

کاربرد روش‌های تحلیل چند معیاره جهت انتخاب بهترین برازش توزیع فراوانی سیل (مطالعه موردی: رودخانه مهاباد چای)

عثمان محمدپور*، یوسف حسن زاده^۲، احمد خدادادی^۳، بهرام ثقفیان^۴

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۷/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۲۹

۱- دانشجوی دکتری عمران- آب دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۲- استاد دانشکده عمران دانشگاه تبریز

۳- استادیار دانشکده آمار و ریاضی دانشگاه شهید بهشتی

۴- استاد دانشکده فنی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mohammadpour816@yahoo.com

چکیده

برای انتخاب توزیع احتمالاتی برای توصیف داده‌های مشاهداتی، چندین معیار وجود دارند که می‌توانند مورد استفاده واقع شوند. بهتر است به جای استفاده از یک معیار مطابق روش‌های مرسوم، از تلفیق دو یا چند معیار جهت دستیابی به بهترین انتخاب استفاده شود. اما اگر بیش از دو معیار استفاده شود، انتخاب مشکل‌تر می‌شود. در این‌گونه موارد، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) ضروری است. در این مطالعه ۱۱ تابع توزیع آماری رایج در هیدرولوژی به عنوان گزینه‌های روش MCDM بر اساس معیارهای کولموگروف-اسمیرنوف، انحراف در تابع توزیع تجمعی، انحراف در تابع چگالی احتمال، انحراف در چولگی و کشیدگی و جذر میانگین مربعات خطا، مقایسه شدند. از سه روش MCDM شامل روش‌های مجموع ساده وزین، حاصل ضرب وزنی و اکثریت فازی، استفاده شد. تحلیل حساسیت با تغییر وزن و تعداد معیارها انجام گردید. از روش‌های فوق‌الذکر جهت انتخاب مناسب‌ترین توزیع که بهترین برازش را به سه مشخصه دبی اوج، حجم و تداوم سیل سالانه رودخانه مهاباد (یکی از رودخانه‌های مهم حوضه دریاچه ارومیه) داشتند، استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که توزیع‌های ویبول سه پارامتری، ویبول سه پارامتری و حدی تعمیم‌یافته، مناسب‌ترین توزیع برای توجیه داده‌های مشخصه‌های دبی اوج، حجم و تداوم سیل رودخانه مهاباد می‌باشند. از نتایج این مطالعه می‌توان در راستای بهبود تحلیل فراوانی سیل استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: اکثریت فازی، تحلیل فراوانی سیل، تصمیم‌گیری چند معیاره، توزیع احتمالاتی، رتبه‌بندی

Application of Multi Criteria Analysis to Select the Best Fit Flood Frequency Distribution (Case Study of Mahabad River)

O Mohammadpour^{*1}, Y Hassanzadeh², A Khodadadi³, B Saghafian⁴

Received: 4 October 2014

Accepted: 18 February 2015

¹ Ph.D. Student, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Prof., Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³ Assist. Prof., Department of Statistics, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

⁴ Prof., Faculty of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

* Corresponding Author, Email: mohammadpour816@yahoo.com

Abstract

To select a statistical distribution to describe a set of data, there are several criteria that can be used. Rather than the selection of a criterion according to traditional methods, the combination of two or more criteria may be used to achieve the best choice. But when more than two criteria are applied to find out the best model, selection becomes more difficult. In these cases, the use of multi-criteria decision making (MCDM) is essential. This study compares eleven commonly used distributions in hydrology based on five selection criteria. These selection criteria are: The Kolmogorov-Smirnov test, the errors in skewness and kurtosis, the errors in cumulative distribution function, the errors in probability distribution function and the root mean square error. Three MCDM methods, namely, simple additive weighting, weighted product method and fuzzy majority approach, are employed. In the present study, we examine the sensitivity of the results of MCDM by changing the weights and number of criteria. The methods are applied to a case study of Mahabad River, a major river flowing into Lake Urmia in northwestern of Iran. Results of this study have shown that three-parameter Weibull, three-parameter Weibull and generalized extreme value distributions have the best fit for peak flow, volume and duration of Mahabad River flood data, respectively. The result of this study can be used to improve the flood frequency analysis.

Keywords: Flood frequency analysis, Fuzzy majority, Multi criteria decision making, Probability distribution, Ranking

است. طبق گزارش سازمان علمی و فرهنگی ملل متحد (UNESCO) بین سال‌های ۱۹۷۳ الی ۱۹۹۶ به‌طور متوسط سالانه ۶۶ میلیون نفر در جهان تحت تأثیر اثرات نامطلوب سیل قرار گرفته‌اند، طبق همین گزارش سیل‌های که در آسیا طی سال‌های ۱۹۸۷ الی ۱۹۹۶ به

مقدمه

تاریخ حیات بشر بر روی کره زمین از دیرباز مملو از حوادث و بلایای مختلف خصوصاً سیل بوده و علی‌رغم پیشرفت‌های بسیار دانش بشری، هنوز بشر امکان پیش‌بینی و مهار کامل این پدیده را پیدا نکرده

تحلیل فراوانی سیل چند متغیره می‌تواند راهکار مناسب‌تری باشد (شیائو و همکاران ۲۰۰۶، کارماکار و سیمونویچ ۲۰۰۸، نجسن و همکاران ۲۰۰۹). هر دو گروه تحلیل فراوانی یک متغیره و چند متغیره نیازمند برآزش یک توزیع احتمالاتی به داده‌های مشاهده‌ای مشخصه‌های سیل برای نمایش فراوانی وقوع حوادث نادر سیل است. روش مرسوم جهت انتخاب مناسب‌ترین توابع توزیع آماری، استفاده از آزمون‌های نکویی برآزش نظیر آزمون کلموگرف-اسمیرنوف (KS)، آندرسون دارلینگ (AD)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، معیار اطلاعات آکایکه (AIC)، معیار اطلاعات آکایکه اصلاح‌شده (AIC_c) و معیار اطلاعات بیزی (BIC) بوده است (کارماکار و سیمونویچ ۲۰۰۸، لایو و همکاران ۲۰۰۹، حداد و رحمان ۲۰۱۰، رحمان و همکاران ۲۰۱۳). انتخاب توزیع با استفاده از آزمون‌های فوق‌الذکر انتخابی یک معیاره است، برای مثال، آماره‌ی آزمون KS تنها بر اساس تابع توزیع تجمعی (CDF) برآورد می‌گردد، در صورتی‌که علاوه بر اطلاعات CDF، تابع چگالی احتمال (PDF) نیز در تعیین نکویی برآزش یک توزیع حائز اهمیت است (وانگ و همکاران ۲۰۰۴). برای انتخاب مناسب‌تر، بایستی چندین معیار در نظر گرفته شوند. اما زمانی که بیش از دو معیار جهت تعیین بهترین توزیع مورد استفاده قرار می‌گیرد، انتخاب مشکل‌تر و ذهنی‌تر می‌شود. در این موارد استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره^۱ (MCDM) ضروری است (دوکشتاین و همکاران ۱۹۹۱، شبری و جیمن ۲۰۰۶، محمدپور و همکاران ۲۰۱۴).

در چند دهه اخیر تحقیقات وسیعی در خصوص تحلیل فراوانی سیل انجام شده است. اسلامیان و سلطانی‌کوپائی (۱۳۸۱) تعدادی از این تحقیقات و همچنین روش‌های مختلف تحلیل فراوانی را مورد بررسی قرار داده‌اند. لایو و همکاران (۲۰۰۹) از سه معیار انتخاب مدل شامل AIC، BIC و AD جهت

وقوع پیوسته‌اند، بیش از ۱۰۰ بلیون دلار خسارت اقتصادی ایجاد کرده است (بی‌نام ۲۰۰۳). متأسفانه کشور ما نیز در زمره کشورهای سیل‌خیز جهان قرار دارد. بررسی آمار سیلاب‌های ۴۰ ساله (۱۳۷۰-۱۳۳۱) نشان داده است که به‌طور متوسط سالانه ۴۷ مورد سیل حادثه‌آفرین در کشور ثبت گردیده است و در این دوره ۱۰۵۷۲ نفر از هم‌وطنان جان خود را از دست داده‌اند (مشایخی ۱۳۸۰). بنابراین، تحقیقات روی مدیریت سیل از دیدگاه‌های مختلف، ضروری است.

مدیریت سیل در سه فاز طراحی، برنامه‌ریزی و بهره‌برداری صورت می‌گیرد. اجرای هر یک از سه فاز ذکر شده، نیازمند در دسترس بودن معلومات مشخصه‌های حادثه سیل است. یکی از مرسوم‌ترین اقدامات جهت استخراج اطلاعات پدیده سیل، استفاده از روش آماری تحلیل فراوانی است (کارماکار و سیمونویچ ۲۰۰۸). در این روش احتمال وقوع و یا عدم وقوع پدیده سیل و یا عکس آن یعنی دوره بازگشت به‌همراه مشخصات دیگر تعیین می‌شوند که خود ابزار بسیار مفیدی جهت تصمیم‌گیری‌های علمی و عملی هست. از نتایج حاصل از تحلیل فراوانی سیل می‌توان جهت طراحی سازه‌های کنترل سیل نظیر سرریز سدها، پولدرها، مخازن حفاظت سیل و همچنین مطالعات پهنه‌بندی سیلاب و بیمه سیل استفاده نمود. تاکنون تحلیل فراوانی سیل یک متغیره (عموماً بر مبنای اوج سیل) به‌طور وسیعی در مطالعات هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گرفته است (لایو و همکاران ۲۰۰۹، قربانی و همکاران ۲۰۰۹، حداد و رحمان ۲۰۱۱، حسن‌زاده و همکاران ۲۰۱۰). با توجه به پیچیدگی پدیده سیل و پیروی این پدیده از سه متغیر اصلی دبی اوج، حجم و تداوم سیل، تحلیل فراوانی یک متغیره باعث می‌شود که تأثیر همزمان متغیرهای وابسته در نظر گرفته نشود و در نتیجه منجر به کمتر یا بیشتر برآورد شدن ریسک هیدرولوژیکی گردد. بنابراین،

¹ Multi criteria decision making (MCDM)

شهری در آلودگی منابع آب استان اصفهان استفاده کردند. مک فی و همکاران (۲۰۰۴) به منظور مدیریت پایدار آب زیرزمینی، یک مدل ترکیبی مبتنی بر روش چندمنظوره حدی و چند شاخصه مبتنی بر میانگین وزنی مرتب^۴ (OWA) را ارائه دادند. کنترل و آرال (۲۰۰۷) از عملگر OWA جهت رتبه‌بندی استراتژی‌های مدیریت آب زیرزمینی استفاده کردند. ضرغامی و سیداروسکی (۲۰۱۰) رابطه روش مبتنی بر عملگر OWA و روش CP را برای یک مطالعه موردی مدیریت منابع آب در ایران مورد بررسی قرار دادند. ایشان نشان دادند که روش OWA نسبت به روش CP ارجحیت دارد. ایلماز و هارماچیغلو (۲۰۱۰) در رتبه‌بندی گزینه‌های حوضه رودخانه‌ها از روش‌های SAW، CP و روش شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS) استفاده نمودند. ضرغامی و همکاران (۱۳۸۶) ۸ روش تصمیم‌گیری چند شاخصه را با توجه به ۱۰ معیار با همدیگر مقایسه کردند، نتایج نشان داد که روش مبتنی بر عملگر OWA نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری برای اولویت‌بندی طرح‌های بین حوضه‌ای انتقال آب برتر است. صفاری و ضرغامی (۱۳۹۲) از روش‌های فاصله محور MCDM نظیر CP، SAW و TOPSIS جهت تخصیص بهینه منابع آب سطحی حوضه دریاچه ارومیه به استان‌های ذینفع استفاده نمودند.

هدف از این مطالعه، انتخاب برترین توزیع احتمالاتی برای سه مشخصه دبی اوج، حجم و تداوم سیل با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره SAW، حاصل‌ضرب وزنی^۵ (WPM) و اکثریت فازی^۱ (FMA) است. این مطالعه از دو دیدگاه مطالعات قبلی را توسعه می‌دهد. در مطالعات قبلی کاربرد MCDM در تحلیل فراوانی، تنها مشخصه دبی اوج سیل مدنظر قرار گرفته است. حال اینکه در این مطالعه هر سه مشخصه سیل بررسی شده‌اند. از طرف دیگر

تحلیل فراوانی حوادث نادر هیدرولوژیکی داده‌های اوج سیل ۱۰۰۰ حوضه آبریز بریتانیا استفاده نمودند. نتایج نشان داد که معیارهای فوق‌الذکر می‌توانند توزیع‌های متفاوتی را برای حوضه‌های یکسان انتخاب نمایند. بر اساس نتایج، دو معیار AIC و AD که به ترتیب از اطلاعات تابع PDF و CDF استفاده می‌نمایند در ۴۹٪ موارد توزیع آماری یکسانی را انتخاب می‌کنند. حسن‌زاده و همکاران (۲۰۱۰) به منظور برآورد پارامتر توزیع‌های احتمالاتی متداول در هیدرولوژی، از روش‌های بهینه‌سازی فرا ابتکاری نظیر الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جامعه مورچگان استفاده نمودند.

باوجود اینکه تحقیقات در زمینه تحلیل فراوانی سیل بسیار گسترده است، اما به‌کارگیری روش‌های MCDM در این زمینه بسیار نادر است. دوکشتاین و همکاران (۱۹۹۱) برای نخستین بار از روش‌های برنامه‌ریزی سازشی^۲ (CP)، ELECTRE و MCQA جهت رتبه‌بندی ۵ روش برآورد پارامترهای توزیع لوگ پیرسون تیپ سه در تحلیل فراوانی هیدرولوژیکی، استفاده کردند. شبری و جیمین (۲۰۰۶) یک روش MCDM را براساس مدل برنامه‌ریزی غیرخطی جهت انتخاب توزیعی که بهترین برازش را به مجموعه داده‌های سیل رودخانه‌ای در مالزی دارد، توسعه دادند. امیری و سعادت فر (۱۳۹۰) از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) جهت انتخاب مناسب‌ترین توزیع فراوانی برای پیش‌بینی دبی بیشینه لحظه‌ای سیلاب استفاده نمودند.

کاربرد روش‌های MCDM در زمینه‌های مختلف مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب در تعداد زیادی از مطالعات گزارش شده است. کارآموز و همکاران (۲۰۰۳)، از دو روش مجموع ساده وزین^۳ (SAW) و AHP جهت تعیین سهم بخش‌های کشاورزی، صنعت و

⁴ Ordered weighted averaging (OWA)

¹ Weighted product method (WPM)

² Fuzzy majority approach (FMA)

^۲ Compromise programming (CP)

³ Simple additive weighting (SAW)

پیرسون تیپ ۳ (PE3)، لوگ پیرسون تیپ ۳ (LP3)، گامبل (EV1(2))، لجستیک تعمیم‌یافته (GLOG)، حدی تعمیم‌یافته (GEV)، گامای دو پارامتری (G2)، ویبول سه پارامتری (WBL3) و پارتوی تعمیم‌یافته (GPAR). نظر به اینکه روابط CDF و PDF توزیع‌های بالا در مراجع ارائه شده است (اسلامیان و سلطانی‌کوپائی ۱۳۸۱)، جهت پرهیز از افزایش حجم مقاله، از نمایش آن‌ها صرف‌نظر می‌شود.

همان‌طوری که بررسی منابع نشان می‌دهد، معیارهای نکویی برآزش مختلف ممکن است توزیع‌های احتمالاتی متفاوتی را به‌عنوان توزیع برتر انتخاب نمایند. بنابراین، در ارزیابی توزیع‌ها به‌جای استفاده از یک معیار (شاخص) مطابق روش مرسوم، بهتر است از چندین معیار به‌صورت زیر استفاده شود:

الف. آماره‌ی آزمون نکویی برآزش کلموگرف-اسمیرنوف (KS): این آماره با استفاده از رابطه زیر به‌دست می‌آید: (شبری و جیمن ۲۰۰۶، محمدپور و همکاران ۲۰۱۴):

$$D_{\max} = \max_{1 \leq i \leq n-1} \left\{ |F(x_i) - G(x_i)|, |F(x_{i+1}) - G(x_i)| \right\} \quad [1]$$

به‌طوری‌که D_{\max} : میزان انحراف بیشینه بین CDF نظری ($F(x)$) و تجربی ($G(x)$) و n : تعداد داده‌های مشاهداتی هست. تابع CDF تجربی از رابطه ویبول به شکل $G(x) = \frac{m}{n+1}$ تعیین شده است، به‌طوری‌که m : شماره ردیف در ترتیب نزولی داده‌ها است.

ب. انحراف متوسط در CDF: متوسط انحراف بین CDF نظری و تجربی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (وانگ و همکاران ۲۰۰۴):

$$\delta_F = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |F(x_i) - G(x_i)| \quad [2]$$

پ. انحراف متوسط در PDF: متوسط انحراف بین PDF نظری ($f(x)$) و تجربی ($g(x)$) به‌صورت زیر محاسبه می‌شود (وانگ و همکاران ۲۰۰۴):

$$\delta_f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f(x_i) - g(x_i)| \quad [3]$$

روش‌های MCDM مورد استفاده در مطالعات قبلی نظیر AHP و ELECTRE قادر نیستند اولویت‌های ذهنی تصمیم‌گیر و همچنین ریسک‌پذیری و یا ریسک‌گریزی تصمیم‌گیر را در نظر بگیرند، حال اینکه روش FMA مورد استفاده در این مطالعه از این توانایی برخوردار است.

روش تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)

در این روش‌ها به‌جای استفاده از یک معیار سنجش بهینگی از چندین معیار استفاده می‌گردد. به‌طورکلی مدل‌های MCDM به دو گروه اصلی مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه و چند شاخصه تقسیم می‌شوند. هدف از مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه^۷ (MODM) بهینه کردن همزمان چندین تابع هدف، تحت مجموعه‌ای از قیودات است. از این گروه روش برنامه‌ریزی آرمانی و روش حدی را می‌توان نام برد. درحالی‌که مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه^۸ (MADM) با مسائلی مرتبط می‌شوند که از قبل چندین گزینه برای انتخاب تعیین شده‌اند و تصمیم‌گیرنده باید گزینه برتر را انتخاب نماید. از گروه اخیر، می‌توان روش‌های امتیازدهی نظیر SAW و WPM، روش‌های فاصله محور نظیر TOPSIS و CP، روش‌های نارته‌ای نظیر ELECTRE و PROMETHEE و همچنین روش AHP را نام برد (قهرمان ۲۰۰۸). در ادامه گزینه‌ها، شاخص‌ها و روش‌های MADM مورد استفاده، معرفی می‌گردند.

معرفی گزینه‌ها و شاخص‌های MADM

گزینه‌های روش MADM، توزیع‌های احتمالاتی هستند که به‌طور متداول در تحلیل فراوانی سیل برای مشخصه‌های سیل مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این توزیع‌ها عبارت‌اند از نرمال (N)، لوگ نرمال دو پارامتری (LN2)، لوگ نرمال سه پارامتری (LN3)،

^۷ Multiple objective decision making (MODM)

^۸ Multiple attribute decision making (MADM)

$$r_j = \frac{1}{K} \sum_{l=1}^K r_{lj} \quad [7]$$

روش مجموع ساده وزین (SAW)

روش SAW احتمالاً شناخته شده ترین و پرکاربردترین روش MADM هست (قهرمان و همکاران ۲۰۰۸). در روش SAW بعد از محاسبه مقادیر شاخصها برای هر گزینه، گامهای زیر برداشته می شود:

یکپارچه کردن وزن معیارها: وزنی که کارشناس l ام به شاخص i ام می دهد به وسیله W_{li} نمایش داده می شود، وزن کارشناسی هر یک از شاخصها را می توان از رابطه زیر پیدا کرد:

$$w_i = \frac{1}{K} \sum_{l=1}^K w_{li} \quad [8]$$

اهمیت نسبی معیارها با بردار نرمال W بیان می شود، به طوری که $\sum_{i=1}^m w_i = 1$ و $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)$ هست.

نرمال کردن اطلاعات: مقادیر شاخصهای که برای هر توزیع از روابط ۱ الی ۴ و رابطه ۶ محاسبه می شود، ممکن است مقادیری خارج از محدوده [۰، ۱] را به خود بگیرد. بنابراین، لازم است چنان نرمال شوند که همه آنها در محدوده [۰، ۱] قرار گیرند. فرض کنید v_{ij} مقدار محاسبه شده شاخص i ام برای توزیع z ام باشد. برای نرمال کردن این مقادیر از تابع تبدیل زیر که به شکل تابع توزیع کوشی است، استفاده می شود (وانگ و همکاران ۲۰۰۴):

$$r_{ij} = \frac{1}{1 + cv_{ij}^2} \quad [9]$$

در رابطه ۹، c مقداری است ثابت که به طور تجربی توسط تصمیم گیرنده تعیین می شود.

ج. انحراف در چولگی و کشیدگی: در هیدرولوژی بررسی دنباله توزیعهای فرضی مهم هستند. توزیع انتخاب شده بایستی اندازه چولگی و کشیدگی نزدیک به توزیع واقعی داشته باشد. گشتاورهای مرکزی سوم و چهارم، اطلاعات مفیدی را در رابطه با شکل منحنی توزیع فراهم می کنند. فاصله بین نقاط نمونه $A = (\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2)$ و توزیع فرضی $B = (\beta_1, \beta_2)$ که درجه نکویی برازش بین نمونه و توزیع فرضی را منعکس می کند، به صورت زیر محاسبه می شود (وانگ و همکاران ۲۰۰۴، محمدپور و همکاران ۲۰۱۴):

$$d(A, B) = \sqrt{(\hat{\beta}_1 - \beta_1)^2 (\hat{\beta}_2 - \beta_2)^2} \quad [4]$$

در رابطه (۴)، $\hat{\beta}_2, \hat{\beta}_1$: ضریب چولگی و کشیدگی داده ها، β_2, β_1 : کمیت های بی بعد که از روابط $\beta_1 = \frac{\mu_3^2}{\sigma^6}$ ، $\beta_2 = \frac{\mu_4}{\sigma^4}$ محاسبه می شوند، σ : انحراف معیار و μ_4, μ_3 گشتاورهای مرکزی سوم و چهارم می باشند که از رابطه زیر تعیین می شوند (اسلامیان و سلطانی کوپائی ۱۳۸۱):

$$\mu_r = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu)^r f(x) dx, \quad \mu = E(x) \quad [5]$$

د. جذر میانگین مربعات خطا (RMSE): این آماره از رابطه زیر برآورد می گردد (حسن زاده و همکاران ۲۰۱۰):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{n}} \quad [6]$$

در این رابطه x_i : مقدار دبی اوج سیل مشاهداتی، \hat{x}_i : مقدار دبی اوج سیل محاسباتی هست.

ه. ارجحیت ذهنی: در دو روش کلاسیک SAW و WPM، رتبه ای که کارشناس (خبیره) l ام به توزیع z ام می دهد به وسیله r_{lj} نمایش داده می شود. رتبه کارشناسی هر یک از توزیعها با استفاده از رابطه زیر تعیین می شود:

تصمیم‌گیری ارایه شده است. روش FMA مبتنی بر عملگر میانگین وزنی ترتیبی (OWA) است. ویژگی عملگر OWA این است که می‌تواند خصوصیات ذهنی تصمیم‌گیران را در فرایند تصمیم‌گیری و انتخاب گزینه مطلوب تأثیر دهد. توانایی روش OWA در شناسایی میزان تبادل بین شاخص‌ها و اهداف متضاد، از ویژگی‌های دیگر این روش است (میان‌آبادی و افشار ۱۳۸۷). روش FMA مبتنی بر سه مرحله I: یکنواخت نمودن اطلاعات ارجحیت از طریق یک تابع تبدیل، II: تجمیع اطلاعات ارجحیت یکنواخت شده توسط عملگر OWA، III: رتبه‌بندی گزینه‌ها یا انتخاب مطلوب‌ترین گزینه است.

اطلاعات به‌دست‌آمده از مجموعه شاخص‌ها دارای طبیعت متمایزی هستند، بنابراین، بایستی یکنواخت شوند. برای یکنواخت ساختن اطلاعات از تابع تبدیل زیر به‌صورت رابطه ارجحیت فازی استفاده می‌شود (چیکلانا و همکاران ۱۹۹۸):

$$p_{ij}^k = \frac{(u_i^k)^2}{(u_i^k)^2 + (u_j^k)^2} \quad [13]$$

u_i^k مقدار نرمال شده گزینه i ام از نظر شاخص k ام و p_{ij}^k درجه ارجحیت گزینه x_i بر x_j است.

برای تجمیع اطلاعات ارجحیت یکنواخت شده از عملگر تجمیع OWA استفاده می‌شود. عملگر تجمیع، تابعی است که بردار ورودی m بعدی را به یک بعد نگاشت می‌کند و به‌صورت $F: [0,1]^m \rightarrow [0,1]$ نشان داده می‌شود. عملگر OWA یک عملگر تجمیع با بردار وزن است (محمدپور و همکاران ۲۰۱۴).

$$F_Q(p_{ij}^1, \dots, p_{ij}^m) = W.B^T = \sum_{k=1}^m w_k q_{ij}^k \quad [14]$$

در رابطه ۱۴، q_{ij}^k بیان‌گر k امین بزرگ‌ترین عنصر در مجموعه $(p_{ij}^1, \dots, p_{ij}^m)$ هست. Q نیز یک کمیت‌سنج فازی است که برای نمایش مفهوم اکثریت فازی و محاسبه بردار وزن عملگر تجمیع بکار می‌رود.

تشکیل ماتریس عملکرد: ماتریس عملکرد برای m شاخص و n گزینه به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$R = (r_{ij})_{m \times n}, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n \quad [10]$$

استخراج وزن نهائی توزیع‌ها: وزن نهائی توزیع‌ها با استفاده از رابطه برداری زیر حاصل می‌شود، بدیهی است که بالاترین وزن در این بردار توزیعی را مشخص می‌کند که دارای بهترین برآزش با داده‌ها است.

$$H = W.R \quad [11]$$

روش حاصل‌ضرب وزنی (WPM)

روش WPM یکی از روش‌های معمول تصمیم‌گیری چند شاخصه هست. این روش مشابه با روش SAW است، با این تفاوت که به‌جای جمع در عملکرد ریاضی آن، از ضرب استفاده شده است. دو برتری روش WPM نسبت به روش SAW، سادگی و عدم نیاز به نرمال کردن ذکر شده است. مطابق این روش، شاخص‌ها به دو گروه شاخص‌های سود (مقادیر بیشتر آن‌ها بهتر است) و هزینه (مقادیر کمتر آن‌ها بهتر است) تقسیم‌بندی می‌شوند. آماره KS، انحراف متوسط در CDF، انحراف متوسط در PDF، انحراف در چولگی و کشیدگی و RMSE شاخص‌های هزینه و وزن کارشناسی توزیع‌ها شاخص سود است. در این روش مقادیر شاخص‌ها (v_{ij}) به توان وزن‌های متناظر شاخص‌ها (w_i) می‌رسد و حاصل‌ضرب به‌صورت رابطه زیر محاسبه می‌گردد. لازم به ذکر است که توان مثبت برای شاخص‌های سود و توان منفی برای شاخص‌های هزینه در نظر گرفته می‌شود (قهرمان و همکاران ۲۰۰۸):

$$M_j = \prod_{i=1}^m v_{ij}^{w_i}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad [12]$$

روش اکثریت فازی (FMA)

روش FMA توسط چیکلانا و همکاران (۱۹۹۸) به‌منظور تجمیع و انتخاب مطلوب اطلاعات در فرایند

با استفاده از کمیت سنج زبانی Q ، بردار وزن $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)$ از رابطه زیر محاسبه می‌شود (میان آبادی و افشار ۱۳۸۷):

$$w_k = Q\left(\frac{k}{m}\right) - Q\left(\frac{k-1}{m}\right) \quad [15]$$

کمیت‌سنج‌های زبانی که مفهوم اکثریت فازی را منعکس می‌کنند با تابع عضویت زیر نشان داده می‌شود (میان آبادی و افشار ۱۳۸۷):

$$Q(r) = \begin{cases} 0 & \text{if } r < a \\ \frac{r-a}{b-a} & \text{if } a \leq r \leq b, \quad a, b, r \in [0, 1] \\ 1 & \text{if } r > b \end{cases} \quad [16]$$

متداول‌ترین کمیت‌سنج‌های زبانی که در محاسبه بردار وزن بکار برده می‌شوند، کمیت‌سنج‌های فازی «بیشترین»، «در کمترین حالت نصف» و «تا حد ممکن» هستند که مقادیر پارامترهای (a, b) متناظرشان به ترتیب $(0/3, 0/8)$ ، $(0/5, 0/5)$ و $(0/5, 0/5)$ است. با استفاده از رابطه ۱۴، روابط ارجحیت فازی $p_{ij}^1, \dots, p_{ij}^m$ را می‌توان به صورت یک رابطه کلی به صورت $p^* = (p_{ij}^k)_{n \times n}$ جمع نمود.

از کمیت‌سنج زبانی هم‌چنین به منظور رتبه‌بندی توزیع‌ها یا انتخاب مطلوب‌ترین توزیع به صورت زیر استفاده می‌شود (شبری و جیمن ۲۰۰۶):

$$c_i^* = F_Q(p_{ij}^k, j = 1, 2, \dots, n \quad i \neq j) \quad [17]$$

که در آن c_i^* مقدار رتبه‌بندی جمعی توزیع i ام هست. از رابطه ۱۷ بردار رتبه‌بندی جمعی توزیع‌ها به صورت $C^* = (c_1^*, \dots, c_n^*)$ به دست می‌آید، با استفاده از این رابطه، توزیع‌ها رتبه‌بندی و مناسب‌ترین توزیع انتخاب می‌گردد.

ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن

ضریب همبستگی رتبه‌ای برای تعیین میزان وابستگی بین رتبه‌های حاصل‌شده با روش‌های MADM متفاوت مفید است. ضریب همبستگی ۱، -۱ و ۰، به ترتیب نشان‌دهنده وجود همبستگی کامل مثبت، همبستگی کامل منفی و عدم وجود همبستگی است. اگر

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{j=1}^n d_j^2}{n(n^2 - 1)} \quad [18]$$

استخراج مشخصه‌های حادثه سیل

مهم‌ترین مشخصه‌های حادثه سیل شامل دبی اوج، حجم و زمان تداوم سیل می‌شود. جهت تعیین تداوم سیل بایستی تاریخ‌های شروع (SD) و انتهای رواناب (ED) را مشخص نمود. به‌طورکلی مرزهای زمانی سیل با افزایش جریان نسبت به جریان پایه (شروع رواناب) و کاهش جریان و برگشت به جریان پایه (انتهای رواناب)، نشان داده می‌شود. بنابراین جریان پایه به‌عنوان ملاکی برای تعیین هیدروگراف سیل در نظر گرفته می‌شود. در مطالعه حوضه‌ها، شروع رواناب معمولاً با بالا رفتن ناگهانی شاخه صعودی هیدروگراف و خاتمه آن با مسطح شدن شاخه فروکش هیدروگراف نشان داده می‌شود. در شاخه فروکش هیدروگراف، در عین تبدیل رواناب سطحی به جریان پایه، تغییر معنی‌داری در شیب هیدروگراف به وقوع می‌پیوندد. مشخصه‌های دبی اوج، حجم و تداوم سیل برای سال i ام از روابط زیر تعیین و در شکل ۱ نشان داده شده‌اند (کارماکار و سیمونیچ ۲۰۰۸):

$$D_i = ED_i - SD_i \quad [19]$$

$$V_i = (V_i^{Total} - V_i^{Base}) = \sum_{j=SD_i}^{ED_i} Q_{ij} - \frac{1}{2}(Q_{is} + Q_{ie})(1 + D_i) \quad [20]$$

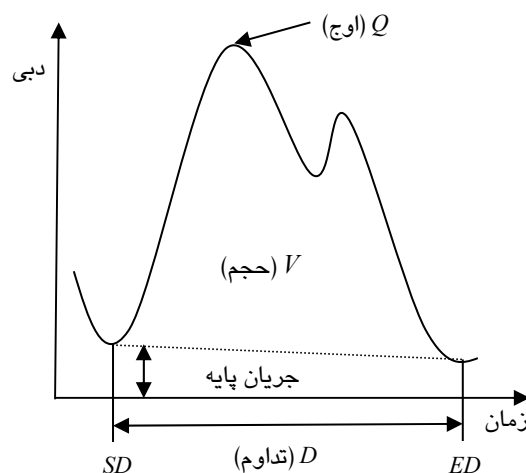
$$P_i = \max\left[Q_{ij} - Q_{ij}^{Base}, j = ED_i, 1 + ED_i, 2 + ED_i, \dots, SD_i\right] \quad [21]$$

در این روابط، Q_{ij} : جریان مشاهده‌شده رودخانه روز j ام سال i ام، Q_{is} و Q_{ie} : به ترتیب جریان‌های روزانه مشاهداتی در تاریخ شروع و انتها رواناب سال i ام و Q_{ij}^{Base} : مقدار جریان پایه روز j ام سال i ام است.

آذربایجان غربی دارد. در ادامه به دو مورد سیلاب تاریخی اشاره می‌شود. در ۱۲ مرداد ۱۳۱۵، سیلاب وارد بازار مهاباد شد، مغازه‌های زیادی را تخریب، ۲۹ نفر کشته و ۵۶ زخمی و بیش از یک میلیون تومان خسارت وارد کرد (بی‌نام ۱۳۷۰). در ۲۴ فروردین ۱۳۷۱، سیلابی به وقوع پیوست که در نتیجه آن اراضی کشاورزی مجاور رودخانه در پایین دست سد زیر آب رفت و خسارت اقتصادی زیادی را ببار آورد.

در این مطالعه از داده‌های ۴۱ ساله دبی روزانه ثبت شده ورودی به مخزن سد در دوره ۱۳۴۴-۱۳۸۵ جهت تحلیل فراوانی سه مشخصه اصلی سیل یعنی دبی اوج، حجم و زمان تداوم سیل استفاده شده است. از هیدروگراف‌های سیل سالانه مقادیر اوج، حجم و زمان تداوم سیل سالانه مطابق روابط ۱۹ الی ۲۱ تعیین شده‌اند. جدول ۱، خصوصیات آماری سه مشخصه سیل را نشان می‌دهد. داده‌های سیل سالانه بایستی مستقل، تصادفی، همگن و بدون روند باشند. این خواص توسط چهار آزمون ناپارامتری والد-ولفوویتس، ران-تست، مان-ویتنی و کندال، تأیید شد. شکل ۲ هیدروگراف سیل رودخانه مهاباد در دو سال متفاوت را به‌عنوان نمونه نمایش می‌دهد. به دلیل قرار گرفتن منطقه در اقلیم نیمه‌خشک، تغییرات مشخصه‌های سیل از سالی به سال دیگر نسبتاً بالا است.

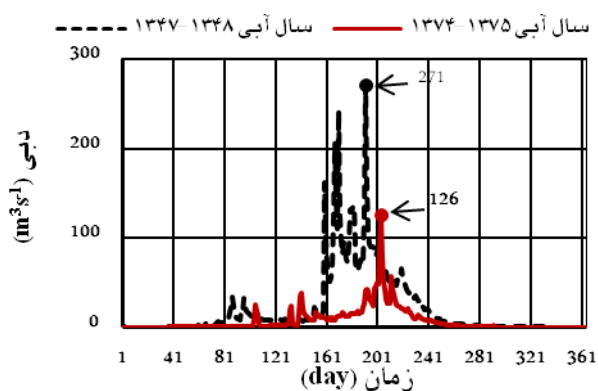
سری‌های جریان اوج، حجم و تداوم سیل سالانه به ترتیب به صورت $P = \{P_i\}$ ، $V = \{V_i\}$ و $D = \{D_i\}$ بیان می‌شود.



شکل ۱- مشخصه‌های حادثه سیل سال i ام.

معرفی حوضه آبریز تحت مطالعه

حوضه آبریز رودخانه مهاباد در استان آذربایجان غربی و در شمال غربی ایران واقع شده است، این حوضه یکی از حوضه‌های آبریز مهم دریاچه ارومیه است که در جنوب آن قرار گرفته است. حوضه آبریز رودخانه مهاباد، بین طول‌های شرقی ۴۵ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۳۶ دقیقه و عرض‌های شمالی ۳۶ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۶ دقیقه واقع است. مساحت این حوضه ۸۴۱ کیلومتر مربع است. رودخانه مهاباد دارای دو شاخه اصلی به نام‌های کوتر و بیطاس است که از ارتفاعات جنوب حوضه سرچشمه گرفته و تقریباً به موازات هم از جنوب به شمال در جریان هستند و در نهایت هر دو رودخانه وارد مخزن سد مهاباد می‌شوند. آب خروجی از سد از جنوب به سمت شمال در جریان است و پس از گذشت از دشت مهاباد وارد دریاچه ارومیه می‌شود. فرج‌زاده اصل (۱۳۹۱) نشان داد که زیر حوضه‌ی مهابادچای با جمعیتی بیش از ۱۴۸۹۱۶ نفر، بیشترین جمعیت در معرض سیل را در بین زیر حوضه‌های استان



شکل ۲- جریان روزانه رودخانه مهاباد در دو سال متفاوت.

جدول ۱- برخی مشخصات آماری مهم متغیرهای سیل.

متغیر	متوسط حسابی	ضریب تغییرات	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
اوج (m^3s^{-1})	۱۰۹/۵۶۷	۰/۵۵۱۶	۶۰/۴۴۱	۱/۲۳۹۸	۴/۷۳۴۸
حجم ($day m^3s^{-1}$)	۲۲۷۱/۶۸	۰/۶۱۸۵	۱۴۰۵/۹۱۲	۰/۹۵۱۲	۴/۵۱۸۲
تداوم (day)	۷۱	۰/۳۵۵۲	۲۵/۲۲۲	-۰/۴۳۳۹	۳/۱۶۵۵

نتایج

محاسبه شاخص‌ها

در این مطالعه ۱۱ تابع توزیع آماری پارامتریک به سه مشخصه دبی اوج، حجم و تداوم سیل سالانه رودخانه مهاباد در دوره آماری ۱۳۸۵-۱۳۴۴ برازش داده شده‌اند. جهت برآورد پارامترهای توزیع‌ها از روش‌های گشتاورها (MOM) و حداکثر درست‌نمایی (MLE) استفاده شده است. به منظور اجرای روش MLE از زبان برنامه‌نویسی GAMS که از قابلیت نسبتاً بالایی برای حل مدل‌های بهینه‌سازی غیرخطی برخوردار است، بهره برده شده و از نتایج حاصل از روش MOM به عنوان مقادیر اولیه جهت اجرای روش MLE استفاده شده است. مقادیر پارامترهای ۱۱ تابع توزیع آماری مربوط به سه مشخصه سیل با استفاده از روش MLE در جدول ۲ درج گردیده است. با مشخص شدن پارامترهای توزیع‌ها و جایگذاری در توابع PDF و CDF، این دو تابع برای ۱۱ توزیع آماری مربوط به سه مشخصه سیل استخراج شده‌اند. با استفاده از توابع PDF نظری و تجربی و همچنین CDF نظری و تجربی، از روابط ۱ الی ۴ و رابطه ۶ مقادیر ۵ معیار آماره KS، خطاها در تابع CDF، خطاها در تابع PDF، خطاها در چولگی و کشیدگی و معیار RMSE برآورد گردیده‌اند. مقادیر این معیارها به همراه ارجحیت ذهنی یکپارچه کارشناسان برای متغیر اوج سیل در جدول ۳ ارائه شده است. با بررسی داده‌های جدول ۳، ملاحظه می‌شود اگر با هر یک از معیارها به صورت مجزا توزیع‌ها رتبه‌بندی شوند، رتبه توزیع‌ها متفاوت خواهند بود. برای مثال، بر اساس معیارهای

KS، $d(A,B)$ و RMSE به ترتیب توزیع‌های WBL3، G2 و LN2 مناسب‌ترین توزیع آماری هستند. بنابراین، انتخاب توزیع بر اساس یک معیار مشابه تحقیقات لایو و همکاران (۲۰۰۹) و حداد و رحمان (۲۰۱۱)، ممکن است منجر به انتخاب مناسب‌ترین توزیع آماری نگردد. لذا جهت انتخاب مناسب‌تر از روش‌های MCDM جهت جمع‌آوری اطلاعات معیارها استفاده می‌شود.

نتایج روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه

جهت استفاده از داده‌های جدول ۳ در دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره SAW و FMA باید داده‌ها نرمال شوند. برای نرمال کردن داده‌های این جدول، از تابع توزیع کوشی مطابق رابطه ۹ استفاده شده است. داده‌های نرمال شده مبنای اجرای دو روش SAW و FMA هست. وزن کارشناسی توزیع‌ها بر اساس اقبالی که محققان به آن‌ها داشته‌اند، تعیین گردیده است. در رابطه ۹ ضریب C برای ۵ معیار آماره کولموگروف-اسمیرنوف، خطاها در تابع CDF، خطاها در تابع PDF، خطاها در چولگی و کشیدگی و RMSE توسط تصمیم‌گیرنده به ترتیب ۵۰، ۲۰۰، ۱۰۰۰۰۰۰، ۰/۵ و ۰/۰۱ تعیین شده است. مقادیر نرمالیزه شده ۵ معیار فوق‌الذکر برای ۱۱ توزیع آماری به همراه وزن کارشناسی توزیع‌ها (t)، ماتریس عملکرد (R) را شکل می‌دهند که دارای ابعاد ۶ در ۱۱ هست. وزن کارشناسی معیارهای بالا مطابق رابطه ۸ به ترتیب به صورت ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۱۵، ۰/۲ و ۰/۱ برآورد شده است. برای تعیین این وزن‌ها از تحقیق وانگ و همکاران (۲۰۰۴) استفاده شده است. از حاصل ضرب دو ماتریس وزن معیارها و عملکرد مطابق رابطه ۱۱، سنجه روش

است. از آنجاکه درجه اهمیت هر تصمیم‌گیرنده در خصوص معیارها نامساوی است، روش اکثریت فازی با کمیت‌سنج «حداقل نصف» با جفت مقدار (۰/۵ و ۰) بر اساس معادله ۱۵ مورد استفاده قرار می‌گیرد، بنابراین بردار وزن معیارها به صورت (۰ ۰/۲ ۰/۴ ۰/۴) به دست می‌آید. سپس بر اساس اطلاعات یکنواخت شده (p_{ij}^k) و بردار وزن معیارها، ماتریس ارجحیت فازی جمعی که دارای ابعاد ۱۱ در ۱۱ است، تعیین می‌شود. با مرتب کردن عناصر سطرهای ماتریس ارجحیت فازی جمعی، ماتریس B مربوط به معادله ۱۴ حاصل می‌شود. به منظور رتبه‌بندی گزینه‌ها، کمیت‌سنج فازی «بیشتر» با جفت مقدار (۰/۸ و ۰/۳) انتخاب و بردار وزن متناظر با استفاده از معادله ۱۵ به صورت (۰ ۰/۱۲۷۳ ۰/۱۸۱۸ ۰/۱۸۱۸ ۰/۱۸۱۸ ۰/۱۸۱۸ ۰ ۰ ۰ ۰/۱۲۷۳ ۰) به دست می‌آید. در نهایت با استفاده از رابطه ۱۶ بردار رتبه‌بندی جمعی توزیع‌ها (C^*) برای سه مشخصه سیل محاسبه و در جدول ۴ درج شده است.

مجموع ساده وزین (H) برای سه مشخصه سیل محاسبه شده و در جدول ۴ درج شده است. با استفاده از این سنج توزیع‌ها رتبه‌بندی می‌شوند. واضح و میرهن است که بالاترین مقدار در بردار H ، مناسب‌ترین توزیع را مشخص می‌کند.

جهت محاسبه سنج روش حاصل ضرب وزنی (M)، از معادله ۱۲ استفاده شده است. داده‌های مورد نیاز جهت برآورد سنج M عبارت‌اند از داده‌های جدول ۳ و وزن کارشناسی معیارها که در بخش قبلی ارائه شده است. این سنج برای سه مشخصه سیل محاسبه و در جدول ۴ آورده شده است. بر اساس این سنج توزیع‌ها رتبه‌بندی شده‌اند. بدیهی است که بالاترین مقدار برترین توزیع را نشان می‌دهد.

در روش FMA با استفاده از داده‌های نرمالیزه شده، شدت ارجحیت گزینه i ام بر گزینه j ام برای معیار k ام از رابطه ۱۳ محاسبه و اطلاعات یکنواخت شده‌اند. با توجه به تعداد معیارها و گزینه‌ها، این اطلاعات به صورت ۵ ماتریس ۱۱ در ۱۱ استخراج شده

جدول ۲- مقادیر پارامترهای توزیع‌ها، برآورد شده برای سه مشخصه اصلی سیل با استفاده از روش بیشینه درست‌نمایی (MLE).

نام توزیع	پارامترها	اوج	حجم	تداوم	نام توزیع	پارامترها	اوج	حجم	تداوم
ویل سه پارامتری	مقیاس (a)	۹۱/۵۰۱	۲۵۴۹/۹۵	۱۴۲/۶۷	پیرسون تیپ ۳	مقیاس (α)	۴۳/۵۰۴	۸۱۴/۷۷	۲/۴۴
	محل (m)	۲۶/۲۲۷	-۷/۸۰۵	-۶۲/۵۷		محل (γ)	۲۳/۴۲۶	-۲۴۱/۶۲	-۱۹۷/۱۹
	شکل (b)	۱/۴۱۲	۱/۶۷۸	۶/۳۳۷		شکل (β)	۱/۹۸	۳/۰۸۵	۱۰۹/۹۴
نرمال	مقیاس (μ)	۱۰۹/۵۶۷	۲۲۷۱/۶۸	۷۱	مقیاس (μ_y)	۴/۵۵۵	۷/۴۹۰	۴/۱۷۳	
	شکل (b)	۶۰/۴۴۱	۱۴۰۵/۹۱	۲۵/۲۲۲	شکل (σ_y)	۰/۵۳۸	۰/۷۸۹	۰/۴۷۶	
لوگ پیرسون تیپ ۳	مقیاس (α)	۰/۰۷۱	۰/۱۱۶	۰/۰۴۴	لوگ نرمال سه پارامتری	مقیاس (μ_y)	۴/۶۸۵	۸/۲۸۱	۴/۷۰۱
	محل (γ)	-۱/۱۴۹	-۲/۴۹۹	-۲/۰۷۶		محل (a)	۱۱/۶۵۵	-۱۸۹۲/۵۶	-۴۲/۱۴
	شکل (β)	۱۱۰/۲۶	۱۴۰/۵۵	۱۴۱/۶۳		شکل (σ_y)	۰/۴۷۴	۰/۳۲۶	۰/۲۴۶
گامای دو پارامتری	مقیاس (α)	۲۹/۶۶۸	۱۰۰۷/۶۸	۱۲/۴۲۰	حدی نوع یک (گامیل)	مقیاس (α)	۴۳/۴۷۸	۱۰۹۵/۳۳	۲۶/۳۱۶
	شکل (β)	۳/۶۹۳	۲/۲۵۴	۵/۷۱۷		شکل (β)	۸۳/۲۱۹	۱۶۳۴/۴۹	۵۸/۰۹۲
لجستیک تعمیم یافته	مقیاس (α)	۳۰/۱۶۴	۷۴۳/۳۷۳	۱۴/۱۱۱	پارتوی تعمیم یافته	مقیاس (α)	۸۲/۶۳۲	۲۲۷۸/۵۱	۱۶۰/۳۵
	محل (ε)	۹۴/۷۹۶	۲۰۲۷/۲۱	۷۳/۴۱۵		محل (ε)	۴۰/۸۸	۴۹۶/۵۵	۰/۹۱۳
	شکل (k)	-۰/۳۵۵	-۰/۲۴۶	۰/۱۲۲		شکل (k)	۰/۱۹۹	۰/۲۸۷	۱/۴۰۵

حدی	مقیاس (α)	۴۰/۴۸۷	۱۰۹۳/۴۰	۲۶/۶۹۹	-	-	-	-
تعمیم یافته	محل (u)	۷۹/۹۷۴	۱۶۳۱/۷۲	۶۴/۳۴۷	-	-	-	-
	شکل (k)	-۰/۱۴۳	-۰/۰۰۵	۰/۴۵۶	-	-	-	-

جدول ۳- مقادیر معیارهای محاسبه شده برای توزیع های منتخب.

نام توزیع	D_{max}	δ_F	δ_f	$d(A,B)$	RMSE	r
نرمال	-۰/۱۰۹۳	-۰/۰۵۱۴	-۰/۰۰۱۴۵	۲/۱۵۱	۱۸/۷۰۲	-۰/۰۳
لوگ نرمال دو پارامتری	-۰/۰۶۶۶	-۰/۰۲۰۴	-۰/۰۰۰۷۱	۴/۲۳۲	۸/۶۳۵	-۰/۱۰
لوگ نرمال سه پارامتری	-۰/۰۵۷۶	-۰/۰۲۰۶	-۰/۰۰۰۵۹	۱/۴۶۱	۹/۹۴۷	-۰/۰۸
پیرسون تیپ ۳	-۰/۰۵۹۶	-۰/۰۲۰۵	-۰/۰۰۰۵۶	۰/۲۳۵	۹/۴۰۵	-۰/۱۳
لوگ پیرسون تیپ ۳	-۰/۰۸۷۸	-۰/۰۲۵۶	-۰/۰۰۰۷۷	۲۱/۵۰۸	۹/۶۷۳	-۰/۱۶
گامای دو پارامتری	-۰/۰۵۴۵	-۰/۰۲۲۹	-۰/۰۰۰۴۷	۰/۰۲۲	۱۲/۰۷۶	-۰/۰۷
حدی نوع یک	-۰/۰۶۳۴	-۰/۰۲۴۷	-۰/۰۰۰۷۵	۰/۰۶۷	۱۳/۳۰۴	-۰/۱۳
حدی تعمیم یافته	-۰/۰۷۰۳	-۰/۰۲۲۴	-۰/۰۰۰۸۰	۱۵/۱۷۳	۸/۹۶۷	-۰/۱۳
پارتوی تعمیم یافته	-۰/۱۸۹۷	-۰/۰۳۰۶	-۰/۰۰۱۵۷	۰/۰۷۲	۱۰/۰۱۸	-۰/۰۵
لجستیک تعمیم یافته	-۰/۰۷۴۱	-۰/۰۲۳۱	-۰/۰۰۰۹۲	۶۴/۸۴۶	۹/۳۶۱	-۰/۰۵
ویبول سه پارامتری	-۰/۰۴۶۰	-۰/۰۱۸۱	-۰/۰۰۰۳۸	۰/۰۴۰	۹/۷۵۷	-۰/۰۷

می‌کند. با قدری تأمل بر روی شکل ۳، ملاحظه می‌شود که PDF نظری توزیع های برتر برای هر سه مشخصه سیل برازش خوبی را با PDF تجربی نشان می‌دهند. شکل ۴ کیفیت برازش توزیع انتخاب شده بر اساس روش های MCDM با داده های مشاهداتی و همچنین حدود اعتماد ۹۰٪ را نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که برای هر سه مشخصه، توزیع برتر برازش مناسبی را به داده های مشاهداتی دارد.

با استفاده از ضریب همبستگی رتبه ای اسپیرمن، همبستگی بین روش ها محاسبه و در جدول ۵ ارائه شده است. داده های جدول نشان می‌دهد که روش ها در سطح بالایی همدیگر را تأیید می‌کنند.

از آنجاکه نتایج عددی سه روش قابل مقایسه نیستند، بر اساس مقادیر سنجها رتبه بندی نهایی توزیع های آماری انجام شده است. بدیهی است که در هر سه روش، توزیعی که بالاترین مقدار سنجها را داراست، مناسب ترین توزیع هست. علی رغم تفاوت سه روش در رتبه بندی توزیع ها، هر سه در تعیین توزیعی که بهترین برازش را به داده های سه مشخصه دارند، یکسان عمل می‌کنند. مطابق داده های مندرج در جدول ۴، به ترتیب توزیع های WBL3، WBL3 و GEV بهترین برازش را به داده های سه مشخصه دبی اوج، حجم و تداوم سیل رودخانه مهاباد نشان می‌دهند. شکل ۳ توابع PDF نظری توزیع های آماری سه مشخصه دبی اوج، حجم و تداوم سیل را با تابع PDF تجربی مقایسه

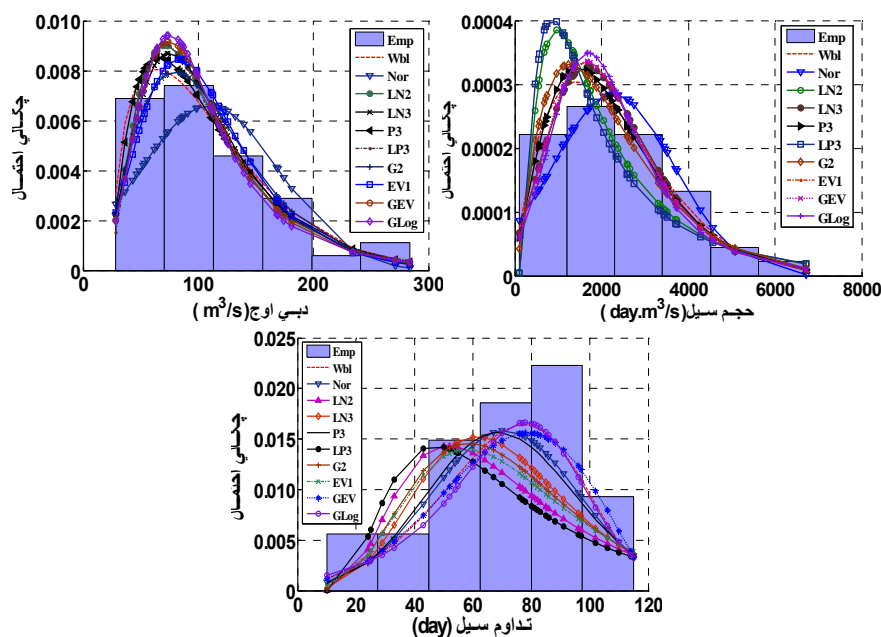
جدول ۴- مقادیر سنجها و رتبه توزیع های آماری با استفاده از روش های SAW، WPM و FMA برای سه مشخصه سیل.

نام توزیع آماری	اوج			حجم			تداوم		
	SAW	WPM	FMA	SAW	WPM	FMA	SAW	WPM	FMA
نرمال	۰/۴۸۶(۱۱)	۳/۲۶(۱۰)	-۰/۳۲۱(۱۰)	۰/۷۱۹(۷)	۶/۹۰(۸)	۰/۴۸۲(۷)	۰/۸۱۹(۴)	۶/۷۸(۴)	۰/۵۲۷(۵)

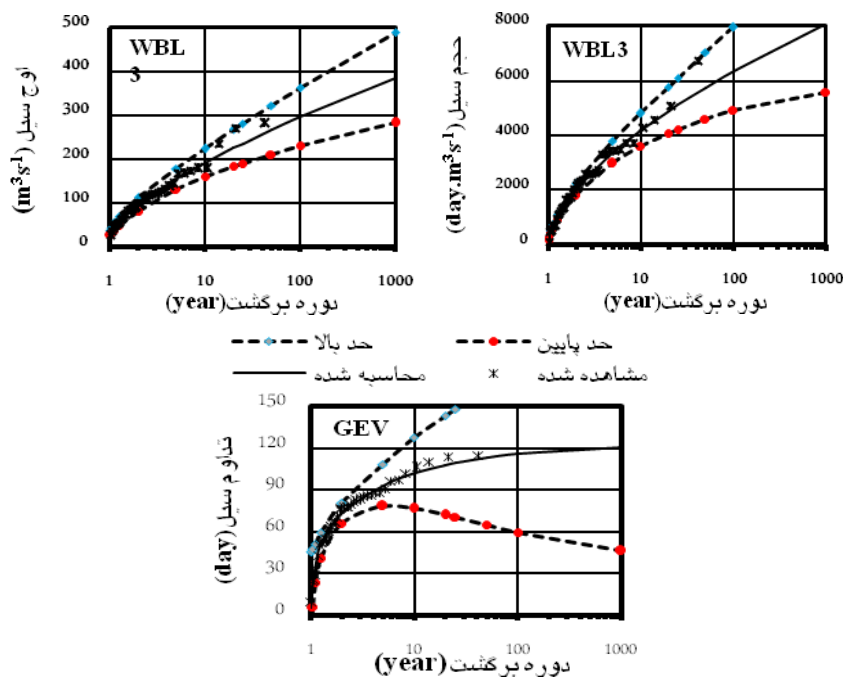
۰/۳۵۱(۱۰)	۰/۱۷(۱۱)	۰/۵۲۵(۱۱)	۰/۳۵۲(۱۰)	۰/۳۶(۱۱)	۰/۵۱۱(۱۱)	۰/۵۰۲(۵)	۵/۷۹(۷)	۰/۶۵۲(۶)	لوگ نرمال دو پارامتره
۰/۴۳۸(۷)	۳/۵۸(۶)		۰/۵۲۴(۲)	۹/۶۹(۲)	۰/۸۱۱(۲)	۰/۵۲۱(۴)	۶/۸۲(۵)	۰/۷۲۳(۵)	لوگ نرمال سه پارامتره
۰/۵۴۲(۴)	۹/۰۹(۳)	۰/۸۵۲(۲)	۰/۴۵۱(۸)	۸/۳۲(۶)	۰/۷۶۸(۶)	۰/۵۲۳(۳)	۹/۶۳(۴)	۰/۸۰۷(۳)	پیرسون تیپ سه
۰/۵۲۱(۶)	۳/۱۹(۹)	۰/۶۸۲(۷)	۰/۳۵۷(۹)	۰/۶۱(۱۰)	۰/۵۳۳(۱۰)	۰/۴۶۳(۹)	۴/۲۰(۹)	۰/۶۱۰(۹)	لوگ پیرسون تیپ سه
۰/۴۱۲(۸)	۳/۳۰(۷)	۰/۶۲۵(۸)	۰/۵۲۲(۳)	۸/۹۶(۴)	۰/۸۱۰(۳)	۰/۵۳۱(۲)	۱۲/۶۱(۲)	۰/۸۰۷(۲)	گامای دو پارامتره
۰/۳۸۶(۹)	۰/۸۱(۱۰)	۰/۵۵۲(۱۰)	۰/۵۱۷(۴)	۹/۰۶(۳)	۰/۸۰۹(۵)	۰/۴۹۵(۶)	۹/۷۶(۳)	۰/۷۶۴(۴)	حدی نوع یک
۰/۵۴۵(۱)	۰/۷۲(۱)	۰/۸۵۸(۱)	۰/۵۱۶(۵)	۸/۹۴(۵)	۰/۸۰۹(۴)	۰/۴۸۶(۷)	۴/۶۳(۸)	۰/۶۲۳(۷)	حدی تعمیم یافته
۰/۲۸۸(۱۱)	۳/۲۷(۸)	۰/۵۹۹(۹)	۰/۳۴۸(۱۱)	۵/۴۵(۹)	۰/۶۳۳(۹)	۰/۲۸۰(۱۱)	۶/۵۰(۶)	۰/۶۱۶(۸)	پارتوی تعمیم یافته
۰/۵۴۳(۳)	۴/۹۷(۵)	۰/۷۲۲(۶)	۰/۵۰۴(۶)	۷/۰۶(۷)	۰/۶۵۱(۸)	۰/۴۶۹(۸)	۳/۲۲(۱۱)	۰/۵۹۶(۱۰)	لجستیک تعمیم یافته
۰/۵۴۴(۲)	۰/۳۵(۲)	۰/۸۵۰(۳)	۰/۵۴۹(۱)	۰/۷۰(۱)	۰/۸۳۷(۱)	۰/۵۵۱(۱)	۱۳/۴۸(۱)	۰/۸۳۸(۱)	ویبول سه پارامتره

جدول ۵- مقادیر ضریب همبستگی رتبه‌ای بین روش‌های MCDM.

مشخصه	اوج	حجم	تداوم
SAW, WPM	۰/۹۵۴۵	۰/۹۶۳۶	۰/۹۵۴۵
SAW, FMA	۰/۹۰۹۱	۰/۹۳۶۴	۰/۸۸۱۸
WPM, FMA	۰/۷۹۰۹	۰/۹۱۸۲	۰/۸۷۲۷



شکل ۳- مقایسه برترین توابع چگالی احتمال مشخصه‌های دبی اوج، حجم و تداوم سیل نظری با تابع چگالی احتمال تجربی رودخانه مهاباد.



شکل ۴- مقادیر مشاهداتی و محاسباتی با مناسب‌ترین توزیع آماری و حدود اعتماد ۹۰٪ برای سه مشخصه سیل رودخانه مهاباد.

تحلیل حساسیت

در صورت تغییر تعداد معیارها به ۵ معیار یا کمتر، در بیشتر موارد رتبه‌بندی توزیع‌ها تغییر خواهد کرد. به طوری که حذف معیار $d(A,B)$ بیشترین تغییر را در رتبه‌بندی سه روش ایجاد می‌کند. نتایج نشان داد در دو روش قطعی SAW و WPM می‌توان معیار RMSE را حذف کرد، بدون این‌که تغییری در رتبه‌بندی توزیع‌ها ایجاد شود و در روش FMA در صورت حذف معیار δ_r ، هیچ تغییری در رتبه‌بندی توزیع‌ها ایجاد نمی‌شود. در صورت حذف دو معیار یا بیشتر، در تمامی موارد رتبه‌بندی توزیع‌ها تغییر می‌کند و نتایج مطلوب حاصل نمی‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه ۱۱ تابع توزیع آماری رایج در هیدرولوژی بر اساس چندین معیار که از اطلاعات CDF و PDF به صورت توأم استفاده می‌کنند، با استفاده از سه روش ارزیابی چندمعیاره شامل روش‌های SAW، WPM و FMA رتبه‌بندی شده‌اند. مناسب‌ترین تابع توزیع آماری برای سه مشخصه دبی اوج، حجم و

تحلیل حساسیت نتایج با تغییر وزن‌های در نظر گرفته شده برای معیارها و گزینه‌ها و همچنین تغییر تعداد معیارهای لحاظ شده در فرایند تصمیم‌گیری انجام گردید. به دلیل حجم بالای اطلاعات، از آوردن همه‌ی اطلاعات صرف‌نظر گردید. در ادامه تنها به بخشی از اطلاعات مربوط به متغیر اوج سیل اشاره می‌شود. نتایج نشان داد که روش‌ها حساسیت کمی به تغییر وزن معیارها و گزینه‌ها دارند. برای مثال در صورتی که وزن گزینه‌ها و معیارها یکسان در نظر گرفته شود، در روش SAW رتبه‌های دو توزیع GEV و GPAR به ترتیب از ۷ و ۸ به ۸ و ۷ و در روش WPM رتبه‌های دو توزیع EV1(2) و PE3 به ترتیب از ۳ و ۴ به ۴ و ۳ تغییر می‌کند. در روش FMA در صورتی که تصمیم‌گیرنده اهمیت یکسانی برای معیارها و گزینه‌ها در نظر بگیرد (تصمیم‌گیرنده خنثی) تغییرات نسبتاً بیشتر خواهد بود، اما سه رتبه برتر که مربوط به سه توزیع WBL3، G2 و PE3 هست، ثابت می‌ماند.

نیازی به تعیین وزن معیارها و گزینه‌ها به صورت عددی ندارد و برای تعیین آن‌ها از کمیت سنج‌های زبانی استفاده می‌نماید. این امر می‌تواند منجر به کاهش عدم قطعیت در انتخاب مناسب‌ترین توزیع آماری گردد. محققان دیگر نیز به برتری روش مبتنی بر عملگر OWA در مقایسه با روش‌های کلاسیک نظیر SAW و CP اذعان داشته‌اند. طبق مطالعات ضرغامی و همکاران (۱۳۸۶)، میان‌آبادی و افشار (۱۳۸۷) و ضرغامی و احسانی (۱۳۹۰)، روش مبتنی بر عملگر OWA موفقیت چشم‌گیری در مسائل مختلف تصمیم‌گیری مدیریت منابع آب داشته است. روش WPM که کمتر مورد توجه محققان منابع آب قرار گرفته است، از دو مزیت مهم سادگی و عدم نیاز به نرمال کردن برخوردار است و در ضمن نتایج این روش قابل‌مقایسه با نتایج روش‌های دیگر است.

مطابق نتایج تحلیل حساسیت روش‌های MCDM، ملاحظه می‌گردد که حساسیت روش‌ها به تغییر وزن معیارها و گزینه‌ها نسبتاً کم و حساسیت نسبت به تغییر تعداد معیارها نسبتاً بالا است. نتایج تحلیل حساسیت مؤید این واقعیت است که برای انتخاب مناسب‌ترین توزیع احتمالاتی، استفاده از حداقل چهار معیار ضروری است.

از آنجاکه سه مشخصه سیل به صورت دوجه‌دو وابستگی معنی‌داری با همدیگر دارند، تحلیل فراوانی چند متغیره می‌تواند راهکار مناسب‌تری باشد. از نتایج حاصل از این مطالعه می‌توان جهت تحلیل فراوانی سیل سه متغیره استفاده کرد.

تداوم سیل داده‌های رودخانه مهاباد انتخاب شده است. علی‌رغم تفاوت سه روش در رتبه‌بندی توزیع‌ها، نتایج هر سه روش در تعیین مناسب‌ترین توزیع یکسان است. توزیع‌های احتمالاتی WBL3، WBL3 و GEV به ترتیب بهترین برازش را برای سه مشخصه دبی اوج، حجم و تداوم سیل نشان می‌دهند. این نتایج در خصوص توزیع WBL توسط مهدی و آشکار (۲۰۰۴) و اسکالانت (۲۰۰۷) و در خصوص توزیع GEV توسط اسکالانت (۲۰۱۱) تأیید شده است. با قدری تأمل بر روی نتایج، مشخص می‌شود که توزیع‌های منتخب برای سه مشخصه سیل را توزیع‌های مقادیر حدی تشکیل می‌دهند. توزیع‌های انتخاب شده با اقلیم نیمه‌خشک منطقه که در آن جریان رودخانه‌ها تغییرات نسبتاً شدیدی دارند، سازگار می‌باشند. موشخیان (۱۳۹۱) نیز نشان داد که بیشتر توزیع‌های منتخب برای اقلیم نیمه‌خشک خراسان رضوی که با اقلیم حوضه آبریز رودخانه مهاباد مشابهت دارد، توزیع‌های مقادیر حدی هستند.

وابستگی رتبه‌بندی روش‌ها با استفاده از ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد که سه روش در حد بالایی همدیگر را تأیید می‌کنند. ضرغامی و احسانی (۱۳۹۰) نیز استفاده از این ضریب را جهت تعیین وابستگی رتبه روش‌های MCDM مفید دانستند. در مقایسه روش‌های MCDM با قطعیت نمی‌توان گفت کدام روش بر دیگران برتر است، اما به نظر می‌آید روش FMA (که مبتنی بر عملگر OWA است) در مقایسه با روش‌های SAW و WPM برتر باشد. زیرا در این روش تصمیم‌گیرنده

منابع مورد استفاده

اسلامیان س س و سلطانی کوپائی س، ۱۳۸۱. تحلیل فراوانی سیل (ترجمه). انتشارات ارکان، چاپ اول.
امیری ف و سعادت‌فر ا، ۱۳۹۰. کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در انتخاب مناسب‌ترین توزیع فراوانی برای پیش‌بینی حداکثر لحظه‌ای سیلاب. فصل‌نامه مهندسی آبیاری و آب، سال ۱، شماره ۴، صفحه‌های ۴۶ تا ۵۹.

- بی‌نام، ۱۳۷۰. مروری بر ضوابط و استانداردهای انتخاب سیلاب‌های طراحی سدها. شرکت مدیریت منابع آب ایران، نشریه شماره ۹۴-الف، ۸۲ صفحه.
- صفاری ن و ضرغامی م، ۱۳۹۲. تخصیص بهینه منابع آب سطحی حوضه دریاچه ارومیه به استان‌های ذینفع با روش‌های تصمیم‌گیری فاصله محور. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۳، شماره ۱، صفحه‌های ۱۳۵ تا ۱۴۹.
- ضرغامی م، اردکانیان ر و مدرس یزدی م، ۱۳۸۶. اولویت‌بندی طرح‌های انتقال بین حوضه‌ای آب با استفاده از عملکرد میانگین وزنی مرتب شده استقرایی. مجله علمی پژوهشی شریف، شماره ۳۷، صفحه‌های ۹۹ تا ۱۰۹.
- ضرغامی م و احسانی ا، ۱۳۹۰. ارزیابی روش‌های مختلف تصمیم‌گیری گروهی چندمعیاره در انتخاب طرح‌های انتقال آب به حوضه دریاچه ارومیه. مجله تحقیقات منابع آب، سال ۷، شماره ۲، صفحه‌های ۱ تا ۱۴.
- فرج‌زاده اصل م، ۱۳۹۱. بررسی خطر سیل‌خیزی در زیر حوضه‌های استان آذربایجان غربی. مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۱، صفحه‌های ۵۹ تا ۶۸.
- مشایخی ت، ۱۳۸۰. بررسی سیل‌های تاریخی کشور. کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، نشریه شماره ۳۸، ۸۹ صفحه.
- میان‌آبادی ح و افشارع، ۱۳۸۷. تصمیم‌گیری چندشاخصه در رتبه‌بندی طرح‌های تامین آب شهری. مجله آب و فاضلاب، شماره ۶۶، صفحه‌های ۳۴ تا ۴۵.
- موشخیان ی، ۱۳۹۱. توسعه مدل‌های منطقه‌ای برآورد دبی سیلابی و آبدهی سالانه در حوضه‌های آبخیز منتخب استان خراسان رضوی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- Anonymous, 2003. Water for People, Water for Life. The United Nations World Water Development Report. UNESCO, Paris.
- Chiclana F, Herrera F and Herrera VE, 1998. Integrating three representation models in fuzzy multipurpose decision making based on fuzzy preference relations. *Fuzzy Sets and Systems* 97: 33-48.
- Duckstein L, Bobee B and Ashkar F, 1991. A multiple criteria decision modeling approach to selection of estimation techniques for fitting extreme floods. *Stochastic Hydrology and Hydraulics* 5: 227-238.
- Escalante C, 2007. Application of bivariate extreme value distribution to flood frequency analysis: a case study of Northwestern Mexico. *Natural Hazards* 42: 37-46.
- Escalante C and Raynal J, 2011. Trivariate generalized extreme value distribution in flood frequency analysis. *Hydrological Sciences Journal* 53(3): 550-567.
- Ghorbani MA, Ruskeep AH, Singh VP and Sivakumar B, 2009. Flood frequency analysis using Mathematica. *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences* 33: 1-18.
- Haddad K and Rahman A, 2011. Selection of the best fit flood frequency distribution and parameter estimation procedure: a case study for Tasmania in Australia. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 25(3): 415-428.
- Hassanzadeh Y, Abdi A, Talatahari S and Sing VP, 2010. Meta-Heuristic algorithms for hydrologic frequency analysis. *Water Resources Management* 25: 1855-1879.
- Kahraman G, Birgun S and Yenen VZ, 2008. Fuzzy multi-attribute scoring methods with applications. Pp. 187-208, In: Kahraman G, (Ed). *Fuzzy Multi-Criteria Decision Making*. Springer Science.
- Karamouz M, Zahraei B and Kerachian R, 2003. Development of a master plan for water pollution control using MCDM techniques: a case study. *Water International* 28(4): 478-490.
- Karmakar S and Simonovic SP, 2008. Bivariate flood frequency analysis. Part ۱: Determination of marginals by parametric and nonparametric techniques. *Journal of Flood Risk Management* 1: 190-200.
- Kentel E and Aral MM, 2007. Fuzzy multiobjective decision-making approach for groundwater resources management. *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE 12(2): 206-217.
- Laio F, Baldassarre GD and Montanari A, 2009. Model selection techniques for the frequency analysis of hydrological extremes. *Water Resources Research* 45(7): 1-11, W07416.
- Mahdi S and Ashkar F, 2004. Exploring generalized probability weighted moments, generalized moments and maximum likelihood estimating methods in two-parameter Weibull model. *Journal of Hydrology* 285(1-4): 62-75.
- Mcphee J and Yeh WW-G, 2004. Multiobjective optimization for sustainable groundwater management in semiarid regions. *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE 130(6): 490-497
- Mohammadpour O, Hassanzadeh Y, Khodadadi A and Saghafian B, 2014. Selecting the best flood flow frequency model using multi-criteria group decision-making. *Water Resources Management* 28: 3957-3974

- Nijssen D, Schumann A, Pahlow M and Klein B, 2009. Planning of technical flood retention measures in large river basins under consideration of imprecise probabilities of multivariate hydrological loads. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 9(4): 1349–1363.
- Rahman AS, Rahman A, Zaman MA, Haddad K, Ahsan A and Imteaz M, 2013. A study on selection of probability distributions for at-site flood frequency analysis in Australia. *Natural Hazards* 69(3): 1803-1813
- Shabri A and Jemain AA, 2006. Application of multi criteria method to identify the best fit statistical distribution. *Journal of Applied Science* 6(4): 926-932.
- Shiau JT, Wang HY and Tsai CT, 2006. Bivariate frequency analysis of floods using copulas. *Journal of American Water Resources Association* 42(6): 1549–1564.
- Wang Y, Richard CM and Ming JZ, 2004. A multi-criterion evaluation approach to selection of the best statistical distribution. *Computers and Industrial Engineering* 47: 165-180.
- Yilmaz B and Harmancioglu NB, 2010. Multi-Criteria decision making for water resource management: A case study of the Gediz Basin, Turkey. *Water SA* 36(5): 563-576.
- Zarghami M and Szidarovszky F, 2010. On the relation between compromise programming and ordered weighted averaging operator. *Information Sciences* 180(11): 2239-2248.