پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۱۱، شماره ۲۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۹، از صفحه ۳ تا ۱٤

اولویت‌بندی زیرحوضه‌های شهری به منظور کنترل سیلاب با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری AHP و Fuzzy_ AHP

آریان صلواتی[۱]، آرش ملکیان*[۲]

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
۲ دانشیار گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۱؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۰/۰۸)

چکیده

سیل یکی از بلایای طبیعی است که هر ساله در نقاط مختلف جهان موجب خسارت‌های مالی و جانی فراوانی می‌شود و محیط‌زیست را نیز تحت تاثیر خود قرار می دهد. اولویت‌بندی زیرحوضه‌های طبیعی و شهری بر اساس آسیب‌پذیری در مواجهه با سیلاب می‌تواند نقش مهمی در سیاست‌گذاری‌ها و اقدام‌های مدیریتی به منظور مدیریت بهینه آبخیزهای شهری و طبیعی داشته باشد. به این منظور از تلفیق دو تکنیک تصمیم‌گیری AHP و Fuzzy AHP به منظور انتخاب ترجیحی، از میان گزینه‌های موجود برای کنترل و مقابله با سیلاب استفاده شد. شهر سنندج، مرکز استان کردستان با مساحت ۳۶۸۸/۶ هکتار در غرب ایران و در بخش جنوبی استان کردستان قرار دارد. در این تحقیق با استفاده از ۹ معیار مساحت، شیب متوسط زیر حوضه طبیعی بالادست، شیب متوسط زیرحوضه شهری، ضریب فرم حوضه، نسبت سطوح نفوذناپذیر به نفوذپذیر، تراکم زهکشی، ارتفاع متوسط زیرحوضه، سن بنا و ارتفاع ساختمان‌ها از سطح زمین دو روش نام برده شده برای زیرحوضه‌های شهری سنندج بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار وزن نسبی متعلق به معیار «نسبت سطوح نفوذناپذیر به سطوح نفوذپذیر» است، که آنالیز حساسیت نیز بر اساس این معیار صورت گرفت. تعدادی از رتبه‌های به دست آمده در دو تکنیک با همدیگر تفاوت دارند، که با استفاده از روش میانگین وزن‌های نسبی اولویت‌بندی نهایی صورت گرفت. زیر حوضه شماره ۴ در اولویت اول و زیر حوضه شماره ۵ در اولویت آخر به منظور انجام اقدام‌های مدیریتی و مقابله‌ای قرار دارند.

کلید واژه‌ها: پتانسیل سیل‌خیزی، شهر سنندج، آنالیز حساسیت، ضریب ناسازگاری

*نویسنده مسئول: Email: malekian@ut.ac.ir

سرآغاز

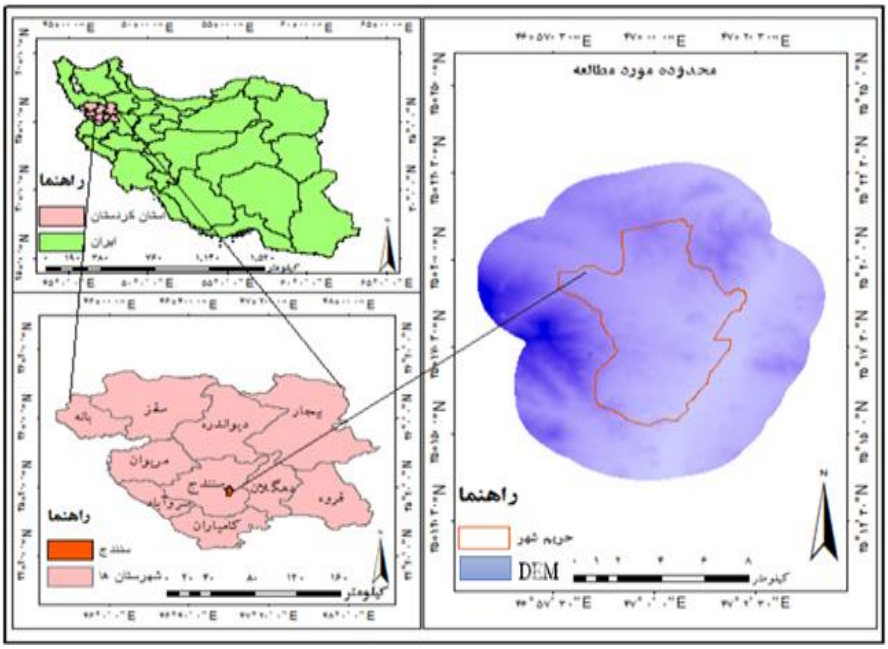
امروزه سیلاب‌ها یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی هستند که جوامع بشری را تهدید و به اکوسیستم‌های طبیعی خسارات جبران‌ناپذیری را وارد می‌کنند (Salajegheh et al., 2010). سیلاب‌ها یکی از ویرانگرترین مخاطرات طبیعی هستند که تلفات و خسارت‌های زیادی را همه ساله بر انسان‌ها و اقتصاد کشورها وارد می‌کنند (Khan et al., 2011). بارش باران با شدت‌های بالا معمولا موجب بروز سیلاب‌ها و اختلالات در مناطق شهری می‌شود که با این وجود، روند بارش باران بسیار پیچیده و غیرخطی است و به لحاظ زمانی و فضایی به علت تغییرات زمین و ویژگی‌های آب و هوایی، متغیر است (Chang & Gue, 2006). منظور از سیل‌خیزی فراوانی وقوع سیل نیست، بلکه منظور استعداد و پتانسیل تولید سیل در سطح زیرحوضه از نظر تاثیر و سهم در هیدروگراف خروجی سیل است (Izanlou, 2006).

برای کاهش هر چه بیشتر اثرات سیل بر روی نواحی شهری اقدام‌های مختلفی از جمله؛ ساختمانی و مدیریتی می‌تواند انجام بگیرد که هر کدام به وسیله عواملی و در دوره‌های زمانی خاص اجرا می‌شود. رویکردهایی مانند استفاده از سدها و مخازن مهارسیلاب‌ها، کانال انحراف سیلاب، گوره‌ها و اصلاح مسیر و مقاطع رودخانه از دسته رویکردهای سازه‌ای کاهش خسارت سیل محسوب می‌شود. رویکردهای دیگری که مستقیم بر روی جریان سیل اثر نمی‌گذارند مانند سامانه پیش‌بینی و هشدارسیلاب‌ها، بیمه سیل و مانند آنها از دسته رویکردهای غیرسازه‌ای محسوب می‌شوند. البته در استفاده از این اقدام‌ها نیز باید نهایت دقت اعمال شود چرا که، در بعضی مواقع در صورت عدم نظارت و اجرای صحیح به عنوان عوامل ایجاد بحران و خسارت عمل می‌کنند (Liberatore, 1987). اقدام‌های مدیریتی و ساختمانی زمانی موثرند که در تلفیق با همدیگر و مکان‌یابی صحیح به کار گرفته شوند. اقدام‌های مقابله و پیشگیری سیلاب‌های شهری باید در سه دوره زمانی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت صورت گیرد که مقدمه اجرای این روش‌ها برنامه‌ریزی در همان دوره‌های زمانی مقابله می‌باشد (Abdollahi, 2003). موقعیت جغرافیایی شهرهای ایران بیانگر این امر است که با توجه به قرارگیری شهرها در مسیر حوزه‌های آبخیز مختلف ضرورت پیش‌بینی‌های لازم برای سیلاب‌ها احساس می‌شود و باید شهرسازان و برنامه‌ریزان شهری، زمین‌شناسان و جغرافی‌دانان به بررسی دقیق علل و عوامل ایجاد این بلایای طبیعی در مناطق شهری بپردازند و راه کارهای لازم را برای کاهش اثرات آن پیش‌بینی کنند (Tehran Office of Studies and Planning, 1992).

امروزه استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، ذخیره‌سازی اطلاعات مکانی و غیرمکانی، مدیریت، ویرایش، قابل نمایش کردن و در نهایت امکان اعمال انواع تحلیل‌های فضایی، ابزار قدرتمندی را در اختیار مدیران و تصمیم‌گیران در کمک به فرایند تصمیم‌گیری قرار داده است. از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، فرآیندهای تحلیل سلسله مراتبی AHP و Fuzzy AHP را می‌توان نام برد که به عنوان تکنیک‌های تصمیم‌گیری در مدیریت جامع حوزه آبخیز مطرح می‌باشند. مطالعه‌های متعددی در خصوص پهنه‌بندی خطر سیل در خارج از کشور و ایران صورت پذیرفته که می‌توان به مواردی چند اشاره نمود (Samari et al., 2012) از AHP در تعیین مناسب‌ترین مدل توسعه و احیاء جنگل‌های زاگرس استفاده کردند. آن‌ها بیان کردند که تکنیک AHP، یک ابزار مناسب پشتیبان تصمیم‌گیری کمی در اختیار مدیران قرار می‌دهد. (Oujan et al., 2008)، از این تکنیک در حوزه آبخیز ریمله در استان لرستان به منظور انتخاب بهترین طرح آبخیزداری (از میان گزینه‌های عملیات بیولوژیکی، عملیات مکانیکی و عملیات عمرانی و خدماتی) استفاده کردند. (Razavizadeh et al., 2016) با استفاده از دو تکنیک AHP و TOPSIS به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های واقع در حوضه‌ی آبخیز طالقان با تعیین ده معیار مهم و کاربردی پرداختند. (Sumit, 2019) با تحلیل نوین از نقشه‌برداری سیل‌ها از طریق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، پاسخ هیدروژئومورفیک به سیل‌ها را با استفاده از تحلیل جغرافیایی و مدل قدرت جریان ارایه داد. (Moghadas et al., 2019) با استفاده از روش‌های AHP، TOPSIS و شاخص‌های انعطاف‌پذیری اجتماعی، اقتصادی، زیرساختی، سازمانی و محیط‌زیستی به رتبه‌بندی نواحی شهری تهران به لحاظ انعطاف‌پذیری در برابر سیلاب پرداختند. (Fernandez & Lutz., 2010) با کمک GIS و سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره اقدام به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری در یکی از استان‌های کشور آرژانتین کردند. (Ozturk & Batuk., 2011) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره و معرفی برنامه‌ای تحت عنوان MCDA–GIS اقدام به پهنه‌بندی سیلاب در حوزه مرمره ترکیه

کردند. این پهنه‌بندی با انتخاب و تهیه لایه‌های موثر در ایجاد سیلاب منطقه شامل بارندگی سالانه، مساحت زیرحوزه‌ها، ارتفاع، شیب، جهت شیب و ضریب زهکشی انجام گرفته است.

شهر سنندج طی سال‌های گذشته دستخوش تغییرات گسترده‌ای در کاربری اراضی شده است؛ به ویژه شاهد تسریع روند افزایش شهرنشینی و سطوح نفوذناپذیر بوده، که این مساله منجر به افزایش دبی‌های اوج وقایع سیلابی در زیرحوضه‌های مختلف شهری سنندج شده است. اولویت‌بندی این زیرحوضه‌ها از لحاظ سیل‌خیزی و آسیب‌پذیری در برابر سیلاب با انگیزه کاهش خطرات از طریق عملیات‌های مدیریتی و مهندسی کارآمد، هدف اصلی انجام این مطالعه است.



شکل (۱): موقعیت شهر سنندج در کشور ایران و استان کردستان

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

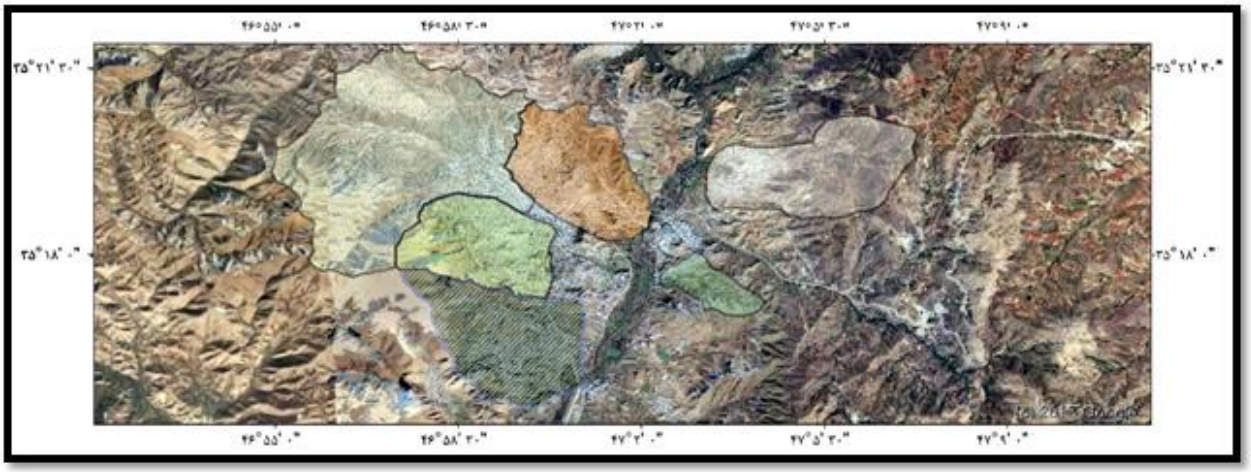
شهر سنندج در غرب ایران و مرکز استان کردستان است. مختصات جغرافیایی سنندج در موقعیت ۳۵ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۶ دقیقه طول شرقی قرار دارد و ارتفاع آن از سطح دریا بین ۱۴۵۰ تا ۱۵۳۸ متر در نقاط مختلف شهر متغیر است. آب و هوای شهر سنندج سرد و نیمه‌خشک و متمایل به نیمه مرطوب است. متوسط دمای سنندج در بهار ۱۵/۲، در تابستان ۲۸۲۵، در پاییز ۱۰/۴ و در زمستان ۱/۶- درجه سانتی‌گراد است. حداکثر دما در تیر حدود ۴۴ درجه و حداقل آن در بهمن، ۱۳/۵- درجه سانتی‌گراد است. بارندگی سالانه به طور متوسط ۵۰۰ میلی‌متر بوده و حداکثر روزانه، ۶۱ میلی‌متر می‌باشد. شهر سنندج بر اساس شبکه زهکشی شهری و نقشه توپوگرافی به ۶ زیر حوضه متصل و منفصل تقسیم شد (شکل۲).

بررسی معیارها

در این مطالعه به منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بر اساس مقابله با سیل و با توجه به منابع موجود معیارهای مهم و تاثیرگذار بر این هدف تعیین شدند که شامل ۹ معیار زیر می‌باشند:

۱. مساحت: مساحت مهم‌ترین عامل فیزیکی بوده که دبی حداکثر، حداقل و متوسط سالانه و همچنین شکل هیدروگراف به آن بستگی دارد (Mahdavi, 1999). در این مطالعه برای هر یک از زیرحوضه‌های تعیین شده دو مساحت در نظر گرفته شد که مساحت هر یک از زیرحوضه‌های شهری و مساحت زیرحوضه‌های طبیعی بالادست که به دلیل محصور بودن شهر در میان رشته کوه‌ها بر روی سیل‌خیز بودن منطقه شهری تاثیرگذار است، را شامل می‌شود.

۲ و ۳. شیب متوسط زیرحوضه طبیعی بالادست و شهری: شیب نقش مهمی در میزان رواناب، مقدار نفوذ و شدت فرسایش ایفا می‌کند (Amani, 1998). شیب متوسط هر یک از زیرحوضه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و DEM ، ۱۰ متری محاسبه شد.



شکل (۲): موقعیت جغرافیایی زیرحوضه‌های شهری سنندج

۴. ارتفاع متوسط زیرحوضه: نقش مهمی در مقدار و نوع بارندگی و همچنین اساس محاسبه شیب دارد. ارتفاع متوسط هر زیرحوضه با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS محاسبه شد.

۵. ارتفاع ساختمان‌ها از سطح زمین: این معیار به میزان آسیب‌پذیر بودن زیرحوضه‌ها در برابر سیل اشاره دارد، با این صورت که در بافت‌های جدید که طبق قوانین شهرداری مکلف به احداث پارکینگ در زیر بنا یا ارتفاع چند متری از سطح زمین هستند، در مقابله با سیل با خسارت‌های کمتری مواجه می‌شوند. این معیار با انتخاب ۵ نقطه به صورت تصادفی در هر زیرحوضه و بررسی میدانی مختصات آن نقاط و نزدیک آن‌ها و میانگین‌گیری حسابی، محاسبه شد (شکل ۳).

۶. تراکم شبکه زهکشی: از تقسیم طول کلیه آبراهه‌های شبکه زهکشی بر مساحت زیرحوضه به دست می‌آید و با دبی حداکثر زیرحوضه همبستگی دارد (Amani, 1998). در این تحقیق خیابان‌های اصلی و فرعی هر زیر حوضه به عنوان آبراهه در نظر گرفته شد و با استفاده از رابطه‌ی زیر تراکم زهکشی هر زیرحوضه محاسبه شد:

$$Dd = \frac{\sum Li}{A} \qquad (۱)$$

Dd = تراکم زهکشی بر حسب کیلومتر بر کیلومتر مربع، Li= طول آبراهه بر حسب کیلومتر، A=مساحت حوزه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع.

۷. ضریب فرم حوضه: شکل حوضه تاثیر زیادی بر روی هیدروگراف آن دارد؛ به طوری که هرچه حوضه گردتر باشد با فرض ثابت بودن سایر پارامترها، میزان دبی اوج هیدروگراف بیشتر خواهد بود (Ghaemi, 1994). ضریب فرم هر کدام از زیرحوضه‌ها از رابطه زیر محاسبه شد:

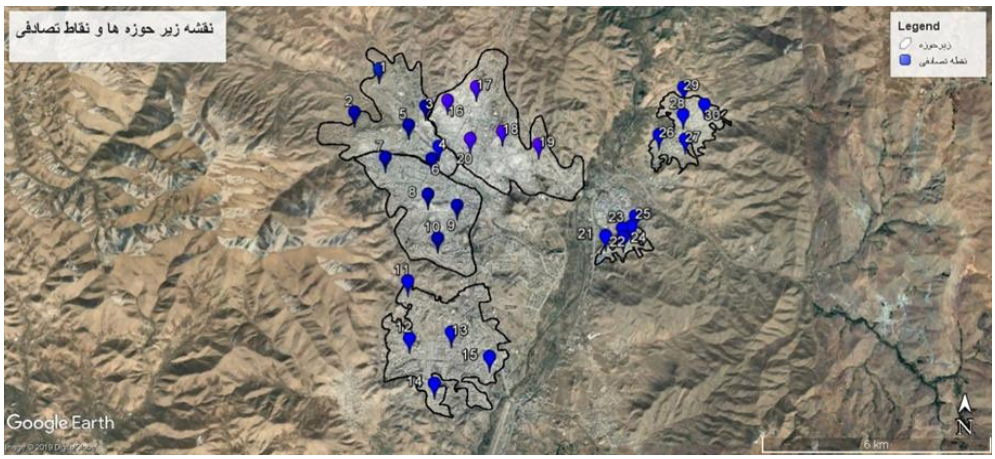
$$F.F = \frac{\mathrm{L}}{\mathrm{A}} \qquad (۲)$$

F.F= ضریب فرم حوضه، L= طول خطی که خروجی را به دورترین نقطه در حوضه متصل می‌کند بر حسب کیلومتر، A= مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع.

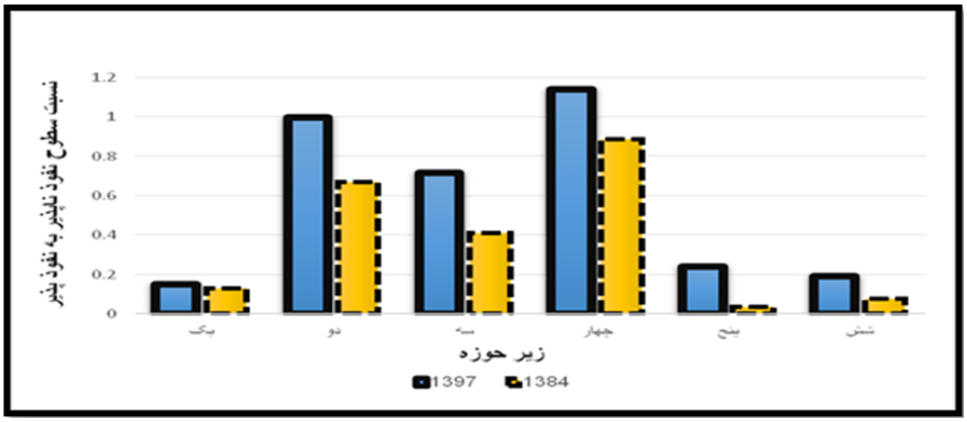
۸. نسبت سطح نفوذ ناپذیر به سطح نفوذپذیر: به عنوان یک عامل مهم و موثر در تبدیل بارندگی به سیلاب مطرح است که با استفاده از نرم‌افزار گوگل ارث برای هر کدام از زیرحوضه‌ها محاسبه شد. همچنین توسعه این سطوح در طی ۱۳ سال با استفاده از تصاویر گوگل ارثی و جدا کردن مناطق نفوذناپذیر و نفوذپذیر برای شهر سنندج بررسی شد (شکل۴).

۹. سن بنا : در کنار معیار ارتفاع ساختمان‌ها از سطح زمین به منظور بررسی آسیب‌پذیری در برابر سیلاب مورد استفاده قرار گرفت. نحوه محاسبه این معیار همانند، معیار ارتفاع ساختمان‌ها از سطح زمین، و در همان نقاط بررسی شد.

پس از محاسبه و تعیین مقادیر معیارهای نام برده شده، اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها به منظور انجام اقدام‌های مدیریتی و ساختمانی کنترل سیلاب با استفاده از دو تکنیک AHP و Fuzzy AHP انجام شد.



شکل (۳): موقعیت نقاط تصادفی در زیر حوضه‌ها



شکل (۴): مقایسه تغییر سطوح نفوذناپذیر در هریک از زیر حوضه‌ها

جدول (۱): مقادیر کمی معیارهای مورد مطالعه

زیر حوضه	مساحت (Km^2)	شیب متوسط زیرحوضه طبیعی بالادست (درصد)	شیب متوسط زیرحوضه شهری (درصد)	ارتفاع متوسط زیرحوضه‌ها از سطح دریا (m)	تراکم شبکه زهکشی (Km/Km^2)	ضریب فرم حوضه	نسبت سطوح نفوذناپذیر به سطوح نفوذپذیر
۱	./۰۰۳۴	۶۲/۷۷	۵۰/۵۵	۱۶۰۲/۷	۰/۰۱۶۷	۰/۶۵	۰/۱۲۸
۲	۰/۰۰۱۳	۴۳/۸۶	۳۹/۷۷	۱۵۳۳/۹	۰/۰۰۳۴	۰/۴۴	۰/۶۷۰۵
۳	۰/۰۰۱۵۴	۵۴/۳۳	۵۳/۸۸	۱۵۳۱	۰/۰۰۳۳	۰/۳۴	۰/۴۰۹۲
۴	۰/۰۰۱۱	۷۱/۸۶	۴۷/۳۳	۱۵۷۳/۵	۰/۰۰۴۷	۰/۵۱	۰/۸۸۴۸
۵	۰/۰۰۰۳۲	۷۲/۸۸	۲۵/۲۲	۱۵۱۸	۰/۰۰۴۱	۰/۳۳	۰/۰۳۶۳
۶	۰/۰۰۱۵۱	۵۸/۸۸	۵۶	۱۵۰۸/۸	۰/۰۰۲۳	۰/۳۶	۰/۰۷۷۳

* مقادیر مربوط به معیارهای سن بنا و ارتفاع ساختمان‌ها از سطح زمین به صورت کمی و با ترتیب زیرحوضه‌ها نسبت به یکدیگر تعیین شد.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy Process)

روش تحلیل سلسلـه مـراتبی (AHP) یکی از روش‌هـای مهـم تصمیم‌گیری چند شاخصه است که برای اولین بار در سال ۱۹۷۰ ابداع شد (Murmu, 2019). در این روش مساله تصمیم‌گیری به سطوح مختلف هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها تقسیم

می‌شود. در این فرآیند گزینه‌های مختلفی در تصمیم‌گیری دخالت داده می‌شود و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها وجود دارد. از مزایای دیگر این روش، تعیین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم می‌باشد. به طورکلی فرآیند AHP با تجزیه و تحلیل مسایل پیچیده، آن‌ها را به شکل ساده تبدیل می‌کند.

گام‌های روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

گام اول) تعیین هدف

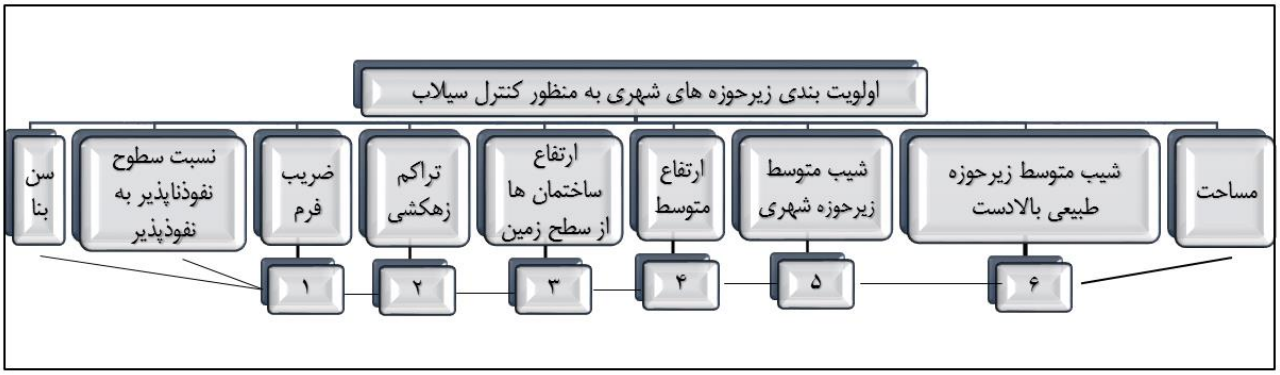
مرحله اول فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، تعیین هدف است. به پرسش اصلی تحقیق، یا مشکلی که قصد حل آن را داریم، هدف گفته می‌شود. هدف بالاترین سطح را در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی داراست و تنها یک پارامتر دارد که انتخاب آن وظیفه بالاترین سطح تصمیم‌گیری پروژه می‌باشد.

گام دوم) مشخص کردن معیارها و زیرمعیارها

ملاک‌های متضمن هدف و سازنده آن معیارهای ما را تشکیل می‌دهند. معیارها دومین سطح درخت سلسله مراتبی پس از هدف هستند. معیارها قابل تقسیم به زیرمعیارها و زیرمعیارها قابل تقسیم به زیرمعیارهای بعدی می‌باشند. این وضعیت می‌تواند بسته به ضرورت تا n زیرمعیار در سطح عمودی و افقی افزایش پیدا نماید.

گام سوم) تشکیل ساختار سلسله مراتبی

مرحله سوم فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی از موضوع مورد بررسی می‌باشد که در آن هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها و ارتباط میان آن‌ها نشان داده می‌شود (شکل۵).



شکل (۵): ساختار سلسله مراتبی

گام چهارم) تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها

برای تعیین ضریب اهمیت (وزن) نسبی معیارها و زیرمعیارها، نخست دوبه‌دو آن‌ها را با هم مقایسه می‌شوند. وزن هر عامل نشان‌دهنده اهمیت و ارزش آن نسبت به عوامل دیگر است. بنابراین انتخاب آگاهانه و صحیح وزن‌ها کمک بزرگی در جهت تعیین هدف موردنظر می‌نماید (جدول۲).

جدول (۲): وزن های مربوط به اهمیت معیارها نسبت به هم (Fallsoleyman et al., 2013)

اهمیت یک معیار نسبت به دیگری	مقدار عددی
کاملا مهم‌تر و یا کاملا مطلوب‌تر	۹
اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی	۷
اهمیت یا مطلوبیت قوی	۵
کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر	۳
اهمیت یا مطلوبیت یکسان	۱
اهمیت یا مطلوبیت بین فواصل فوق	۲، ۴، ۶، ۸

گام پنجم) تعیین ضریب اهمیت گزینه‌ها

پس از تعیین ضرایب اهمیت معیارها و زیرمعیارها، ضریب اهمیت گزینه‌ها را باید تعیین کرد. در این مرحله، ارجعیت هر یک از گزینه‌ها در ارتباط با هر یک از زیرمعیارها و اگر زیرمعیار نداشت به‌طور مستقیم با خود آن معیار مورد قضاوت و داوری قرار می‌گیرد.

گام ششم) تعیین امتیاز نهایی (اولویت) گزینه‌ها (وزن مطلق)

در این مرحله از تلفیق ضرایب اهمیت مزبور، امتیاز نهایی هر گزینه تعیین خواهد شد. برای این کار از اصل ترکیب سلسله مراتبی که منجر به یک «بردار اولویت» با در نظر گرفتن همه قضاوت‌ها در تمامی سطوح سلسله مراتبی می‌شود، استفاده خواهد شد.

گام هفتم) بررسی سازگاری در قضاوت‌ها

هنگامی که اهمیت شاخص‌ها نسبت به یکدیگر برآورد می‌شود،

احتمال ناهماهنگی در قضاوت‌ها وجود دارد. بنابراین، لازم است از سنجه‌ای استفاده شود که میزان ناهماهنگی داوری‌ها را نمایان سازد. یکی از مزیت‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی، امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌های انجام شده برای تعیین ضریب اهمیت شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها است (Eastman, 2006).

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (Fuzzy Analytical Hierarchy Process)

مفاهیم این روش مشابه روش AHP است. تفاوت روش Fuzzy AHP با روش AHP از مرحله درج وزن‌های مقایسه زوجی در ماتریس مقایسه آغاز می‌شود؛ بدین معنی که بر خلاف روش قبلی که نظر کارشناس به صورت عددی مطلق وارد فرآیند وزن‌دهی می‌شد، در این روش نظر کارشناس به صورت بازه‌هایی از اعداد که نشانگر عدم اعتماد کامل به نظر کارشناسی می‌باشد، وارد فرآیند وزن‌دهی می‌شوند که شامل سه عدد وزن متوالی از جدول مقایسه دوتایی می‌باشند.

مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به روش چانگ به شرح زیر است (Shirmard et al., 2013):

گام اول) رسم نمودار سلسله مراتبی

گام دوم) تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسه‌های زوجی این تعداد بر اساس روش چانگ در جدول (۳) نشان داده شده است.

گام سوم) تشکیل ماتریس مقایسه زوجی با به کارگیری اعداد فازی

جدول (۳): وزن های فازی مربوط به اهمیت معیارها نسبت به هم (Fallsoleyman et al., 2013)

کد	اهمیت یک معیار نسبت به دیگری	مقدار عددی فازی
۱	ترجیح برابر	(۱و۱و۱)
۲	ترجیح کم تا متوسط	(۱/۵و۱/۵و۱)
۳	ترجیح متوسط	(۲و۲و۱)
۴	ترجیح متوسط تا زیاد	(۳و۳/۵و۴)
۵	ترجیح زیاد	(۳و۴و۴/۵)
۶	ترجیح زیاد تا خیلی زیاد	(۳و۴/۵و۵)
۷	ترجیح خیلی زیاد	(۵و۵/۵و۶)
۸	ترجیح خیلی زیاد تا کاملا زیاد	(۵و۶و۷)
۹	ترجیح کاملا زیاد	(۵و۷و۹)

گام چهارم) محاسبه ماتریس S برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی S_iها اعداد فازی مثلثی هستند که از رابطه زیر محاسبه می‌شوند:

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \, \pi \otimes \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \right]^{-1} \qquad (۳)$$

M اعداد فازی مثلثی داخل ماتریس مقایسه‌های زوجی هستند. در حقیقت هنگام محاسبه ماتریس S، هر یک از اجزای اعداد فازی را نظیر به نظیر جمع می‌زنیم و در معکوس فازی مجموع کل ضرب می‌کنیم. این مرحله شبیه محاسبه وزن‌های نرمال شده در روش AHP معمولی، منتها با اعداد فازی است.

گام پنجم) در این مرحله S_i ها از نظر درجه بزرگی بر اساس فرمول زیر با یکدیگر مقایسه می‌شوند:

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1 & if\ M_2 \geq M_1 \\ 0 & if\ L_1 \geq U_2 \\ \frac{L_1 - U_2}{(M_2 - U_2) - (M_1 - U_1)} & otherwise \end{cases} \qquad (۴)$$

که در رابطه فوق، $M_1 = (L_1 . M_1 . U_1)$ و $M_2 = (L_2 . M_2 . U_2)$ دو عدد فازی مثلثی هستند.

گام ششم) محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس‌های مقایسه زوجی

در این مرحله، بردار وزن نرمالایز نشده با محاسبه کمترین مقدار Vهای محاسبه شده در مرحله قبل، به‌دست آورده شد.

گام هفتم) در مرحله آخر، بردار وزن به دست آمده از مرحله قبل که نرمال نشده بود، را نرمالایز می‌کنیم تا بردار وزن نهایی که هدف ما از محاسبه‌های فازی است به دست آید.

اولویت‌بندی نهایی زیرحوضه‌ها

استفاده از چند روش تصمیم‌گیری چند شاخصه، ممکن است منجر به ارائه نتایج متفاوتی شود. برای توافق در این شرایط، روش‌های مختلفی مطرح شده که به «روش‌های ادغام» معروف بوده و عبارتند از: روش میانگین وزن‌ها، میانگین رتبه‌ها، روش بردا و روش کپ‌لند. از میان روش‌های مطرح شده، روش میانگین وزن‌ها متداول‌ترین روش بوده که گزینه‌ها را بر اساس میانگین وزن‌های به‌دست آمده از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره، اولویت‌بندی می‌کند (Momeni, 2010).

تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت چگونگی اولویت‌بندی یک گزینه را نسبت به سایر گزینه‌ها با توجه به هر معیار در حالت کلی نشان می‌دهد (۱۴). به طور کلی هدف از انجام این تحلیل، نشان دادن حساسیت انتخاب نهایی گزینه‌ها با توجه به وزن‌های نسبت داده به هر معیار توسط تصمیم‌گیرنده است.

● نتایج

نتایج به دست آمده از روش AHP

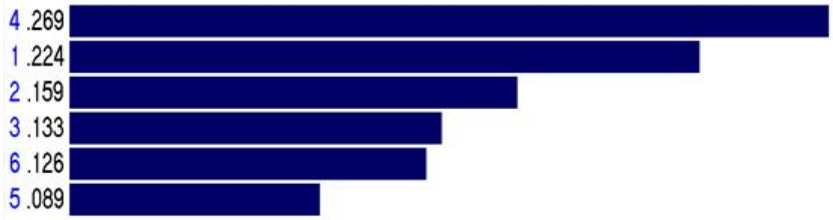
وزن نسبی معیارها

بر اساس نتایج ده پرسشنامه پر شده توسط هیات علمی و دانشجویان دانشگاه تهران رشته‌های آبخیزداری و مهندسی آب، از میان معیارهای بررسی شده، «نسبت اراضی نفوذناپذیر به اراضی نفوذپذیر» بیشترین مقدار وزن را به میزان ۰/۳۷۵ به خود اختصاص داده است. همچنین نرخ ناسازگاری که مقدار مطلوب آن باید کمتر از ۰/۱ باشد (Moghadas, 2019)، در این تحقیق به مقدار ۰/۰۴ بود که بیان‌گر سازگار بودن تصمیم‌گیری‌ها در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد (شکل۶).

اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها

با ترکیب وزن نسبی و مقادیر کمی متعلق به معیارها در هر یک از زیرحوضه‌ها، اولویت‌بندی ۶ زیر حوضه شهری سنندج با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice انجام شد. زیر حوضه شماره ۴ با وزن نهایی ۰/۲۶۹ در اولویت اول کنترل و مقابله با سیلاب و زیر حوضه شهری شماره ۵ با وزن نهایی ۰/۰۸۹ در اولویت آخر قرار دارد. اولویت‌بندی تمام زیرحوضه‌ها همراه با وزن نهایی آن‌ها در شکل (۷) نشان داده شده است.

شکل (۶): اولویت و وزن نسبی ۹ معیار مورد بررسی در روش AHP



شکل (۷): اولویت‌بندی زیر حوضه‌های شهری سنندج در روش AHP به منظور کنترل سیلاب

نتایج به دست آمده از روش Fuzzy AHP

وزن نسبی معیارها

بیشترین مقدار وزن نسبی معیارها در این روش همانند روش AHP متعلق به معیار «نسبت اراضی نفوذناپذیر به اراضی نفوذپذیر» می‌باشد. همچنین در این روش مقدار نرخ ناسازگاری برابر با ۰/۰۶ بود. وزن نسبی و نهایی معیارها در جدول (۴) نمایش داده شده است.

اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها

باتوجه به نتایج حاصل از انجام مراحل نام برده شده برای روش Fuzzy AHP، زیرحوضه شماره ۱ با وزن نسبی ۰/۱۸۶در اولویت اول و زیرحوضه شماره ۲ با وزن نسبی ۰/۱۴۴ در اولویت آخر قراردارد. اولویت‌بندی زیرحوضه‌های شهری موردنظر در جدول (۵) نشان داده شده است.

اولویت‌بندی نهایی از لحاظ کنترل سیلاب

در این تحقیق به منظور رتبه‌بندی نهایی زیرحوضه‌ها با استفاده از دو روش مذکور از میانگین وزن‌ها برای تلفیق اولویت‌های به دست آمده استفاده شد (جدول۶).

تحلیل حساسیت

به منظور آنالیز حساسیت نتایج حاصل از تحلیل سلسله مراتبی با تغییر مقادیر وزنی هر یک از معیارها، می‌توان میزان حساسیت نتایج را نسبت به معیار موردنظر بررسی نمود. تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که اگر وزن معیار «نسبت اراضی نفوذناپذیر به اراضی نفوذپذیر» از ۰/۳۷۵ به ۰/۲۶۵کاهش یابد، زیرحوضه ۱ در اولویت اول و زیرحوضه ۴ در اولویت دوم، زیرحوضه ۳ در اولویت پنجم و زیرحوضه ۶ در اولویت چهارم قرار می‌گیرند (شکل‌های ۸ و ۹).

بحث و نتیجه‌گیری

سالانه در نقاط مختلف جهان، جان و مال بسیاری از مردم در اثر وقوع سیل‌های شهری به مخاطره می‌افتد. تغییرات کاربری اراضی، افزایش شهرنشینی، ساخت و سازهای غیراصولی، سیستم فاضلاب قدیمی و توسعه اراضی غیرقابل نفوذ در مناطق شهری اثرات مهمی در وقوع این خطر دارند و این موضوع در شهر سنندج نیز صادق است. مطالعات مختلف دلالت بر این موضوع دارد که عدم توجه به حریم مسیل‌ها و رودخانه‌ها سبب ایجاد یک رشد نمایی در فراوانی وقوع سیلاب و میزان خسارت‌های وارده شده است. یکی از جنبه‌های مهم و قابل توجه در برنامه‌ریزی توسعه، تاکید و توجه به آسیب‌پذیری شهرها در مقابل تهدیدات بلایای طبیعی مانند سیل است. زیرا، شهرها با توجه به حجم بالای سرمایه‌گذاری و مکان گزینی بسیاری از تاسیسات و ابزارهای اقتصادی و اجتماعی، توجه بیشتری را می‌طلبند؛ چرا که بروز این حوادث تلفات جانی و مالی زیادی به دنبال خواهد داشت. در دنیای امروز ما، که زندگی شهری خسارات جبران ناپذیری را به طبیعت وارد آورده و بسیاری از منابع‌طبیعی را در معرض تهدید قرار داده است، مدیریت و ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر آب‌های سطحی از اهمیت خاصی برخوردار است. تخریب حوزه آبخیز بالادست نواحی شهری به صورت‌های مختلف از جمله تخریب پوشش گیاهی و جاده‌سازی، همچنین گسترش بی‌رویه اراضی شهری و صنعتی، سبب کاهش نفوذ و تبخیر و افزایش رواناب می‌شود. ازسوی دیگر رژیم بارش غالب در منطقه عرب کشور شامل شهر سنندج به صورت رگبارهای شدید و کوتاه مدت بهاره و بعضا تابستانه است که فرصت نفوذ باران به داخل خاک را کاهش می‌دهد و در نتیجه بخش قابل توجهی از بارش به رواناب‌های سطحی تبدیل می‌شود.

جدول (۴): وزن نسبی ۹ معیار مورد بررسی در روش Fuzzy AHP

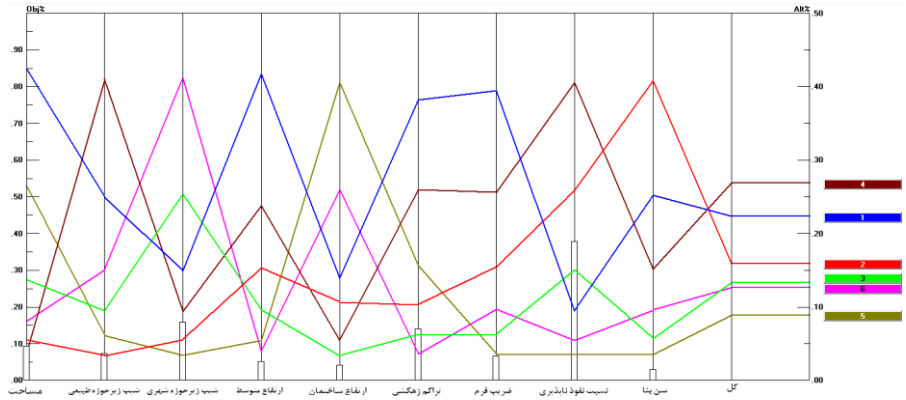
معیار مورد بررسی	وزن نسبی
نسبت سطوح نفوذناپذیر به سطوح نفوذپذیر	۰/۱۶۶
شیب متوسط زیر حوضه شهری	۰/۱۱۷
تراکم زهکشی	۰/۱۰۵
مساحت	۰/۱
شیب زیرحوزه طبیعی بالادست	۰/۱۱۱۱
ضریب فرم حوضه	۰/۱۰۹
ارتفاع متوسط حوضه	۰/۱۰۹
ارتفاع ساختمان‌ها از سطح زمین	۰/۰۸۳
سن بنا	۰/۱

جدول (۵): اولویت‌بندی زیرحوضه های شهری سنندج در روش Fuzzy AHP به منظور کنترل سیلاب

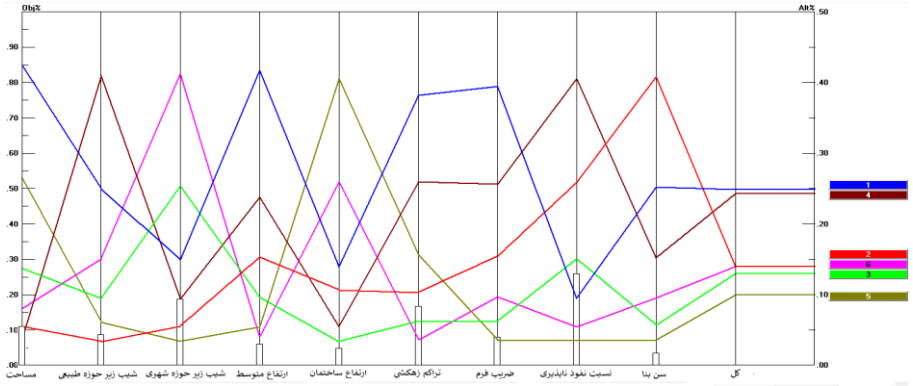
زیرحوضه	وزن نهایی
۱	۰/۱۸۶
۲	۰/۱۴۴
۳	۰/۱۵۱
۴	۰/۱۸۱
۵	۰/۱۶۴
۶	۰/۱۷

جدول (۶): اولویت‌بندی نهایی زیر حوضه‌ها

زیرحوضه	وزن نسبی AHP	وزن نسبی Fuzzy AHP	میانگین وزن‌ها	اولویت‌بندی نهایی
۱	۰/۲۲۴	۰/۱۸۶	۰/۲۰۵	۲
۲	۰/۱۵۹	۰/۱۴۴	۰/۱۵۱	۳
۳	۰/۱۳۳	۰/۱۵۱	۰/۱۴۲	۵
۴	۰/۲۶۹	۰/۱۸۱	۰/۲۲۵	۱
۵	۰/۰۸۹	۰/۱۶۴	۰/۱۲۶	۶
۶	۰/۱۲۶	۰/۱۷	۰/۱۴۸	۴



شکل (۸): تحلیل حساسیت نتایج اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با «نسبت نفوذناپذیری ۰/۳۷۵»



شکل (۹): تحلیل حساسیت نتایج اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با «نسبت نفوذناپذیری ۰/۲۶۵»

از این رو رودخانه‌ها و مسیل‌های حوزه‌های آبخیز شهری از درجه ریسک زیادی برای سیل‌خیزی و خسارت‌های ناشی از آن برخوردارند و دستیابی به توسعه پایدار شهری نیازمند طراحی مدل‌های مناسب مدیریت و حفاظت رودخانه‌ها و مسیل‌ها در این مناطق است. بررسی ویژگی‌های حوزه آبخیز شهری و سنندج و ارزیابی ویژگی‌های آن برای پاسخگویی به نیازهای مختلف شهری از زیربنایی‌ترین اموری است که باید در برنامه‌ریزی‌های خرد و کلان شهری مورد توجه مسئولان و کارشناسان قرار گیرد. از این‌رو، برنامه‌ریزان شهر بایستی با توجه کامل به این مسایل، 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 مانند ساختمان‌سازی و ساخت شبکه معابر و سیستم‌های خدمات رسانی، تعیین نقاط ارتباطی و تاسیسات و سیستم های فاضلاب و غیره نمایند. این مساله به ویژه در شهرهایی مانند سنندج که روند توسعه‌ای و تغییر جمعیت رو به رشدی دارند از اهمیت بیشتری برخوردار است. نتایج ارایه شده در شکل (۶) و جدول (۴)، نشان داد که مهم‌ترین معیار در اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها نفوذپذیری است که به مرور زمان به دلیل توسعه شهری از میزان آن کاسته شده و جای خود را به اراضی نفوذناپذیر پوشیده شده با سنگ و سیمان و آسفالت و غیره داده است. این نتایج با نتایج پهنه‌بندی سیل حوزه آبخیز طالقان با روش‌های TOPSIS و AHP (Razavizadeh & Shahedi, 2016)، پهنه‌بندی سیل حوزه آبخیز دینوار بر اساس ویژگی‌های ژئومرفولوژی (Alaei Taleghani & Homayooni, 2011)، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از شماره منحنی و مدل هیدرولوژیکی و AHP در محیط GIS در حوزه آبخیز رودخانه بالخلو (Ghanavati et al., 2014)، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در حوضه دره شهر سراب (Servati et al., 2013) همخوانی دارد. هر چه میزان سطوح نفوذپذیر کمتر باشد، میزان رواناب بیشتر و سیل خیزی زیرحوضه نیز شدت بیشتری پیدا می‌کند. معیارهای شیب متوسط و تراکم زهکشی زیرحوضه‌های شهری با توجه به تاثیر آنها در زمان تمرکز و سرعت حرکت رواناب بعد از معیار نفوذپذیری به ترتیب دارای وزن‌های بیشتری در تعیین اولویت زیرحوضه‌ها به منظور کنترل سیلاب هستند. نتایج

رتبه‌بندی زیرحوضه‌ها در جدول (۶)، نشان داد که در روش AHP زیرحوضه شماره ۴ در رتبه اول و در روش Fuzzy_ AHP در رتبه دوم قرار گرفت، اما زیرحوضه ۱ در روشAHP رتبه دوم و روش Fuzzy_ AHP در رتبه اول قرار گرفت. به منظور تلفیق اولویت‌های دو روش، ازمیانگین وزن‌ها استفاده شد که با توجه به جدول (۶)، زیرحوضه شماره ۴ در اولویت اول و به ترتیب زیرحوضه‌های ۱ و ۲ در اولویت‌های بعدی به منظور کنترل و پیشگیری از رخداد سیل هستند. تحلیل حساسیت براساس معیار نفوذپذیری انجام شد که با توجه به شکل‌های (۸ و ۹)، تغییر وزن نسبت نفوذناپذیری از مقدار ۰/۳۷۵ به ۰/۲۶۵ موجب شد که زیرحوضه شماره ۱ در اولویت اول و به جای زیرحوضه ۴ در روش AHP قرار بگیرد. اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با تلفیق دو روش AHP و Fuzzy_AHP ابزاری مناسب و کاربردی بوده و استفاده از نتایج آن می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های شهری بر اساس اولویت‌های به دست آمده با هدف کاهش ریسک وقوع سیلاب شهری مورد استفاده قرار گیرد. بی‌تردید رشد جمعیت شهری و تغییر الگوهای زندگی و وابستگی برخی کانون‌های جمعیتی ساکن در خارج منطقه به سنندج، به گسترش نیازهای شهری دامن زده و توجه ویژه به بستر شهر و پهنه‌بندی سیل آن را گریزناپذیر می‌کند. بدیهی است در همه شهرها به ویژه شهرهایی مانند سنندج که روند توسعه‌ای رو به رشدی دارند لزوم توجه به بستر طبیعی شهر انکارناپذیر است و بایستی با در نظر گرفتن تمهیدات اصولی و مکان گزینی مناسب از بروز آسیب‌های جانی و زیان‌های مالی جلوگیری شده و امنیت زیستی در مناطق شهری با رعایت اصول آبخیزداری شهری فراهم شود.

فهرست منابع

Abdollahi, M. 2003. Crisis Management in Urban Areas, Publications of the Organization of Municipalities, Second Edition (In Persian).

Alaei Taleghani, M. & Homayooni, S. 2011. Flood Hazard Zonation in Dinvar Basin According to the Geomorphology Component. Journal of Geographical Research, 1: 49-37 (In Persian).

Amani, F. 1998. Feasibility of flooding. Master Thesis, Shahid Beheshti University, pp 182 (In Persian).

Chang, N. B. & Guo, D. H. 2006. Urban flash flood monitoring, mapping and forecasting via tailored sensor network system. In Proceedings of the IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, (ICNSC'06), Ft. Lauderdale, FL, USA, 23–25.

Da-Yong Chang, 1996. European Journal of Operational Research, Beijing Materials College, pp 649-655.

Eastman, J.R. 2006. IDRISI Andes, Guide to GIS and image processing. Clark labs, Clark University.

Fallsoleyman, M.; Hajipour, M. & Sadeghi, H.A. 2013. Comparison of the Efficiency of AHP and TOPSIS Multiple Decision Making Methods in Determining Areas Susceptible to Cultivation of Pistachio Cultivars in Mokhtaran Plain, Birjand County. Journal of Applied Geosciences Research, 31: 133-155 (In Persian).

Fernandez, D.S. & Lutz, M.A. 2010. Urban Flood Hazard Zoning in Tucumán Province, Argentina, Using GIS and Multicriteria Decision Analysis. Research Engineering Geology, 111: 90-98.

Ghaemi, H. 1994. Studies to supplementary identification of watershed project in Karkheh watershed. Watershed management department of the Ministry of Jihad, pp 195 (In Persian).

Ghanavati, E.; Safari, A.; Javid, E. & Mansorian, E.2014. Zonation of flooding using CN hydrological model and AHP in GIS, case study: Balekhloo river basin. Natural Geography Research, 25: 67-80 (in Persian).

Izanlou, H. 2006. Time and Place priority of flooding in in Kooshak Abad sub watersheds using HEC-HMS model. Master Thesis, Tarbiat Modares University, pp 76 (In Persian).

Karam, A. & Derakhshan, F. 2012. Flood Hazard Zonation, Flood Estimation and Evaluation of Surface Water Disposal Channels in Urban Watersheds: A Case Study Abshore Basin in Kermanshah. Geography Quarterly, 16: 54-37 (In Persian).

Kordi, M. & Brandt, S. A. 2012. Effects of increasing fuzziness on analytic hierarchy process for spatial multicriteria decision analysis. Computers, Environment and Urban Systems, 36(1), 43–53.

Khan, S.I.; Hong, Y.; Wang, J.; Yilmaz, K.K.; Gourley, J.J.; Adler, R.F.; Brakenridge, G.R.; Policelli, F.; Habib, S. & Irwin, D. 2011. Satellite Remote Sensing and Hydrologic Modeling for Flood Inundation Mapping in Lake Victoria Basin: Implications for Hydrologic Prediction in Ungauged Basins. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 49, 85–95.

Liberatore, M. 1987. An Extension of the analytic hierarchy process for industrial R & D project selection and resource allocation, IEEE Trans. Eng. Manag. , vol. EM-34, no. 1, pp. 12-18.

Mahdavi, M. 1999. Applied Hydrology, Tehran University Publishers, 401pp (In Persian).

Moghadas, M.; Asadzadeha, A.; Vafeidis, A.; Feketec, A. & Kötter, T. A. 2019 .Multi-criteria approach for assessing urban flood resilience in Tehran, Iran. International Journal of Disaster Risk Reduction, 35: 101069.

Momeni, M. 2010. New Topics in Operations Research. 352 pp.

Murmu, P.; Kumar, M.; Lal, D.; Sonker, I. & KumarSingh, S. 2019. Delineation of groundwater potential zones using geospatial techniques and analytical hierarchy process in Dumka district, Jharkhand, India. Groundwater for Sustainable Development, 100239.

Nasiri Ghidari, A.; Montazeri, A.A. & M. Momeni. 2010. Ensemble AHP and TOPSIS in determination of relative weights of criteria and assessment of drainage and irrigation networks. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 4(2): 284-296 (In Persian).

Oujan, M.; Jalilian, H. & Rostaminzad, Gh. 2008. AHP, an approach to watershed management. The third conference of Water Resources Management, Tabriz University.

Ozturk, D. & Batuk, F. 2011. Implementation of Gis-Based Multicriteria Decision Analysis with Va in ArcGic. International Journal of Information Technology & Decision Making, 6: 1023-1042.

Razavizadeh, S. & Shahedi, k. 2016. Prioritization of flooding under the Taleghan watersheds using the combination of AHP and TOPSIS, Journal of Iranian Natural Ecosystems, No. 4, pp. 33-46.

Salajegheh, A.; Razavizadeh, S. & Salajegheh, S. 2010. Priority of flooding in Tangab sub basins in Fars province, using Scalogram model. The first international conference on plant, water, soil 7 weather modeling, Kerman, Iran (In Persian).

Samari, D.; Azadi, H.; Zarafshani, K.; Hosseininia, G. & Witlox, F. 2012. Determining appropriate forestry extension model: Application of AHP in the Zagros area, Iran. Forest Policy and Economics, 15, 91-97(In Persian).

Servati, M.; Ahmadi, M.; Nosrati, K. & Mezbani, M. 2013. Flood potential zonation in SARAB of Darreshahr drainage basin Using curve number method. Geography, 11(36), 55-77.

Shirmard, H.; Bahroudi, A. & Adeli, A. 2013. Fuzzy hierarchical analysis method in spatial information system Determine optimal drilling points in copper mineral nisian, Quarterly Journal of Geographic Information, 93: 91-100 (In Persian).

Sumit, D. 2019. Geospatial mapping of flood susceptibility and hydro-geomorphic response to the floods in Ulhas basin, India. Journal of Society and Environment, April 2019, 60-74.

Tehran Office of Studies and Planning. 1992. Proceedings of the First International Conference on Natural Disasters in Urban Areas, Second Section, Tehran, p. 401-402 (In Persian).