مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هشتم، شماره بیستم، تابستان ۱۳۹۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۰۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۰۳

صفحات: ۱۰۰ - ۸۳

اولویت‌بندی زیرحوزه‌های شهری مستعد سیلاب با استفاده از تکنیک PCA به عنوان یک روش جدید وزن‌دهی

رضا قضاوی[۱]*، سحر بابایی حصار[۲]، مهدی عرفانیان[۳]

چکیده

در مناطق شهری به دلیل توسعه سطوح نفوذناپذیر و به دنبال آن افزایش قابلیت تولید رواناب، احتمال بروز پدیده‌های مخرب سیلابی بیش از سایر مناطق است. اولین گام در مدیریت سیلابهای شهری شناسایی مناطق بحرانی می‌باشد. در این پژوهش به منظور اولویت‌بندی زیرحوزه‌های شهرستان ارومیه نسبت به سیل‌خیزی از تکنیک چند معیاره فرارتبه‌ای پرومته II (PROMETHEE II) استفاده شده است. برای این منظور، ابتدا مرز واحدهای هیدرولوژیکی در ArcGIS با توجه به شیب منطقه و وضعیت کانال‌های انتقال آب و محل اتصالات آنها، مشخص و تعداد ۲۲ زیرحوزه تعیین شد. خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوزه‌ها)ارتفاع رواناب، نفوذناپذیری، ارتفاع زیرحوزه، شماره منحنی، طول آبراهه اصلی، فرم زیرحوزه، محیط و مساحت آن) به عنوان معیارهای رتبه‌بندی انتخاب شدند. وزن هر یک از این متغیرها از عواملی است که تاثیر بسیار زیادی بر فرآیند رتبه‌بندی زیرحوزه‌ها می‌گذارد و لازم است با حساسیت خاصی تعیین گردد. از طرفی، اثر متغیرهای مختلف از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت است. برای روشن شدن این مسئله، در این پژوهش تعیین وزن معیارها یک بار به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و بار دیگر بر اساس آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA) انجام شد. با توجه به وزن و مقدار هر معیار در هر گزینه (زیرحوزه)، تکنیک پرومته II برای هر یک از دو گروه وزن تعیین شده، اجرا و زیرحوزه‌های منطقه نسبت به سیل-خیزی اولویت‌بندی شد و مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد در الویت زیرحوزه‌ها بر اساس دو روش وزن‌دهی تفاوتهایی وجود دارد. وزن معیار اول که عمق رواناب است برای روش‌های PCA و AHP متفاوت بوده و به ترتیب برابر با ۰/۱۵۰ و ۰/۲۸۰ می‌باشد. تاثیر اختلاف وزن معیارها و اولویت آنها در ایجاد سیل، قابل‌ملاحظه بوده است؛ به طوریکه از بین هفت زیرحوزه بحرانی نخست، تنها چهار زیرحوزه به طور مشترک حضور دارند که از این چهار زیرحوزه نیز تنها دو زیرحوزه دارای رتبه یکسانی هستند. این موضوع نشان می‌دهد که روش PCA به دلیل ملاحظه اثر ویژگی‌های مکانی معیارها و حذف خطای موجود در روش‌های مبتنی بر نظرسنجی، از دقت بیشتری در وزن-دهی معیارها برخوردار است.

واژگان کلیدی: اولویت‌بندی، پرومته II، سیلاب، شهرستان ارومیه، AHP، PCA.

[۱]- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان (نویسنده مسئول) Ghazavi@kashanu.ac.ir

[۲]- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان Babaei.sah@gmail.com

[۳]- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کاشان m.erfanian@Urmia.ac.ir

مقدمه

پدیده سیلاب در زمره مخرب‌ترین پدیده‌های اقلیمی قرار دارد که هرساله منجر به وقوع خسارات قابل توجهی می-گردد (رضوی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲؛ رضوی‌زاده و شاهدی، ۱۳۹۵). از ویژگی‌های این پدیده مخرب، وقوع ناگهانی و تخریب سریع محیط زیست است، به طوریکه مجالی برای مقابله و مدیریت حادثه نمی‌دهد. بروز سیلاب‌های اخیر در مناطق مختلف کشور نشان‌دهنده ضرورت مدیریت این پدیده می‌باشد و لازم است حوزه‌های آبخیز به عنوان خاستگاه و منشاء اصلی سیلابها مورد شناسایی قرار بگیرند (بدری و همکاران، ۱۳۹۵). حوزه‌های شهری از یک طرف به دلیل توسعه سطوح نفوذناپذیر و افزایش احتمال وقوع سیلاب و از طرف دیگر به دلیل تمرکز جمعیت، آسیب‌پذیری بالایی دارد.

شدت وقایع سیلابی تحت تاثیر دو عامل خصوصیات فیزیوگرافی منطقه و اقلیم قرار می‌گیرد. معمولاً مناطق شهری، آنچنان وسیع نیستند که ویژگی‌های بارندگی در بخش‌های مختلف آن متغیر باشد. لذا خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوزه‌ها یا واحدهای هیدرولوژیک عامل تعیین کننده در هیدروگراف خروجی حوزه‌های آبخیز شهری است. در مدیریت سیلاب‌های شهری و پیشگیری از بروز بحران، اولین گام شناسایی مناطق مستعد سیلاب و اولویت‌بخشی به تخصیص تمهیدات مدیریتی و اجرایی در این مناطق است.

طیف وسیعی از روش‌های اولویت‌بندی و رتبه‌دهی موجود است که در اکثر روش‌ها، این عمل از طریق روی هم‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی و یا به کمک تکنیک‌های متداول تصمیم‌گیری صورت گرفته است. این در حالیست که اخیرا روش-های نوینی تحت عنوان روش‌های فرارتبه‌ای[1] ارائه شده است که برمبنای مقایسات زوجی، بدون استفاده از اطلاعات بیش از اندازه، با کاربردی آسان به مدل‌سازی دقیق‌تر تصمیم‌گیری می‌پردازند (اصغری زاده و نصراللهی، ۱۳۸۶؛ کفاش چرندابی و همکاران، ۱۳۹۱)

روشهای فرارتبه‌ای دارای کاربردهای وسیعی است که می‌توان به کارایی آن در مدیریت منابع آب، اولویت بخشی به کارهای اجرایی، مکانیابی پروژه‌ها و آسیب‌پذیری حوزه‌های آبخیز اشاره کرد (میرفخرالدینی و همکاران، ۱۳۹۰؛ بانیاس و همکاران، ۲۰۱۰؛ هوآنگ و همکاران، ۲۰۱۰). از میان روش‌های فرارتبه‌ای، تکنیک پرومته[2] به علت سهولت کاربرد آن، رواج یافته است. روش پرومته III برای رتبه‌بندی بر مبنای بازه‌ها و پرومته IV برای رتبه بندی در مقیاس پیوسته صورت می‌گیرد و برای گزینه‌های گسسته کارا نیستند. برای ارزیابی و اولویت بندی گزینه های گسسته و انتخاب بهترین گزینه روش پرومته II به کار می‌رود (بخشی و همکاران، ۱۳۹۰)

چو و همکاران (۲۰۰۴)، از روش پرومته جهت ارزیابی نشست محل خروجی حوزه آبخیز و مسیرهای جریان استفاده کردند. نتایج بدست آمده اعتبار روش مورد استفاده را تایید کرد. چائو و همکاران (۲۰۱۴) با بهره‌مندی از روش پرومته و تئوری فازی، بهترین مدل اکوتکنولوژیک را برای حوزه سد شیمن[3] در تایوان استفاده کردند. نتایج نشان-

1 - Outranking Methods
2- Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations
3 - Shihmen

دهنده کارایی روش مورد استفاده بوده است. نایوبی و همکاران (۲۰۱۷) زیرحوزه‌های رودخانه اسکودای[1] واقع در مالزی را بر اساس شاخص حساسیت‌پذیری حوزه[2] اولویت‌بندی کردند. در این تحقیق از روش پرومته استفاده شده است. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که زیرحوزه‌های میانی و پایینی شاخص حساسیت بیشتری از نظر سیل‌خیزی و کاهش کیفیت آب دارند. آلحومید و همکاران (۲۰۱۸) میزان حساسیت‌پذیری شبکه زهکشی شهری را در منطقه خشک آل قاسم در عربستان سعودی بر اساس روش پرومته II ارزیابی کردند. آنها در این پژوهش از روش AHP جهت استخراج وزن‌ها استفاده کردند.

نیکو و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی کاربرد و مقایسه روش‌های الکتر[3] نوع III و پرومته II در مکان‌یابی چاهک‌های پایش نشت آلودگی در منابع آب زیرزمینی پرداختند. برای ارزیابی نتایج حاصله، از اطلاعات آبخوان تهران در محدوده پالایشگاه تهران استفاده شده است. نیکو و همکاران (۱۳۹۰) الگویی کاربردی برای تعیین تعداد مناسب ایستگاه‌های پایش کیفی منابع آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره پرومته ارائه کردند.

کاربرد گسترده تکنیک پرومته II، نشان‌دهنده توانایی روش مذکور در عرصه منابع آب دارد و در رتبه‌دهی و اولویت-بندی واحدهای کاری، هیدرولوژیکی، زیرحوزه‌ها و مدل‌های مختلف، کارآمد است. این روش به راحتی قادر به بکارگیری معیارهایی با مقیاس‌های مختلف (بدون نیاز به همسان‌سازی مقیاس معیارها) می‌باشد.

در بحث اولویت‌بندی زیرحوزه‌های سیل‌خیز، انتخاب معیارها و وزن آنها تعیین کننده است. در تعیین وزن معیارها معمولاً از روش تحلیل سلسله مراتبی[4] (AHP) استفاده می‌شود که اساس آن تهیه پرسشنامه و نظرسنجی از صاحب-نظران است و یک ابزار مناسب پشتیبان تصمیم‌گیری را در اختیار مدیران قرار می‌دهد (ثمری و همکاران، ۲۰۱۲). در این راستا می‌توان به پژوهش انجام شده توسط بابایی و همکاران (۲۰۱۸) اشاره کرد. ایشان از روش AHP در تعیین وزن معیارهای موثر در تولید سیلاب شهری شهرستان ارومیه استفاده کردند. کاویانی (۱۳۹۳) در شناسایی نواحی بحرانی حوزه آبخیز دینور واقع در استان کرمانشاه، از تکنیک پرومته II استفاده کردند که وزن معیارهای مورد استفاده، با روش AHP، تعیین و با ترکیب لایه‌های مورد نیاز توسط تکنیک فرا رتبه‌ای پرومته II، نقشه آسیب‌پذیری زیست محیطی برای حوزه را تهیه کردند. رضوی‌زاده و شاهدی (۱۳۹۵) در اولویت‌بندی زیرحوزه‌های حوزه آبخیز طالقان نسبت به سیل‌خیزی، از روش پرومته II و TOPSIS استفاده کردند. در تحقیق یاد شده وزن معیارهای مورد استفاده بر اساس روش AHP تعیین گردید.

در روش‌هایی مانند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) که از نظرسنجی جهت انجام تصمیم‌گیری استفاده می‌شود، علاوه بر احتمال وجود خطا در نظرات کارشناسان (که به دلیل عدم وجود شناخت کافی از منطقه رخ می‌دهد)، معمولاً یک سری از پارامترها که به صورت عام و بدون در نظر گرفتن ویژگی‌های منطقه، در رتبه‌بندی موثر است، مهم تلقی می-

1 - Skudai
2 - Watershed Sustainability Index (WSI)
3 - ELECTER
4 - Analytical Hierarchy Process

شود. در حالیکه در شرایط واقعی منطقه، نحوه اثرگذاری متغیرهای مختلف ممکن است متفاوت باشد. برای مثال، از نظر متخصصان امر، عامل شیب از مهم‌ترین عوامل اثرگذار در وقوع سیلاب است. این عامل در مناطق کوه‌پایه‌ای تاثیر بسزایی در تولید رواناب دارد، در حالیکه در مناطق هموار، به دلیل همگن بودن زیرحوزه‌ها از نظر عامل شیب، اثر آن بسیار محدود خواهد بود و به همین دلیل در آنالیز مولفه‌های اصلی[۱]، اثر کمی بر تغییرات واریانس خواهد داشت. در چنین شرایطی، چنانچه به عامل شیب وزن بیشتری تعلق گیرد، می‌تواند سبب کم‌رنگ شدن تاثیر سایر عوامل گردد و نتایج رتبه‌بندی را تحت‌الشعاع قرار دهد. در پژوهش حاضر، چنین خطایی که به دلیل عدم وزن‌دهی مناسب معیارها و تعیین اولویت آنها رخ می‌دهد؛ تحت عنوان خطای عاملی[۲] بیان شده است. این تحقیق با هدف بررسی اثر خطای عاملی بر رتبه‌بندی زیرحوزه‌ها انجام گردید. به این منظور، برای اولین بار از روش PCA جهت تعیین وزن معیارها استفاده گردید و نتایج رتبه‌بندی آنها با روشی که نظر کارشناسی در آن دخیل است (AHP)، مورد مقایسه قرار گرفت. روش PCA، یک روش سریع و مناسب است که می‌تواند نحوه اثر هر معیار را بر گزینه‌ها به خوبی نشان دهد. لازم به ذکر است، اغلب مطالعاتی که در زمینه رتبه‌بندی زیرحوزه‌ها از منظر وقوع سیلاب و یا سایر مخاطرات هیدرولوژیکی انجام شده است، از روش AHP استفاده کرده‌اند که به دلایل فوق‌الذکر استفاده از آن در مناطقی که تاثیر معیارها به خوبی شناخته نشده است توصیه نمی‌گردد.

داده‌ها و روش‌ها

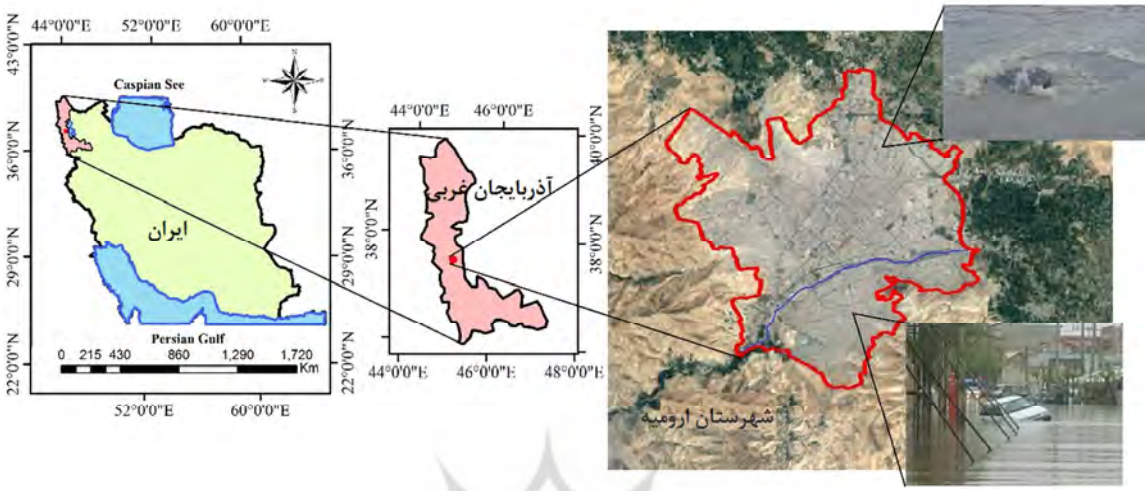
الف- منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق شهر ارومیه به دلیل مستعد بودن نسبت به بروز سیلاب‌های فصلی مطالعه شده است. این شهرستان روی مدار ۳۷ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و ۴۵ درجه و ۲ دقیقه طول شرقی قرار دارد و ارتفاع آن از سطح دریا، معادل ۱۳۳۲ متر می‌باشد. وسعت آن بالغ بر ۱۰۵ کیلومترمربع است. متوسط بارندگی منطقه به صورت تقریبی ۳۵۰ الی ۴۰۰ میلی‌متر در سال است که از یک طرف به دلیل واقع شدن در منطقه کوهستانی، بخش‌هایی از شهر بر روی سطوح شیب‌دار توسعه یافته است و از طرف دیگر به علت نبود سیستم زهکشی مناسب و اقدامات مدیریتی صحیح معمولاً حجم وسیعی از واقعه‌های بارش مخصوصاً در شدت‌های زیاد بر روی سطوح نفوذناپذیر جاری و موجب آب‌گرفتگی و بروز سیلاب معابر می‌گردد (مطالعات مرحله اول طرح جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی، شهرداری ارومیه، ۱۳۸۷).

---

[1] - Principal Component Analysis

[۲]- خطایی که در روش‌های تصمیم‌گیری به دلیل انتخاب اشتباه عامل (یا عوامل) اصلی اثرگذار بر یک پدیده، رخ می‌دهد که علت آن عدم شناخت نحوه تغییرات معیارهای مختلف در گزینه‌هاست.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

ب- داده‌های مورد نیاز

داده‌های مورد استفاده شامل نقشه رقومی ارتفاع[1] (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۲۰ متر جهت تهیه نقشه شیب و تصاویر ماهواره‌ی ژئوآی[2] سال ۲۰۱۱ است که بر اساس تصاویر google Earth به‌روزرسانی شد. باندهای قرمز، آبی و سبز این ماهواره با قدرت تفکیک مکانی دو متر و تصویر پانکروماتیک ۰/۵ متری مربوط به شهرستان ارومیه، برای تهیه نقشه کاربری اراضی استفاده شده است. برای محاسبه ارتفاع رواناب هر یکی از واحدهای هیدرولوژیک (در روش شماره منحنی) از بارندگی روزانه ایستگاه سینوپتیک ارومیه استفاده شد. اطلاعات کانال‌ها، ابعاد و محل اتصال آنها از شهرداری شهرستان ارومیه تهیه شد. نرم‌افزارهای مورد استفاده شامل ArcGIS، ENVI 5، Expert Choice، SPSS و MATLAB می‌باشد که برای تهیه نقشه‌های مورد نیاز و انجام محاسبات به کار رفته‌اند.

پ- آماده‌سازی معیارها (ورودی‌ها)

در پژوهش حاضر از روش شماره منحنی جهت محاسبه ارتفاع رواناب زیرحوزه‌ها استفاده شده است. رابطه ۱ نحوه محاسبه ارتفاع رواناب را نمایش می‌دهد.

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \qquad (۱)$$

که در آن Q ارتفاع رواناب، P ارتفاع بارندگی ۲۴ ساعته و S حداکثر توان نگهداری توسط سطح زمین است. برای برآورد مقدار S از روش شماره منحنی[3] (CN) استفاده می‌شود که بر اساس دو نقشه گروه هیدرولوژیک و کاربری

1 - Digital Elevation Model
2 - Geo-Eye
3 - Curve Number

اراضی تعیین می‌گردد. همانطور که قبلاً اشاره شد در تهیه نقشه کاربری اراضی، از باندهای قرمز، سبز و آبی ماهواره ژئوآی و نیز تصاویر پانکروماتیک جهت افزایش قدرت تفکیک مکانی تصاویر استفاده گردید و تصاویر دو متری با الگوریتم Pan Sharpening و با دخالت دادن تصویر پانکروماتیک نیم متری به تصاویر باندال نیم‌متر تبدیل شد. پس از تهیه نقشه کاربری اراضی، مساحت هر کاربری در هر واحد هیدرولوژیک تعیین شد. برای استخراج مساحت سطوح نفوذناپذیر که شامل سطح خیابانها و پشت بام منازل می‌شود، از نقشه کاربری اراضی استفاده شده است. شیب میانگین هر واحد از نقشه رقومی ارتفاع بدست آمد. برای اعمال اثر ضریب شکل حوزه که تاثیر فراوانی در هیدروگراف سیلاب دارد، از روش مستطیل معادل استفاده شد که معادله آن در رابطه ۲ ارائه شده است.

$$P = 2(L + l) \quad (۲)$$

که در آن L و l که به ترتیب طول و عرض مستطیل معادل است از روابط ۳ و ۴ حاصل می‌شود.

$$L = \frac{C\sqrt{A}}{1.28}\left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{C}\right)}\right] \quad (۳)$$

$$l = \frac{C\sqrt{A}}{1.28}\left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{C}\right)}\right] \quad (۴)$$

در آن C ضریب گراولیوس است و از رابطه ۵ محاسبه می‌گردد.

$$\mathrm{C} = 0.282\,\frac{\mathrm{P}}{\sqrt{\mathrm{A}}} \quad (۵)$$

که در آن P محیط واحد هیدرولوژیک و A مساحت آن است.

ت- تعیین وزن معیارها

جهت بررسی تاثیر خطای عاملی (خطایی که در اثر عدم شناخت نحوه تغییرات معیارهای مختلف در گزینه‌ها رخ می‌دهد) در اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها از دو روش جهت تعیین وزن معیارها استفاده شد.

روش AHP

پس از تهیه معیارهای مورد نظر، می‌بایست وزن هر یک از معیارها و میزان اثر هریک در سیل‌خیزی حوزه معلوم گردد. در مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره اهمیت معیارهای تصمیم‌سازی متفاوتند. لذا برآورد اوزان معیارهای مطرح در مسئله تصمیم گیری کاملاً ضروری می‌باشد (پرهیزگار و غفاری، ۱۳۸۵). روش AHP[1] (ساتی، ۱۹۸۷) که بر اساس

[1] - Analytic Hierarchy Process

نظرسنجی از متخصصان استوار است، از روش‌های متداول در تعیین اوزان این معیارها است (کفاش چرندابی و همکاران، ۱۳۹۱) است. در این روش برای ایجاد یک ماتریس نسبت، به مقایسه دو به دو معیارها پرداخته می‌شود. ورودی‌ها طی یک فرایند قیاس دو به دویی و وزن‌های نسبی به عنوان خروجی این روش مفروض می‌باشند (ستی، ۱۹۸۰؛ کفاش چرندابی و همکاران، ۱۳۹۱). وزن‌های نسبی معیارها از تقسیم هریک از عناصر به مجموع ستون مربوطه و محاسبه‌ی میانگین عناصر هر سطر به دست می‌آیند. لازم به ذکر است که مجموع وزن‌ها در این روش برابر با یک خواهد بود. سپس نسبت سازگاری به کمک روابط ۶ و ۷ بدست می‌آید (اصغرپور، ۱۳۸۸؛ پرهیزگار و غفاری، ۱۳۸۵).

$$CI = \frac{\lambda - n}{n-1} \quad (۶)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (۷)$$

که در آن n تعداد معیارها، λ برابر میانگین ارزش بردار سازگاری CR (Consistency Ratio) معادل شاخص سازگاری، CI (Consistency Ratio) بیانگر نسبت سازگاری و RI (Random Index) معرف شاخص تصادفی که از یک ماتریس مقایسه دو به دو به صورت تصادفی ایجاد شده است می‌باشد (پرهیزگار و غفاری، ۱۳۸۵). چنانچه نسبت سازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، به این معنی است که سازگاری مناسبی در مقایسه دو به دویی معیارها وجود دارد و در غیر اینصورت، لازم است در قضاوت دو به دویی تجدید نظر گردد (پرهیزگار و غفاری، ۱۳۸۵؛ کفاش چرندابی و همکاران، ۱۳۹۱).

دقت عمل بسیار زیادی در استفاده از روش AHP مورد نیاز است. چرا که عدم وجود شناخت کافی نسبت به نحوه تغییر هر یک از معیارها در منطقه مورد بررسی، می‌تواند سبب بروز خطای چشمگیری در رتبه هر یک از گزینه‌ها گردد. چنین خطایی را می‌تواند با استفاده از روش آنالیز مولفه‌های اصلی برطرف کرد. به این صورت که پس از انتخاب معیارهای موثر، تعیین وزن هریک بر اساس سهم هر کدام در تغییرات واریانس مولفه‌های اصلی انجام شود.

روش PCA

در آنالیز مؤلفه‌های اصلی، اطلاعات ورودی به صورت یک ماتریس n*p فرض می‌شود که n، تعداد مشاهدات است که در این تحقیق، تعداد زیرحوزه‌ها است. p، متغیرهای مورد آنالیز است که در واقع معیارها یا همان خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوزه‌ها است. در روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی، هر مؤلفه به صورت تابع خطی زیر تعریف می‌گردد (ساکوئت، ۲۰۰۰؛ استرانگ، ۲۰۰۵):

$$Z_1 = X_{a_1} = a_{1,1}x_1 + a_{2,1}x_2 + \cdots + a_{p,1}x_p$$

$$Z_2 = X_{a_2} = a_{1,2}x_1 + a_{2,2}x_2 + \cdots + a_{p,2}x_p$$
$$Z_p = X_{a_p} = a_{1,p}x_1 + a_{2,p}x_2 + \cdots + a_{p,p}x_p \quad (۸)$$

که در آن $a_{i,j}$ عنصر i ام از مؤلفه اصلی j ام بوده و a_j ضریب تبدیل متغیرهای اصلی (X) به j امین مؤلفه اصلی (Z_j) است. با استفاده از خواص ماتریس‌ها می‌توان ثابت کرد که ضرایب مؤلفه‌های اصلی (a_j)، بردارهای ویژه مربوط به ماتریس کوواریانس، S هستند. مقدار و بردار ویژه ماتریس s از روابط زیر محاسبه می‌گردد.

$$|S - \lambda I| = 0 \quad (۹)$$

در رابطه فوق، اگر p تعداد چاه‌ها باشد؛ آنگاه I یک ماتریس واحد P*1 بوده و S ماتریس کواریانس مرتبه P است که از رابطه (۱۰) محاسبه می‌گردد:

$$S = X^T \times \frac{X}{n-1} \quad (۱۰)$$

در رابطه فوق، T علامت ترانهاده است. محدودیت‌های حل معادله فوق عبارتند از:

عمود بودن بردارهای ویژه ($a^T_j a_i = aTiaj = 0, i \neq j$)

نرمال یا یکه بودن بردارهای ویژه ($a^T_j a_j = 1$) محدودیت‌های ذکر شده باعث می‌شود جواب‌های معادله ۲ یگانه باشد و مؤلفه‌های اصلی، مستقل شوند. اگر $a_1, a_2, \ldots, a_p$ به ترتیب بردارهای ویژه مربوط به مقادیر ویژه $\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_p$ باشند، آنگاه معادله ۱ به صورت زیر نمایش داده می‌شود.

$$Z = X.A \quad (۱۱)$$

که در آن $Z=(z_1, z_2, \ldots, z_p)$ و $A=(a_1, a_2, \ldots, a_p)$ است. واریانس مؤلفه‌های اصلی، zj همان مقادیر ویژه متناظر آنها است. یعنی واریانس اولین مؤلفه اصلی برابر λ_1 است. بنابراین اولین مؤلفه، بیشترین واریانس را ایجاد می‌کند و نشان‌دهنده این است که اولین مؤلفه، قابلیت بیشتری در شناسایی تغییرات دارد. اولین مولفه اصلی، آن خطی است که امتداد آن منطبق با بیشترین پراکندگی قابل مشاهده در داده‌های اصلی است. دومین مولفه اصلی دارای واریانس λ_2 بوده و از لحاظ مقدار واریانس در رتبه دوم قرار می‌گیرد و امتداد آن در راستایی است که پراکندگی قابل مشاهده داده‌ها در رتبه دوم قرار دارد. بقیه مولفه‌های اصلی نیز به همین ترتیب توصیف می‌گردند. مولفه‌های اصلی از مرکز داده‌های اصلی عبور کرده و دو به دو برهم عمود هستند.

در این تحقیق، سهم هر معیار در تغییرات واریانس مولفه اصلی اول، به‌صورت نسبتی از عدد ۱ تعیین و معادل وزن (W) آن معیار در نظر گرفته شده است که بر اساس رابطه ۸ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$W = \frac{a_i}{\sum_{i=1}^{n} |a_i|} \quad (۱۲)$$

در آن، a_i ضریب متغیرهای اصلی در مولفه اول و n تعداد متغیرها است. در بیان مطلوبیت این روش باید گفت، بیشترین وزن به معیاری تعلق خواهد گرفت که بیشترین رنج تغییرات را در زیرحوزه‌ها دارد و از برجسته شدن نقش

معیارهایی که علی‌رغم داشتن اهمیت بالا در وقوع پدیده سیلاب، مقدار آن‌ها تفاوت چندانی در زیرحوزه‌های مختلف ندارد، جلوگیری می‌شود. به علاوه این روش، بر خلاف روش‌های نظرسنجی، به راحتی قابل اجرا بوده و مشکلات تهیه پرسشنامه و تلفیق و ناسازگاری اوزان تصمیم‌گیر را ندارد.

ث- رتبه‌بندی گزینه‌ها (واحدهای هیدرولوژیک)

پس از استخراج وزن معیارها، به منظور رتبه‌بندی گزینه‌ها (واحدهای هیدرولوژیک)، از روش پرومته II استفاده گردید. در این پژوهش از نرم‌افزار متلب برای کدنویسی و انجام محاسبات این روش استفاده شده است. این روش از متدهای پشتیبان تصمیم‌گیری است (برانز و همکاران، ۱۹۸۴) که علاوه بر داشتن الگوریتم ساده، نتایج قابل فهم و قابل اعتمادی ایجاد می‌کند (اصغری‌زاده و نصرالهی، ۱۳۸۶). در ادامه به اختصار به الگوریتم اجرایی آن پرداخته می-شود.

ساخت ماتریس تصمیم‌گیری

که حاصل ارزیابی هر یکی از گزینه‌ها نسبت به تمامی معیارها ایجاد می‌شود.

$$\begin{array}{c} \\ a1 \\ a2 \\ an \\ \\ \end{array}\begin{bmatrix} g1(a1) & g2(a1) & \dots & gk(a1) \\ . & . & & . \\ . & . & & . \\ . & . & & . \\ g1(an) & \dots & \dots & gk(an) \end{bmatrix} \quad (۱۲)$$
$$1(.) \quad g2(.) \quad gk(.)$$

در ماتریس فوق، a نماینده گزینه‌ها و g(.) نشان‌دهنده معیارهای ارزیابی است.

انتخاب تابع مطلوبیت (Fj)

تابع مطلوبیت (Fj) بر اساس نوع معیارها و از جداولی یک انتخاب می‌شود (کفاش چرندابی و همکاران، ۱۳۹۱) و مقدار P(a,b) برای تمامی زوج گزینه‌ها در قیاس با تمامی معیارها از روابط ۱۴ و ۱۵ محاسبه می‌شود.

$$P_j(a,b) = F_j\left[d_j(a,b)\right], \forall \mathrm{a,b} \in A \quad (۱۴)$$

$$\begin{cases} d_j(a,b) = gj(a) - gj(b) \\ 0 \le Pj(a,b) \le 1 \end{cases} \quad (۱۵)$$

محاسبه درجه غلبگی

درجه غلبگی (π(a,b))، برتری گزینه a بر گزینه b در قیاس با تمامی معیارها، برای تمامی زوج گرینه‌های مسئله مطابق رابطه ۱۶ محاسبه می‌شود:

$$\pi(a,b) = \sum_{j=1}^{k} Pj(a,b)wj \quad (۱۶)$$

محاسبه جریان‌های فرا رتبه‌ای مثبت و منفی

$$\emptyset^{+}(a) = \frac{1}{n-1}\sum_{x\in A}\pi(a,x) \quad (۱۷)$$

$$\emptyset^{+}(a) = \frac{1}{n-1}\sum_{x\in A}\pi(x,a) \quad (۱۸)$$

محاسبه جریان فرارتبه‌ای

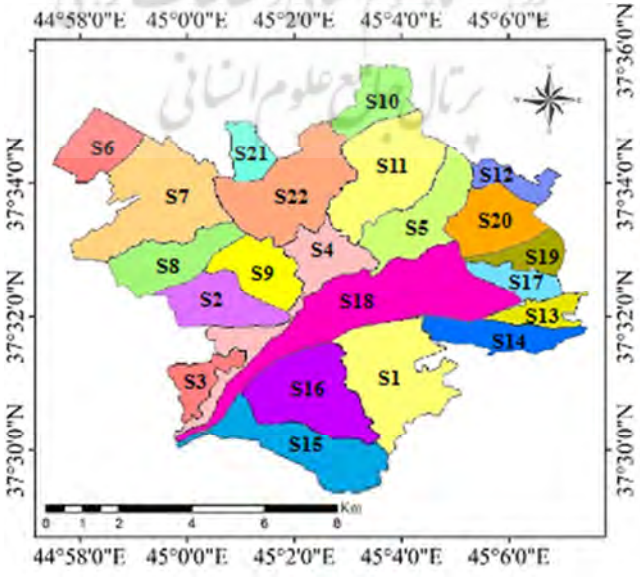
$$\emptyset(a) = \emptyset^{+}(a) - \emptyset^{-}(a) \quad (۱۹)$$

گزینه‌ای که مقدار Ø(a) بیشتری داشته باشد در رتبه نخست قرار می‌گیرد و اولویت آن بیش از سایر گزینه‌ها است.

یافته‌های تحقیق

الف- تهیه متغیرهای ورودی یا معیارها

منطقه مورد مطالعه بر اساس نقشه DEM، جهت حرکت رواناب، کانال‌های انتقال آب و محل اتصالات به ۲۲ زیرحوزه تقسیم‌بندی گردید که در شکل ۲، نشان داده شده است. زیرحوزه‌های جنوبی و غربی شیب بیشتری نسبت به سایر مناطق دارند. جهت حرکت رواناب از سمت جنوب و جنوب غرب به شمت شمال‌شرقی می‌باشد. برای هر یک از این زیر حوزه‌ها خصوصیات فیزیوگرافی شامل: شیب، طول آبراهه اصلی، فرم حوزه، مساحت، محیط، ارتفاع، شماره منحنی، عمق رواناب و درصد سطوح نفوذناپذیر تعیین شد. کمترین و بیشترین مساحت مربوط به زیرحوزه‌های شماره $S_{۱۲}$ و $S_{۱۸}$ است. زیرحوزه‌های $S_{۱۲}$ و $S_{۷}$ با ارتفاع ۲۲ و ۲۳۴ متر از سطح دریا حداقل و حداکثر ارتفاع را دارند.

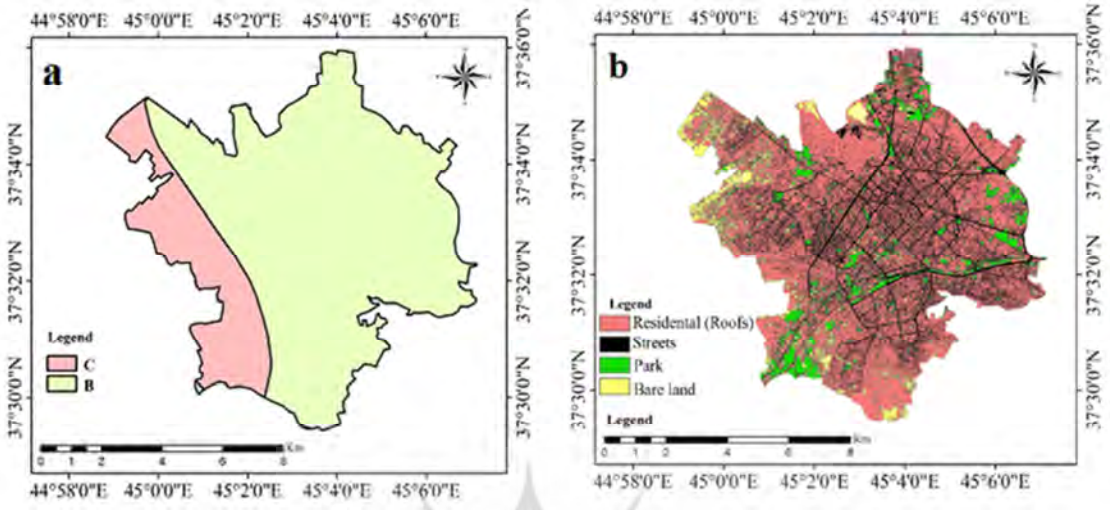


شکل ۲: زیرحوزه‌های حوزه آبخیز شهری شهرستان ارومیه

جدول ۱: خصوصیات فیزیوگرافی واحدهای هیدرولوژیکی شهرستان ارومیه

واحد	مساحت (Km^2)	محیط (Km)	ارتفاع (m)	شیب (٪)	طول آبراهه اصلی (m)	شماره منحنی	سطوح نفوذناپذیر (٪)	تراکم زهکشی (Km)	عرض مستطیل معادل
S۱	۵/۸۸	۱۴/۳۵	۱۳۷۴	۴/۶۷	۳/۳۸	۹۱/۵۳	۹۳	۰/۰۰۲۱	۹۴۲/۳۳
S۲	۲/۸۹	۷/۹۰	۱۴۲۱	۳/۴۴	۳/۱۶	۹۰/۸۴	۹۲	۰/۰۰۱۶	۹۷۰/۵۵
S۳	۱/۴۲	۷/۵۱	۱۴۲۴	۶/۹۲	۱/۸۶	۶۹/۱۱	۴۷	۰/۰۰۳۰	۴۲۷/۳۲
S۴	۴/۱۰	۲۱/۶۲	۱۳۸۷	۱/۰۱	۶/۸۳	۸۵/۵۶	۸۰	۰/۰۰۳۱	۳۹۳/۵۲
S۵	۳/۶۸	۱۰/۹۱	۱۳۴۷	۱/۲۹	۳/۹۵	۹۲/۱۷	۹۴	۰/۰۰۲۳	۷۸۸/۷۴
S۶	۲/۳۷	۶/۳۹	۱۴۲۳	۵/۳۳	۲/۰۶	۷۴/۴۲	۵۴	۰/۰۰۲۵	۱۱۷۳/۸۳
S۷	۶/۶۲	۱۴/۸۲	۱۴۰۲	۵/۶۸	۴/۱۲	۷۹/۲۸	۶۷	۰/۰۰۱۴	۱۰۳۷/۶۷
S۸	۳/۱۲	۸/۷۱	۱۴۲۸	۴/۹۳	۳/۴۳	۷۳/۵۰	۵۸	۰/۰۰۱۵	۹۰۵/۴۵
S۹	۲/۶۵	۷/۵۲	۱۳۸۳	۳/۶۰	۱/۷۸	۹۲/۱۲	۹۴	۰/۰۰۱۹	۹۳۹/۵۸
S۱۰	۲/۱۶	۷/۱۵	۱۳۳۳	۱/۳۶	۲/۴۳	۷۵/۵۳	۸۰	۰/۰۰۱۴	۷۷۱/۲۲
S۱۱	۵/۶۱	۱۱/۲۴	۱۳۲۸	۱/۱۰	۳/۹۱	۸۵/۶۳	۸۴	۰/۰۰۲۲	۱۲۹۶/۵۷
S۱۲	۱/۲۲	۶/۶۶	۱۳۱۸	۲/۶۳	۰/۸۳	۹۱/۲۶	۹۲	۰/۰۰۱۲	۴۱۹/۷۸
S۱۳	۱/۲۳	۶/۸۲	۱۳۲۳	۱/۱۲	۲/۱۵	۸۵/۶۶	۸۴	۰/۰۰۴۶	۴۰۹/۹۷
S۱۴	۲/۳۳	۸/۷۴	۱۳۳۸	۷/۳۹	۱/۰۰	۹۲/۵۷	۹۱	۰/۰۰۲۸	۶۲۱/۲۴
S۱۵	۴/۳۹	۱۳/۱۸	۱۴۱۵	۴/۰۴	۴/۰۳	۶۶/۱۱	۳۷	۰/۰۰۲۲	۷۵۱/۰۸
S۱۶	۵/۰۶	۱۰/۱۵	۱۳۸۷	۴/۶۳	۳/۱۵	۳۴/۱۸	۷۸	۰/۰۰۲۲	۱۳۵۹/۸۶
S۱۷	۱/۳۷	۵/۷۸	۱۳۲۲	۳/۸۵	۰/۶۵	۸۳/۵۳	۸۲	۰/۰۰۱۶	۵۹۸/۷۹
S۱۸	۸/۷۹	۲۱/۴۳	۱۳۶۱	۱/۱۵	۷/۸۸	۸۰/۶۳	۷۳	۰/۰۰۳۴	۸۹۰/۴۳
S۱۹	۱/۳۸	۶/۵۴	۱۳۲۰	۱/۰۰	۲/۳۰	۸۰/۵۷	۷۸	۰/۰۰۱۳	۴۹۹/۰۹
S۲۰	۳/۰۰	۷/۳۸	۱۳۲۲	۱/۴۸	۲/۰۹	۸۲/۹۱	۷۹	۰/۰۰۲۸	۱۲۰۶/۳۰
S۲۱	۱/۲۷	۴/۹۸	۱۳۸۰	۴/۳۳	۱/۶۱	۸۷/۹۲	۸۶	۰/۰۰۲۵	۷۱۸/۲۷
S۲۲	۵/۷۴	۱۱/۹۰	۱۳۵۴	۴/۷۴	۱/۶۹	۷۵/۸۶	۶۵	۰/۰۰۱۹	۱۲۱۰/۲۲

در محاسبه عمق رواناب به روش شماره منحنی، نوع کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیک مورد نیاز است. شکل ۳، نقشه کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی شهرستان ارومیه را نمایش می‌دهد. شکل ۳-a به خوبی میزان توسعه-یافتگی سطوح نفوذناپذیر را در شهرستان ارومیه نمایش می‌دهد. بخش‌های شمال‌غربی اراضی بایری هستند که عملیات شهرسازی در آن‌ها کمتر اجرا شده است. بر اساس شکل ۳-b منطقه مورد مطالعه از دو بخش هیدرولوژیکی B و C تشکیل شده است که به ترتیب نماینده توان متوسط و نسبتاً زیاد این سطوح در تولید رواناب است. زیرحوزه-های شماره S_5 و S_{15} با شماره منحنی ۹۲/۱۷ و ۶۶/۱۱ بیشترین و کمترین مقدار CN وزنی را دارند. پس از محاسبه عمق رواناب معلوم شد؛ زیرحوزه‌های شماره S_9 و S_{15}، به ترتیب بیشترین و کمترین ارتفاع رواناب را در وقایع بارندگی تولید می‌کنند.



شکل ۳: گروه‌های هیدرولوژیکی (a) و نقشه کاربری اراضی (b) شهرستان ارومیه

ب- تعیین وزن معیارها

تعیین وزن معیارها یک بار بر اساس روش AHP و بار دیگر بر اساس تکنیک PCA انجام شد. جدول۲ نتایج آنالیز مولفه‌های اصلی را برای متغیرهای فوق نشان می‌دهد. در تفسیر نتایج ارائه شده در این جدول باید گفت در مولفه اول، متغیرهایی که قدر مطلق مقدار آنها بیشتر است، بیشترین تاثیر را در تغییرات واریانس مولفه اول دارند و از آنجا که اولین مولفه اصلی اهمیت بیشتری نسبت به سایر مولفه‌ها دارد، بنابراین معیارهای منتخب بر اساس مولفه اول، بیشترین دامنه تغییرات را در زیرحوزه‌های مختلف خواهند داشت. وزن هر معیار به صورت نسبتی از سهم هر متغیر بر مجموع مقادیر در مولفه اول محاسبه شد (مجموع قدر مطلق سهم متغیرها در مولفه نخست، برابر با ۵/۶۳ است، برای محاسبه وزن معیار عمق رواناب، عدد ۰/۶۶۰ بر این عدد تقسیم شده است).

جدول ۲: نتایج آنالیز مولفه‌های اصلی برای معیارهای منتخب

معیارها	مولفه‌های اصلی		
	۱	۲	۳
عمق رواناب	۰/۶۶۰	۰/۶۲۶	۰/۳۲۶
نفوذناپذیری	۰/۶۱۹	۰/۷۰۸	-۰/۰۸۲
شماره منحنی	۰/۳۰۶	۰/۱۴۴	۰/۶۷۴
ارتفاع	۰/۲۴۸	-۰/۵۹۱	۰/۴۸۵
مساحت	۰/۷۲۹	-۰/۱۲۵	۰/۴۸۳
طول آبراهه اصلی	-۰/۷۳۱	-۰/۵۳۱	۰/۲۸۴
محیط	-۰/۸۰۴	۰/۵۳۱	۰/۲۲۵
فرم حوزه	-۰/۸۴۳	۰/۳۵۶	۰/۳۳۸
شیب	۰/۵۹۶	۰/۷۲۶	-۰/۱۸۶
تراکم زهکشی	۰/۰۹۸	۰/۲۶۰	-۰/۵۸۴

جهت تلفیق معیارها و استخراج وزن‌ها با دو تکنیک AHP و PCA به ترتیب نرم‌افزارهای Expert Choice و SPSS استفاده شده است. نرخ ناسازگاری اوزان متد AHP معادل ۰/۰۷ گزارش شده است. جدول ۳ مقدار وزن هریک از معیارها را به دو روش AHP و PCA نمایش می‌دهد. براساس نتایج بدست آمده، سه معیار اول یعنی عمق رواناب، نفوذناپذیری و شماره منحنی در هر دو روش دارای ترتیب یکسانی از نظر درجه اهمیت هستند. اما وزن آنها متفاوت است. در روش PCA، اختلاف کمتری در میان اوزان سه معیار اول ملاحظه می‌شود. این درحالیست که وزن این سه معیار در روش AHP، اختلاف قابل ملاحظه‌ای دارند. معیار چهارم در روش PCA، عامل ارتفاع است. شهرستان ارومیه که یک حوزه کوه‌پایه‌ای است، از نظر عامل ارتفاع ناهمگن می‌باشد (جدول ۳). همین عامل در روش AHP در جایگاه نهم قرار گرفته است و وزن آن ناچیز بوده و قابل اغماض می‌باشد. از آنجا که زیرحوزه‌ها از نظر معیار مساحت، دارای اختلاف چشم‌گیری هستند (شکل ۲). لذا بر اساس روش PCA در درجه پنجم اهمیت قرار گرفته است. این عامل با روش AHP در رده هفتم قرار دارد. علی‌رغم اینکه عامل شیب از دیدگاه متخصصین اهمیت بالایی در وقوع سیلاب دارد (دارای رتبه چهارم در روش AHP)، اما چون دامنه تغییرات آن در حوزه آبخیز شهرستان ارومیه اندک است؛ لذا تاثیر چندانی نمی‌تواند بر تغییر رتبه زیرحوزه‌ها داشته باشد. تراکم زهکشی عامل بسیار مهمی در تخلیه به هنگام رواناب دارد که می‌تواند مانع از افزایش عمق رواناب گردد. اما معمولا شبکه زهکشی در زیرحوزه‌های شهری توسعه یافته نیست و اغلب اختلاف چندانی بین زیرحوزه‌های مختلف از نظر تراکم زهکشی وجود ندارد و به همین دلیل در روش PCA کمترین وزن را به خود اختصاص داده است. فرم حوزه در هر دو روش دارای رتبه یکسانی است اما هر بار با وزن متفاوتی در محاسبه مقدار جریان فرارتبه‌ای شرکت خواهد کرد که بر خروجی نهایی تاثیرگذار خواهد بود.

جدول ۳: نتایج آنالیز مولفه‌های اصلی برای معیارهای مورد مطالعه

	PCA		AHP	
رتبه معیار	**معیار**	**وزن**	**معیار**	**وزن**
۱	عمق رواناب	۰/۱۵۰	عمق رواناب	۰/۲۸۰
۲	نفوذناپذیری	۰/۱۴۳	نفوذناپذیری	۰/۲۱۱
۳	شماره منحنی	۰/۱۳۰	شماره منحنی	۰/۱۶۳
۴	ارتفاع	۰/۱۲۹	شیب	۰/۱۰۵
۵	مساحت	۰/۱۱۷	طول آبراهه اصلی	۰/۰۹۲
۶	طول آبراهه اصلی	۰/۱۱۰	تراکم زهکشی	۰/۰۸۳
۷	محیط	۰/۱۰۶	مساحت	۰/۰۳۰
۸	فرم حوزه	۰/۰۵۴	فرم حوزه	۰/۰۲۳
۹	شیب	۰/۰۴۴	ارتفاع	۰/۰۱۲
۱۰	تراکم زهکشی	۰/۰۱۷	محیط	۰/۰۰۱

پ- رتبه‌بندی زیرحوزه‌ها

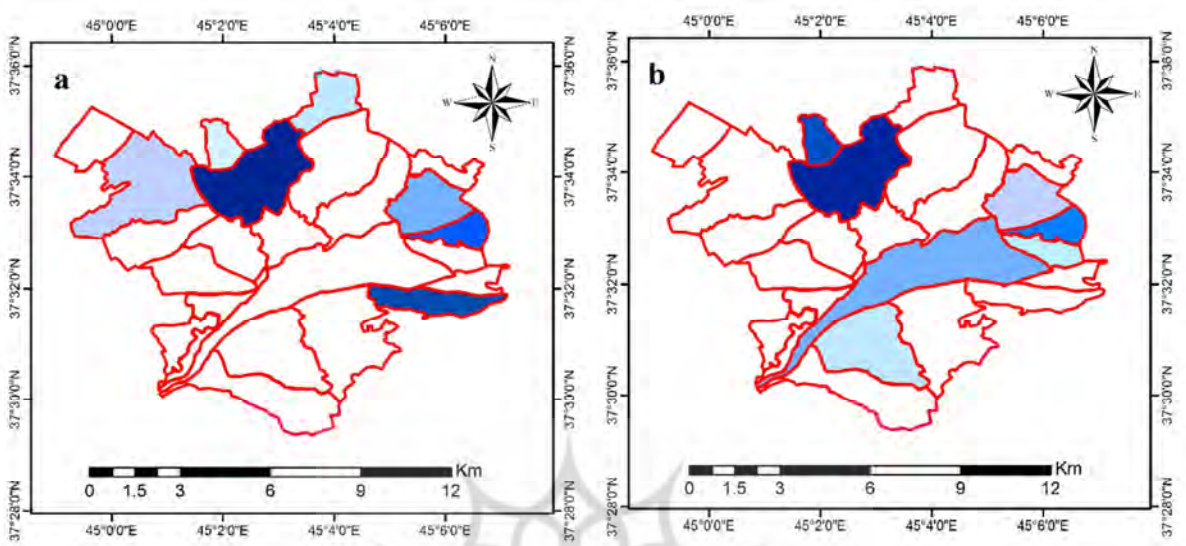
پس از آنکه وزن معیارها معلوم شد، مقدار جریان فرارتبه‌ای پرومته II با کدنویسی در برنامه متلب محاسبه گردید. نتایج حاصل در جدول ۴ ارائه شده است. این جدول نشان می‌دهد که زیرحوزه‌های $S_{۲۲}$ و $S_{۱۹}$ در هر دو روش جزء

واحدهای بحرانی و مستعد وقوع سیلاب است. زیرحوزه $S_{۱۴}$ در روش وزن‌دهی PCA، در اولویت دوم قرار دارد در حالیکه این زیرحوزه با روش AHP دارای اولویت نهم است. زیرحوزه $S_{۲۰}$ در هر دو روش تقریباً جایگاه یکسانی دارد. رتبه زیرحوزه $S_{۷}$ در این دو روش از ۷ به ۱۲ متغیر است. رتبه زیرحوزه $S_{۱۸}$ در روش AHP و PCA به ترتیب ۴ و ۸ می‌باشد. زیرحوزه $S_{۱۶}$ در روش PCA دارای رتبه ۱۶ام بوده و با روش AHP در رده ۶ام قرار گرفته است. وجود چنین اختلافاتی نشان می‌دهد در صورتیکه معیارها به درستی وزن‌دهی نشوند، می‌تواند منجر به اولویت‌بندی نادرست مناطق بحرانی شود. زیرحوزه‌های $S_{۱}$، $S_{۳}$ و $S_{۴}$ بر اساس هر دو روش وزن‌دهی، در اولویت‌های یکسانی قرار دارند و جزء زیرحوزه‌های کم اهمیت از نظر سیل‌خیزی هستند که نشان می‌دهد این زیرحوزه‌ها توان تولید رواناب اندکی دارند.

برای مقایسه بصری اختلاف رتبه زیرحوزه‌ها، هفت زیرحوزه‌ای که از هر روش وزن‌دهی بیشترین حساسیت را نسبت به تولید رواناب دارند، در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود؛ در حوزه آبخیز مورد مطالعه، از بین هفت زیرحوزه بحرانی اول، صرفا چهار زیرحوزه به طور مشترک حضور دارد که از این چهار زیرحوزه نیز تنها دو زیرحوزه دارای رتبه یکسانی هستند.

جدول ۴: اولویت‌بندی زیرحوزه‌های حوزه آبخیز ارومیه بر اساس دو روش وزن‌دهی مختلف

رتبه زیرحوزه	PCA		AHP	
	زیر حوزه	جریان فرارتبه ای	زیرحوزه	جریان فرارتبه ای
۱	S۲۲	۰/۲۴	S۲۲	۰/۱۷
۲	S۱۴	۰/۱۸	S۲۱	۰/۱۰
۳	S۱۹	۰/۱۵	S۱۹	۰/۰۹
۴	S۲۰	۰/۱۴	S۱۸	۰/۰۸
۵	S۷	۰/۱۲	S۲۰	۰/۰۷
۶	S۱۰	۰/۱۲	S۱۶	۰/۰۶
۷	S۲۱	۰/۱۲	S۱۷	۰/۰۴
۸	S۱۸	۰/۰۸	S۱۵	۰/۰۲
۹	S۸	۰/۰۷	S۱۴	۰/۰۲
۱۰	S۱۳	۰/۰۵	S۱۲	۰/۰۲
۱۱	S۱۵	۰/۰۴	S۱۳	۰/۰۱
۱۲	S۵	-۰/۰۵	S۷	-۰/۰۱
۱۳	S۱۲	-۰/۰۵	S۸	-۰/۰۱
۱۴	S۱۶	-۰/۰۶	S۱۰	-۰/۰۲
۱۵	S۹	-۰/۰۶	S۱۱	-۰/۰۵
۱۶	S۱۷	-۰/۰۷	S۹	-۰/۰۵
۱۷	S۶	-۰/۰۸	S۵	-۰/۰۶
۱۸	S۲	-۰/۱۵	S۶	-۰/۰۶
۱۹	S۳	-۰/۱۵	S۲	-۰/۱۰
۲۰	S۱۱	-۰/۱۹	S۴	-۰/۱۰
۲۱	S۱	-۰/۲۲	S۳	-۰/۱۱
۲۲	S۴	-۰/۲۳	S۱	-۰/۱۳



شکل ۴: مقایسه هفت زیرحوزه‌های بحرانی اول به روش وزن‌دهی PCA (a) و AHP (b) (کاهش تن رنگ نشان‌دهنده کاهش اولویت زیرحوزه است).

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، برای درک اثر ویژگی‌های منطقه و نحوه تغییرات این معیارها بر رتبه‌بندی گزینه‌ها، معیارهایی که دارای تغییرات بیشتری در گزینه‌ها بودند، به روش PCA شناسایی و وزن‌دهی شدند و نتایج آن با روش‌های پرسشنامه‌ای مورد مقایسه قرار گرفت. جهت شناخت زیرحوزه‌های بحرانی از نظر پتانسیل تولید سیلاب، معیارهای فیزیوگرافی مختلفی استفاده شد. تعیین وزن این معیارها نشان داد، سه عامل عمق رواناب، نفوذناپذیری و شماره منحنی، مهم‌ترین معیارهای رتبه‌بندی زیرحوزه‌ها است. نتایج بدست آمده توسط رضوی‌زاده و شاهدی (۱۳۹۵) نیز نشان می‌دهد درصد اراضی نفوذپذیر و شماره منحنی را می‌توان از عوامل اصلی بروز سیلاب تلقی کرد. همچنین نتایج خسروشاهی (۲۰۰۱) و کریمی‌زاد (۲۰۰۹) موید نتایج پژوهش حاضر است. در تحقیق ایشان نیز پارامتر شماره منحنی از عوامل اصلی معرفی شده است.

نتایج بدست آمده نشان داد، وجود خطا در وزن‌دهی معیارهای موثر در پدیده سیلاب، موجب شناسایی نادرست زیرحوزه‌های بحرانی و رتبه‌بندی اشتباه آنها می‌شود و در صورت تخصیص اقدامات مدیریتی، ضمن هدر رفت هزینه و زمان و نیروی پرسنلی، منجر به عدم ثمربخشی عملیات اجرایی می‌گردد و عملاً در جلوگیری از بروز خسارات زیست محیطی و چه بسی تلفات انسانی بی‌فایده خواهد بود. یافته‌های این تحقیق نشان داد، برخلاف عقیده برخی پژوهشگران مانند ساتی (۱۹۹۶) و رضوی‌زاده و همکاران (۱۳۹۲)، روش‌های تحلیل سلسله مراتبی به دلیل بروز خطای عاملی که نتیجه عدم شناخت کافی از معیارها و یا نحوه تغییرات معیارها در گزینه‌های مختلف است، می‌تواند موجب ایجاد اختلافات اساسی در رتبه‌بندی گزینه‌ها گردد. به علاوه این روش‌ها بسیار زمان‌بر بوده و نیازمند طراحی

پرسشنامه و نظرسنجی است که عدم سازگاری اوزان بدست آمده، مشکلاتی را در پی خواهد داشت. با توجه به نتایج حاصل، تکنیک آنالیز مولفه‌های اصلی قادر است معیاری را که علی‌رغم اهمیت بالا در وقوع پدیده، تفاوت چندانی در گزینه‌های مختلف ندارد و گزینه‌ها از نظر آن معیار تا حدودی همگن است، شناسایی نماید. لذا تکنیک PCA به عنوان یک روش جدید در تعیین اوزان معیارهای تصمیم‌گیری معرفی می‌گردد. در پایان پیشنهاد می‌شود که برای درستی‌آزمایی نتایج حاصل، یافته‌های چنین پژوهشی با اطلاعات سیلاب‌های واقعی و یا خروجی مدل‌های شبیه-سازی سیلاب شهری، مانند SWMM مقایسه گردد.

تقدیر و تشکر

این تحقیق حاصل قسمتی از نتایج طرح تحقیقاتی به شماره ۹۵۸۵۰۰۷۹ می‌باشد که بوسیله دانشگاه کاشان و صندوق حمایت از پژوهشگران تامین مالی شده است. نویسندگان مقاله از دانشگاه کاشان و صندوق حمایت از پژوهشگران تقدیر و تشکر می‌نمایند.

منابع

اصغری‌زاده عزت الله؛ نصراللهی مهدی (۱۳۸۶). رتبه‌بندی شرکتها براساس معیارهای مدل سرآمدی- روش پرومته. فصلنامه‌ی مدرس علوم انسانی، دوره ۱۱، شماره ۳، صص ۸۴-۵۹.

بخشی محمدرضا؛ پناهی رجب؛ ملائی زینب؛ کاظمی سیدحسن؛ محمدی داوود (۱۳۹۱). ارزیابی وضعیت نوآوری در منطقه جنوب غرب آسیا و تعیین جایگاه ایران(کاربرد روش پرومته)، فصل‌نامه علمی پژوهشی سیاست علم و فناوری، شماره ۳، دوره ۳، ۳۱-۱۹.

بدری بهرام؛ زارع بیدکی رفعت؛ هنربخش افشین؛ آتشخوار فاطمه (۱۳۹۵). اولویت بندی زیرحوضه های آبخیز بهشت آباد از نظر پتانسیل سیل خیزی، پژوهشهای جغرافیای طبیعی (پژوهش های جغرافیایی)، شماره یکم، دوره ۴۸، صص ۱۵۸-۱۴۳.

رضوی‌زاده سمانه؛ سلاجقه علی؛ خلیقی شهرام؛ جعفری محمد (۱۳۹۲). بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر خصوصیات سیلاب با استفاده از مدل Hec-HMS (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز طالقان). مجله مرتع و آبخیزداری. شماره سوم، دوره ۶۶، صص ۳۸۶-۳۷۳.

رضوی‌زاده سمانه؛ شاهدی کاکا (۱۳۹۵). اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوزه‌های آبخیز طالقان با استفاده از تلفیق AHP و TOPSIS، فصلنامه اکوسیستم‌های طبیعی ایران، سال هفتم، شماره ۴، صص ۴۶-۳۳.

میرفخرالدینی حیدر؛ فرید داریوش؛ طحاری مهرجردی؛ زارعی محمدحسین؛ محمود آبادی محمد (۱۳۹۰). شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر بهبود کیفیت خدمات بهداشتی و درمانی با استفاده از تکنیک های تصمیم‌گیری چندشاخصه (MADM)مطالعه موردی: مراکز بهداشتی و درمانی شهرستان یزد)، نشریه مدیریت سلامت، دوره ۱۴، شماره ۴۳، صص ۶۲-۵۱.

کاویانی، عذرا (۱۳۹۳). کاربرد و مقایسه روش‌های فرارتبه‌ای پرومته II و الکتر III در شناسایی و اولویت‌بندی نواحی بحرانی حوزه آبخیز دینور استان کرمانشاه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه ارومیه.

کفاش چرندابی ندا؛ آل شیخ علی‌اصغر؛ کریمی محمد (۱۳۹۱). مدل‌سازی آسیب پذیری ناشی از بیماری مالاریا به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش های فرارتبه ای، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره۱۳، صص ۷۹-۴۰.

مالچفسکی، یاچک (۱۳۸۵). سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چندمعیاری، (ترجمه پرهیزکار، اکبر؛ غفاری گیلانده، عطا) انتشارات سمت، ۶۰۷ ص.

نیکو، محمدرضا؛ باشی ازدغی ناصر؛ کراچیان رضا؛ شیرنگی احمد (۱۳۹۰). "کاربرد و مقایسه روش‌های ELECTRE III وPROMETHEE در مکان یابی چاهک های پایش نشت آلودگی در منابع آب زیرزمینی"، پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران، ۱۵ تا ۱۹ آذرماه ۱۳۹۳.

نیکو، محمدرضا؛ کراچیان، رضا؛ باشی ازدغی، ناصر (۱۳۹۰). "مکان‌یابی چاهک‌های پایش آب زیرزمینی برای تشخیص آلودگی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره PROMETHEE"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)، ۱۳-۱۴ اردیبهشت ماه ۱۳۹۰.

Alhumaid, M., Ghumman, A. R., Haider, H., Al-Salamah, I. S., & Ghazaw, Y. M. (2018). Sustainability Evaluation Framework of Urban Stormwater Drainage Options for Arid Environments Using Hydraulic Modeling and Multicriteria Decision-Making. Water, 10(5), 581.

Banias, G., Achillas, C., Vlachokostas, C., Moussiopoulos, N., & Tarsenis, S. (2010). Assessing multiple criteria for the optimal location of a construction and demolition waste management facility. Building and Environment. 45(10): 2317-2326.

Chou, T.-Y., Lin, W.-T., Lin, C.-Y., Chou, W.-C., & Huang, P.-H. (2004). Application of the PROMETHEE technique to determine depression outlet location and flow direction in DEM. Journal of Hydrology. 287(1): 49-61.

Chou, W.-C., Lin, W.-T., & Lin, C.-Y. (2007). Application of fuzzy theory and PROMETHEE technique to evaluate suitable ecotechnology method: A case study in Shihmen Reservoir Watershed, Taiwan. Ecological Engineering. 31(4): 269-280.

Huang, P.-H., Tsai, J.-S., & Lin, W.-T. (2010). Using multiple-criteria decision-making techniques for eco-environmental vulnerability assessment: a case study on the Chi-Jia-Wan Stream watershed, Taiwan. Environmental monitoring and assessment. 168(1): 141-158.

Karimi Zadeh, K. 2009. Technical assessment of watershed management measures effects on flood (Case study: Sira-Kalvan watershed), Watershed Management MSc thesis, p. 104.

Khosroshahi, M., 2001. Determination of the role of sub-basins in the severity of basin flooding (Case study: Damavand basin). PhD Thesis, ،Tarbiat Modares University, pp 177.

Naubi, I., Zardari, N. H., Shirazi, S. M., Roslan, N. A., Yusop, Z., & Haniffah, M. R. B. M. (2017). Ranking of Skudai river sub-watersheds from sustainability indices application of PROMETHEE method. International Journal of GEOMAT, 12(29), 124-131.

Saaty, T. L. (1987)., Rank generation, preservation, and reversal in the analytic hierarchy decision process. Decision Sciences. 18(2): 157-177.

Saaty, T. L. (1996). Decision making with dependence and feedback: The analytic network process (Vol. 4922): RWS publications Pittsburgh.

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

Sauquet, E., Krasovskaia, I., & Leblois, E. (2000). Mapping means monthly runoff pattern using EOF analysis. Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 4(1): 79-93.

Strang, G. (1976). Linear algebra and its applications academic. New York. 19802.

Mapping of the Urban Sub Basins Prone to Flood Using PCA Method as A New Weighting Technique

Reza Ghazavi*[1], Sahar Babaei Hesar[2], Mahdi Erfanian[3]

Received: 24-10-2017 Accepted: 24-11-2018

Abstract

In urban areas, due to the development of the impermeable area, and consequently increased runoff production capacity, The risk of flood damage is more serious than other areas. The first step in the management of urban floods is identifying critical areas. In this research, the PROMETHEE II technique is used to prioritize the sub-basins of Urmia prone to flooding. For this purpose, the boundary layers of the hydrological units were determined using ArcGIS technique based on the slope of the area and the condition of the water conduits and joints. 22 subshells were determined. Physiographic characteristics of sub-basins (runoff depth, imperviousness, elevation, curve number, main channel length, form, perimeter, and area) were selected as ranking criteria. The weight of these variables should greatly affect the sub-basins ranking process and needs to determine with a specific precision. The effect of these variables is also varied in a different region. In this research, the weighting of the criteria was performed using both of the hierarchical analysis method (AHP) and analysis of the main components (PCA). In each sub-basins, the PROMETHEE II technique was applied for weighting methods, and sub-basins were prioritized and compared. The results showed that the priority of the sub-basins differed according to the weighting methods. When two methods of weighing were applied, only two of seven sub-basin have the same priority. The first criteria were runoff depth, and its weight was different for PCA and AHP methods (0.150 and 0.280 respectively). The effect of the difference in the weight of the criteria and their priority in flooding was significant. Among the first seven sub-catchments, there are only four common sub-catchments and, among these four sub-catchments, only two of them had the same ranks. This shows that the PCA method is more accurate in weighing the criteria due to the consideration of the spatial characteristics of the criteria and elimination of the error in the survey based methods.

Keywords: AHP, Flood, PCA, Prioritization, PROMETHEE II, Urmia City.

[1]*- Associate professor, Department of watershed management, Faculty of Natural Resources, University of Kashan, Iran.
Email: Ghazavi@kashanu.ac.ir
[2]- PhD student, Department of watershed management, Faculty of Natural Resources, University of Kashan, Iran.
[3]- Associate professor, Department of watershed management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Iran.