های مختلف درج گردیده است. لازم به ذکر است که محدوده مورد مطالعه بر اساس الگوی هدایت رواناب و

جهت بررسی شاخص‌های حاصل از روش دلفی نقشه‌های شیب، جهت، ارتفاع، کاربری اراضی و... منطقه مورد مطالعه به کمک نرم افزار ArcGIS تهیه شد که در شکل شماره (۴) نشان داده شده است.

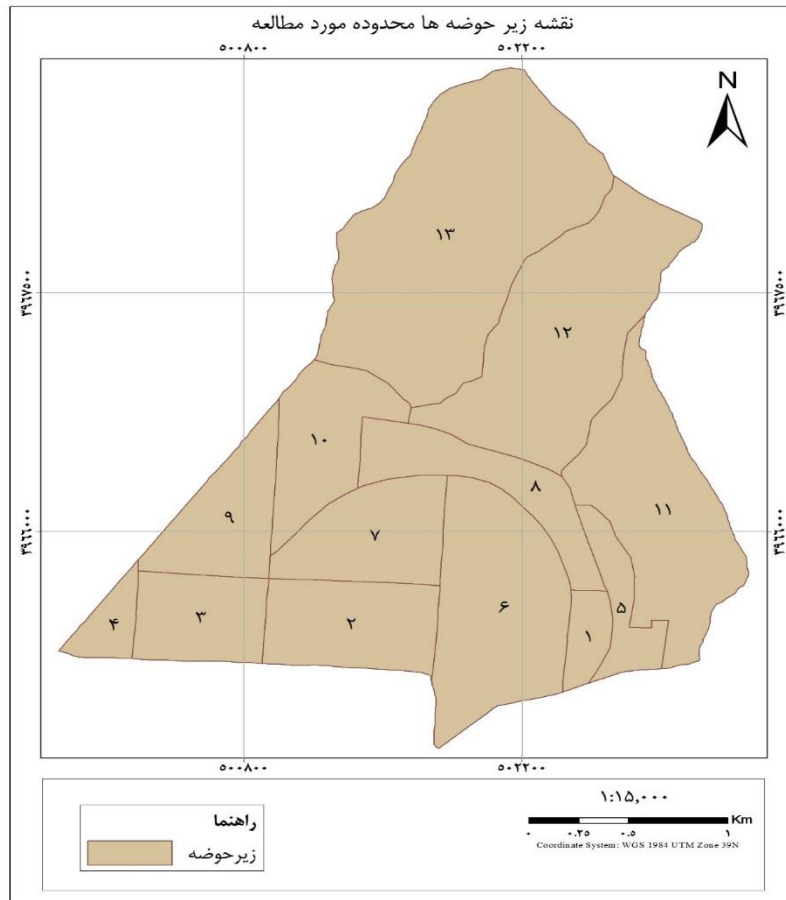
سپس رتبه‌بندی آسیب‌پذیری منطقه در برابر سیل با استفاده از روش TOPSIS انجام شد. برای این منظور در

در شکل (۵) نشان داده شده است.

بازدیدهای میدانی به ۱۳ زیرحوزه تقسیم‌بندی گردیده و شاخص‌ها در این زیر حوزه‌ها مورد بررسی قرار گرفتند که



شکل ۴. طبقه‌بندی محدوده مورد مطالعه متناسب با شاخص‌های آسیب‌پذیری



شکل ۵. زیرحوضه‌های محدوده مورد مطالعه

جدول ۲. ماتریس تصمیم‌گیری و امتیاز هر شاخص به ازای گزینه‌های مختلف

وزن معیار	نوع معیار	زیرحوضه ۱۳	زیرحوضه ۱۲	زیرحوضه ۱۱	زیرحوضه ۱۰	زیرحوضه ۹	زیرحوضه ۸	زیرحوضه ۷	زیرحوضه ۶	زیرحوضه ۵	زیرحوضه ۴	زیرحوضه ۳	زیرحوضه ۲	زیرحوضه ۱	گزینه‌ها
۰/۱۲۸	منفی	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	تراکم جمعیت
۰/۰۱۴	منفی	۱	۱	۱	۴	۴	۴	۴	۴	۵	۵	۵	۴	۵	تراکم ساختمان
۰/۰۰۶	منفی	۱	۱	۱	۵	۴	۵	۲	۲	۵	۲	۳	۴	۵	شبکه‌های ارتباطی
۰/۰۸۰	مثبت	۴	۴	۴	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	کاربری اراضی
۰/۰۶۴	مثبت	۴	۴	۴	۲	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	ارتفاع
۰/۰۶۱	مثبت	۵	۴	۴	۴	۴	۵	۳	۳	۵	۲	۲	۱	۴	شیب
۰/۱۴۶	منفی	۱	۱	۲	۳	۴	۴	۳	۳	۴	۴	۳	۳	۴	تراکم زهکشی
۰/۲۰۹	مثبت	۳	۲	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	نفوذپذیری سنگ‌ها
۰/۱۳۱	منفی	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	گروه‌های هیدرولوژیک خاک
۰/۱۰۰	مثبت	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۳	۳	۴	۴	۴	۲	فاصله از رودخانه
۰/۰۶۱	مثبت	۳	۳	۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	عملیات کنترل سیل

پراکندگی در مقادیر یک شاخص بیشتر باشد آن شاخص از اهمیت بیشتری برخوردار است. در مرحله دوم نرمالسازی و بی مقیاس سازی ماتریس تصمیم گیری با استفاده از بی مقیاس سازی نرم انجام گرفت. در این روش هر عنصر ماتریس تصمیم گیری بر مجموع مجذور مربعات عناصر هر ستون، تقسیم شد. ماتریس نرمال شده در جدول شماره (۳) نشان داده شده است.

همان طور که ذکر شد، مسئله مورد بررسی دارای ۱۱ شاخص می باشد، بنابراین دانستن اهمیت نسبی شاخص ها ضرورت دارد. از این رو به هر شاخص یک وزن داده می شود به صورتی که مجموع اوزان شاخص ها برابر با یک باشد. برای ارزیابی اوزان شاخص ها روش های مختلفی وجود دارد که در این مطالعه با توجه به ماهیت روش TOPSIS از روش آنتروپی استفاده شده است. در این روش هرچه

جدول ۳. ماتریس نرمال شده

گزینه ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
تراکم جمعیت	۰/۳۱۱۰۹	۰/۳۱۱۰۹	۰/۳۱۱۰۹	۰/۳۱۱۰۹	۰/۳۱۱۰۹	۰/۳۱۱۰۹	۰/۳۱۱۰۹	۰/۳۱۱۰۹	۰/۳۱۱۰۹	۰/۳۱۱۰۹	۰/۳۱۱۰۹	۰/۳۱۱۰۹
تراکم ساختمان	۰/۳۶۰۸۴	۰/۳۶۰۸۴	۰/۳۶۰۸۴	۰/۳۶۰۸۴	۰/۳۶۰۸۴	۰/۳۶۰۸۴	۰/۳۶۰۸۴	۰/۳۶۰۸۴	۰/۳۶۰۸۴	۰/۳۶۰۸۴	۰/۳۶۰۸۴	۰/۳۶۰۸۴
شبکه های ارتباطی	۰/۴۰۰۳۲	۰/۴۰۰۳۲	۰/۴۰۰۳۲	۰/۴۰۰۳۲	۰/۴۰۰۳۲	۰/۴۰۰۳۲	۰/۴۰۰۳۲	۰/۴۰۰۳۲	۰/۴۰۰۳۲	۰/۴۰۰۳۲	۰/۴۰۰۳۲	۰/۴۰۰۳۲
کاربری اراضی	۰/۱۳۱۳۱	۰/۱۳۱۳۱	۰/۱۳۱۳۱	۰/۱۳۱۳۱	۰/۱۳۱۳۱	۰/۱۳۱۳۱	۰/۱۳۱۳۱	۰/۱۳۱۳۱	۰/۱۳۱۳۱	۰/۱۳۱۳۱	۰/۱۳۱۳۱	۰/۱۳۱۳۱
ارتفاع	۰/۱۱۱۸۰	۰/۱۱۱۸۰	۰/۱۱۱۸۰	۰/۱۱۱۸۰	۰/۱۱۱۸۰	۰/۱۱۱۸۰	۰/۱۱۱۸۰	۰/۱۱۱۸۰	۰/۱۱۱۸۰	۰/۱۱۱۸۰	۰/۱۱۱۸۰	۰/۱۱۱۸۰
شیب	۰/۲۹۶۵۰	۰/۲۹۶۵۰	۰/۲۹۶۵۰	۰/۲۹۶۵۰	۰/۲۹۶۵۰	۰/۲۹۶۵۰	۰/۲۹۶۵۰	۰/۲۹۶۵۰	۰/۲۹۶۵۰	۰/۲۹۶۵۰	۰/۲۹۶۵۰	۰/۲۹۶۵۰
تراکم زهکشی	۰/۳۴۹۴۸	۰/۳۴۹۴۸	۰/۳۴۹۴۸	۰/۳۴۹۴۸	۰/۳۴۹۴۸	۰/۳۴۹۴۸	۰/۳۴۹۴۸	۰/۳۴۹۴۸	۰/۳۴۹۴۸	۰/۳۴۹۴۸	۰/۳۴۹۴۸	۰/۳۴۹۴۸
نفوذپذیری سنگ ها	۰/۱۹۲۴۵	۰/۱۹۲۴۵	۰/۱۹۲۴۵	۰/۱۹۲۴۵	۰/۱۹۲۴۵	۰/۱۹۲۴۵	۰/۱۹۲۴۵	۰/۱۹۲۴۵	۰/۱۹۲۴۵	۰/۱۹۲۴۵	۰/۱۹۲۴۵	۰/۱۹۲۴۵
گروه های هیدرولوژیک خاک	۰/۲۹۲۵۱	۰/۲۹۲۵۱	۰/۲۹۲۵۱	۰/۲۹۲۵۱	۰/۲۹۲۵۱	۰/۲۹۲۵۱	۰/۲۹۲۵۱	۰/۲۹۲۵۱	۰/۲۹۲۵۱	۰/۲۹۲۵۱	۰/۲۹۲۵۱	۰/۲۹۲۵۱
فاصله از رودخانه	۰/۱۴۸۲۵	۰/۱۴۸۲۵	۰/۱۴۸۲۵	۰/۱۴۸۲۵	۰/۱۴۸۲۵	۰/۱۴۸۲۵	۰/۱۴۸۲۵	۰/۱۴۸۲۵	۰/۱۴۸۲۵	۰/۱۴۸۲۵	۰/۱۴۸۲۵	۰/۱۴۸۲۵
عملیات کنترل سیل	۰/۱۶۴۴۰	۰/۱۶۴۴۰	۰/۱۶۴۴۰	۰/۱۶۴۴۰	۰/۱۶۴۴۰	۰/۱۶۴۴۰	۰/۱۶۴۴۰	۰/۱۶۴۴۰	۰/۱۶۴۴۰	۰/۱۶۴۴۰	۰/۱۶۴۴۰	۰/۱۶۴۴۰

آسیب پذیری) گزینه ای است که کمترین فاصله را با راه حل ایده آل مثبت و بیشترین فاصله را با راه حل ایده آل منفی دارد. در مرحله آخر نزدیکی نسبی (CL^*) هر گزینه به راه حل ایده آل محاسبه شد. جدول شماره (۵) نتایج این بخش را نشان می دهد. هر گزینه ای که (CL^*) بزرگتری دارد دارای کمترین میزان آسیب پذیری است، بر این اساس زیر حوزه های شماره ۱ و ۲ بیشترین میزان آسیب پذیری و زیر حوزه شماره ۱۳ کمترین میزان آسیب پذیری را داشتند.

در مرحله سوم با استفاده از ضرب ماتریسی ماتریس نرمال شده در ماتریس قطری وزن ها، ماتریس موزون به دست آمد که در جدول شماره (۴) نشان داده شده است.

در مرحله چهارم راه حل ایده آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و منفی (بدترین حالت ممکن) محاسبه گردید، سپس در مرحله پنجم فاصله اقلیدسی هر گزینه تا ایده آل مثبت (di^+) و ایده آل منفی (di^-) محاسبه گردید. لازم به توضیح است گزینه مناسب (زیرحوزه با کمترین میزان

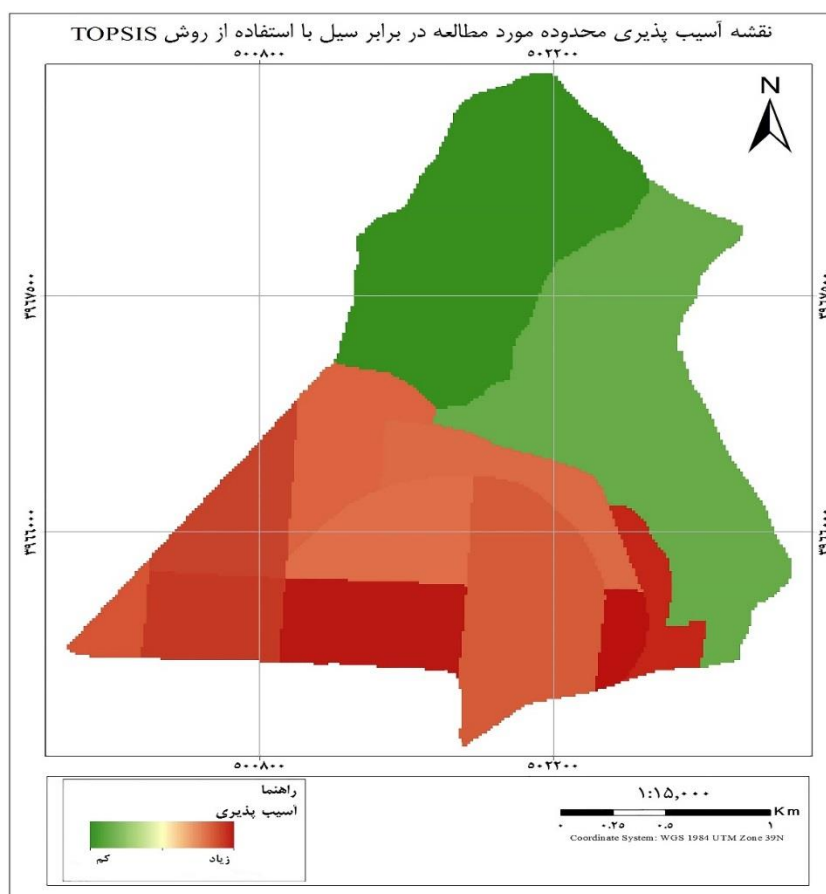
جدول ۴. ماتریس وزن دار

گزینه‌ها	زیرحوزه ۱	زیرحوزه ۲	زیرحوزه ۳	زیرحوزه ۴	زیرحوزه ۵	زیرحوزه ۶	زیرحوزه ۷	زیرحوزه ۸	زیرحوزه ۹	زیرحوزه ۱۰	زیرحوزه ۱۱	زیرحوزه ۱۲	زیرحوزه ۱۳
تراکم جمعیت	۰/۰۱۸۹۵	۰/۰۱۸۹۵	۰/۰۱۸۹۵	۰/۰۱۸۹۵	۰/۰۱۸۹۵	۰/۰۱۸۹۵	۰/۰۱۸۹۵	۰/۰۱۸۹۵	۰/۰۱۸۹۵	۰/۰۱۸۹۵	۰/۰۰۶۳۲	۰/۰۰۶۳۲	۰/۰۰۶۳۲
تراکم ساختمان	۰/۰۳۶۱۴	۰/۰۲۸۹۲	۰/۰۳۶۱۴	۰/۰۳۶۱۴	۰/۰۳۶۱۴	۰/۰۲۸۹۲	۰/۰۲۱۶۹	۰/۰۲۸۹۲	۰/۰۲۸۹۲	۰/۰۲۸۹۲	۰/۰۰۷۲۳	۰/۰۰۷۲۳	۰/۰۰۷۲۳
شبکه‌های ارتباطی	۰/۰۵۲۴۳	۰/۰۴۱۹۴	۰/۰۳۱۴۶	۰/۰۲۰۹۷	۰/۰۵۲۴۳	۰/۰۲۰۹۷	۰/۰۲۰۹۷	۰/۰۵۲۴۳	۰/۰۴۱۹۴	۰/۰۵۲۴۳	۰/۰۱۰۴۹	۰/۰۱۰۴۹	۰/۰۱۰۴۹
کاربری اراضی	۰/۰۲۷۴۰	۰/۰۲۷۴۰	۰/۰۲۷۴۰	۰/۰۲۷۴۰	۰/۰۲۷۴۰	۰/۰۲۷۴۰	۰/۰۲۷۴۰	۰/۰۲۷۴۰	۰/۰۲۷۴۰	۰/۰۲۷۴۰	۰/۰۰۹۵۹	۰/۰۰۹۵۹	۰/۰۰۹۵۹
ارتفاع	۰/۰۱۶۳۶	۰/۰۱۶۳۶	۰/۰۱۶۳۶	۰/۰۱۶۳۶	۰/۰۱۶۳۶	۰/۰۱۶۳۶	۰/۰۳۲۷۱	۰/۰۴۹۰۷	۰/۰۳۲۷۱	۰/۰۳۲۷۱	۰/۰۰۶۵۴۲	۰/۰۰۶۵۴۲	۰/۰۰۶۵۴۲
شیب	۰/۰۰۴۵۳	۰/۰۰۹۰۷	۰/۰۰۹۰۷	۰/۰۲۲۶۷	۰/۰۱۳۶۰	۰/۰۱۳۶۰	۰/۰۱۳۶۰	۰/۰۲۲۶۷	۰/۰۱۸۱۳	۰/۰۱۸۱۳	۰/۰۱۸۱۳	۰/۰۱۸۱۳	۰/۰۲۲۶۷
تراکم زهکشی	۰/۰۲۲۳۱	۰/۰۱۶۷۳	۰/۰۱۶۷۳	۰/۰۲۲۳۱	۰/۰۱۶۷۳	۰/۰۱۶۷۳	۰/۰۱۶۷۳	۰/۰۲۲۳۱	۰/۰۲۲۳۱	۰/۰۲۲۳۱	۰/۰۱۱۱۶	۰/۰۰۵۵۸	۰/۰۰۵۵۸
نفوذپذیری سنگ‌ها	۰/۰۱۵۴۸	۰/۰۱۵۴۸	۰/۰۱۵۴۸	۰/۰۱۵۴۸	۰/۰۱۵۴۸	۰/۰۱۵۴۸	۰/۰۱۵۴۸	۰/۰۱۵۴۸	۰/۰۱۵۴۸	۰/۰۱۵۴۸	۰/۰۳۰۹۶	۰/۰۳۰۹۶	۰/۰۳۰۹۶
گروه‌های هیدرولوژیک خاک	۰/۰۰۱۷۵	۰/۰۰۱۷۵	۰/۰۰۱۷۵	۰/۰۰۱۷۵	۰/۰۰۱۷۵	۰/۰۰۱۷۵	۰/۰۰۱۷۵	۰/۰۰۱۷۵	۰/۰۰۱۷۵	۰/۰۰۱۷۵	۰/۰۰۱۳۱	۰/۰۰۱۳۱	۰/۰۰۱۳۱
فاصله از رودخانه	۰/۰۰۲۰۴	۰/۰۰۴۰۹	۰/۰۰۴۰۹	۰/۰۰۴۰۹	۰/۰۰۴۰۹	۰/۰۰۳۰۷	۰/۰۰۴۰۹	۰/۰۰۴۰۹	۰/۰۰۴۰۹	۰/۰۰۴۰۹	۰/۰۰۴۰۹	۰/۰۰۴۰۹	۰/۰۰۴۰۹
عملیات کنترل سیل	۰/۰۲۱۰۱	۰/۰۲۱۰۱	۰/۰۲۱۰۱	۰/۰۲۱۰۱	۰/۰۲۱۰۱	۰/۰۲۱۰۱	۰/۰۲۱۰۱	۰/۰۲۱۰۱	۰/۰۲۱۰۱	۰/۰۲۱۰۱	۰/۰۶۳۰۳	۰/۰۶۳۰۳	۰/۰۶۳۰۳

جدول ۵. میزان فاصله تا ایده‌آل‌های مثبت و منفی

میزان فاصله	مثبت	منفی	ضریب نزدیکی
زیرحوزه ۱	۰/۱۲۲۲۶	۰/۰۱۳۶۰	۰/۱۰۰۱۰
زیرحوزه ۲	۰/۱۱۸۱۵	۰/۰۱۴۰۵	۰/۱۰۶۳۰
زیرحوزه ۳	۰/۱۱۶۷۶	۰/۰۲۲۲۶	۰/۱۶۰۱۵
زیرحوزه ۴	۰/۱۱۶۰۱	۰/۰۳۱۸۵	۰/۲۱۵۴۰
زیرحوزه ۵	۰/۱۲۲۱۶	۰/۰۱۸۱۶	۰/۱۲۹۴۲
زیرحوزه ۶	۰/۱۱۳۲۹	۰/۰۳۴۰۰	۰/۲۳۰۸۵
زیرحوزه ۷	۰/۱۰۶۰۰	۰/۰۳۹۸۰	۰/۲۷۲۹۶
زیرحوزه ۸	۰/۱۱۱۴۳	۰/۰۳۸۱۵	۰/۲۵۵۰۴
زیرحوزه ۹	۰/۱۱۱۶۷	۰/۰۲۴۸۸	۰/۱۸۲۱۹
زیرحوزه ۱۰	۰/۱۱۰۸۲	۰/۰۳۶۶۴	۰/۲۴۸۴۸
زیرحوزه ۱۱	۰/۰۱۷۰۷	۰/۱۱۹۳۲	۰/۸۷۴۸۵
زیرحوزه ۱۲	۰/۰۱۶۱۳	۰/۱۱۹۹۷	۰/۸۸۱۴۸
زیرحوزه ۱۳	۰	۰/۱۲۳۵۱	۱

نقشه نهایی آسیب پذیری محدوده مورد مطالعه نیز در شکل شماره (۶) نشان داده شده است.



شکل ۶. نقشه آسیب پذیری محدوده مورد مطالعه در برابر سیل با استفاده از روش TOPSIS

۴. بحث و نتیجه گیری

در پژوهش حاضر به بررسی آسیب پذیری نواحی شهری در برابر سیل بر اساس روش تصمیم گیری چند معیاره TOPSIS پرداخته شد. آسیب پذیری مفهومی مفید برای شناخت، اندازه گیری و ارزیابی شرایط جوامع در برابر بلایای طبیعی از جمله سیل می باشد، اما آسیب پذیری سیل مسئله ای چند بعدی و پیچیده است و به همین جهت روش های تصمیم گیری چند معیاره توانایی تعیین آسیب پذیری شهر از نظر سیل خیزی را دارا می باشد و قادر به ایجاد یک تصویر کلی از آسیب پذیری شهر در برابر سیل برای افزایش درک ریسک سیل و کاهش آسیب و

مرگ و میر هستند. نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان داد که روش های تصمیم گیری چند معیاره می توانند در بررسی موضوعات مربوط به برنامه ریزی شهری و همچنین تخمین آسیب پذیری عناصر شهری و ارائه راهکارهای عملی در راستای کاهش آسیب پذیری کاربرد مطلوبی داشته باشد. این یافته با نتایج تحقیق [۱۶]، [۱۲]، [۳] و [۱۰] مطابقت دارد.

نتایج حاصل از نقشه آسیب پذیری سیل محدوده مورد مطالعه نشان داد که زیر حوضه های ۱۳، ۱۲ و ۱۱، به جهت نبود تراکم جمعیت و تراکم ساختمان و انجام عملیات کنترل سیل، به ترتیب دارای کمترین میزان آسیب پذیری می باشند، در حالی که آسیب پذیری محدوده

نقشه‌های آسیب‌پذیری که نمونه‌ای از آن در این تحقیق تولید شد مزایایی دارد که در طولانی مدت می‌توان به آنها دست یافت. از جمله این مزایا می‌توان به بالا بردن قابلیت پایداری مراکز، تقلیل آسیب‌پذیری و کاهش خسارات، تسهیل در مدیریت بحران شهری، تأمین سلامت شهروندان و ... اشاره نمود [۶].

شهری در برابر سیل به دلایلی مانند ارتباط مستقیم با حوزه‌های آبخیز بالادست که از نظر سنگ‌شناسی ناتراوا و از نظر خاک‌شناسی نفوذناپذیر هستند، تراکم ساختمان و تراکم جمعیت بالا، نبود فضاهای باز به میزان متناسب بالا است. این یافته با نتایج پژوهش [۱۷] و [۵] مطابقت داشت. در انتها می‌توان نتیجه گرفت استفاده عملی از

References

- [1] Amini Varaki, S., Modiri, M., Shamsayi Zafarghandi, F. and Ghanbari nasab, A. (2014). Perspectives of the city s Vulnerability to Environmental hazards and effective components by using the Q-Method. *Crisis Management*, 3, 5-18.
- [2] Andressa, V.M., Brondi'zio, E.S., Roy, S., Hetrick, S., Vogt, N.D. and Newton, A. (2016). An assessment of urban vulnerability in the Amazon Delta and Estuary: a multi-criterion index of flood exposure, socio-economic conditions and infrastructure. *Sustainability Science*, 11(4), 625-643.
- [3] Antwi, E.K., Boakye-Danquah, J., Owusu, A.B., Loh, S.K., Mensah, R., Bofo, Y.A. and Apronti, P.T. (2015). Community vulnerability assessment index for flood prone savannah agro-ecological zone: A case study of Wa West District, Ghana. *Weather and Climate Extremes*, 10, 56-69.
- [4] Asgharpour, M. (2005). *Multiple Criteria Decision Making*. Tehran University Press, Tehran, 400 p.
- [5] Badieizadeh, S., Bahremand, A.R. and Arami, S.A.H. (2015). Hazard zoning and urban runoff management plan using GIS and AHP Techniques (Case study: Gorgan, Golestan province). *Water and Soil Conservation*, 22(1), 299-۳۰۸.
- [6] Ebrahimian Ghajary, Y., Alesheikh, A., Modiri, M., Hosnavi, R. and Abbasi, M. (2014). Modelling the vulnerability of urban buildings Using Delphi and AHP methods in GIS - Case study: Region 6 of Tehran municipality. *Research Quarterly of Geographical Data*, 23(91), 5-20.
- [7] Eftekhari, R., Ghadiri, M., Parhizkar, A. And Shayan, S. (2009). An Analysis on Theoretical Approaches of Community Vulnerability to Natural Hazards. *Spatial Planning*, 13(1), 29-62.
- [8] Fatolahzadeh, S. and Mehdizadeh, R. (2013). A Review of Multi-Criteria Decision Making Methods. *The Conference on Modern Management Sciences*, Gorgan, Iran.
- [9] Haddadi Nia, S. and Danekar, A. (2012). Prioritization of the ecotourism criteria in desert and semi-desert ecosystems by Delphi method. *Geography and urban-regional integration*, 3, 17-30.
- [10] Louis, G.Z., Swann, C.T., Altinakar, M.S., McGrath, M.Z. and Thomas, D. (2016). Flood vulnerability indices and emergency management planning in the Yazoo Basin, Mississippi. *Disaster Risk Reduction*, 18, 89-99.
- [11] Moghadas, M., Asadzadeh, A., Vafeidis, A., Fekete, A. and Kotter, T. (2019). A multi-criteria approach for assessing urban flood resilience in Tehran, Iran. *Disaster Risk Reduction*, 35, 1-14.
- [12] Nojavan, M., Mohammadi, A. and Salehi, E. (2011). Application of Multiple Criteria Decision Making Methods in the Urban and Regional planning Emphasizing Topsis and SAW Methods. *Urban Management*, 28(9), 285-296.

- [13] Omidvar, B., Ghazban, F., Emami, K. and Khodaei, H. (2006). Flood risk management by using Multi-Criteria Decision Making Methods in three sub-basins of Golestan province. The first natural disaster conference, Tehran, Iran.
- [14] Nistler, D.L., Lamm, A.J. and Stedman, N. (2011). Evaluating the influences on extension professionals engagement in leadership roles. *Agricultural Education*, 52(3), 110- 120.
- [15] Roberts, T.G. and Dyer, J.E. (2004). Characteristics of effective agriculture teachers. *Agricultural Education*, 45(4), ۸۲- ۹۵.
- [16] Sadeghi-Pouya, A., Nouri, J., Mansouri, N. and Kia-Lashaki, A. (2017). An indexing approach to assess flood vulnerability in the western coastal cities of Mazandaran, Iran. *Disaster Risk Reduction*, 22, 304-316.
- [17] Saffari, A., Sassanpour, F. and Mosivand, J. (2011). Evaluation of vulnerability of urban areas against flood risk using GIS and fuzzy logic. (Case study: District 3 of Tehran). *Applied Research of Geographic Sciences*, 17(2), 129-150.
- [18] Smalley, S.W. and Retallick, M.S. (2011). Purposes, activities, and documentation of early field experience in agricultural teacher education: A National Delphi Study. *Agricultural Education*, 52(3), 100- 109.