



## Estimation of flood in the catchment area of reservoir dams using a multi-criteria decision-making system (Case study of Kermanshah Province)

Naser Farzi<sup>1</sup> , Ali Mohammad Akhundali<sup>2</sup> , Mohammad Reza Sharifi<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> PhD student of Water Management, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: nfarzi6@gmail.com

<sup>2</sup> Corresponding Author, Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: aliakh@scu.ac.ir

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz. E-mail: msharifi@scu.sc.ir

### ABSTRACT

#### Introduction

Undoubtedly, floods can be considered as one of the most effective natural hazards that cause many human and financial losses every year. A flood is defined as an overflow of water or its overflow in a river or spring, which is a threat to the life and property of residents near these sources. In simpler terms, any relatively high flow that impinges on natural or artificial banks in any direction of a stream is called a flood.

#### Methodology

In this research, the effective criteria related to the estimation of flood design discharge in reservoir dams in 17 in Kermanshah province were identified and prioritized, and then in order to review and analyze the effective factors in estimating the flood estimation separately for each reservoir dam, were evaluated using 8 different multivariate decision-making methods. Considering the large number of studied dams the four hydrological agents and comprehensive options such as design flood estimation in connection with the occurrence of hydrological events in the area by human origin, with natural origin, the quantity and quality of information and hydrometeorological data and the limitations of methods (statistical, experimental, models) were selected and prioritized with SAW, AHP, FAHP, VIKOR, TOPSIS, FTOPSIS, PROMETEE, Electre III methods. Based on the mentioned 8 methods, 22 criteria involved in estimating the flood yield of 17 reservoir dams were ranked.

#### Results and discussion

In the SAW method, experimental methods with 6 rank 1, statistical methods with 5 rank 1 and physiographic parameters with 2 rank 1 are the most important effective criteria in estimating the flood entering the reservoirs of dams studied in this research. In the AHP method, hydrometric stations and the true limit of the basin were the most important effective criteria with 5 and 3 ranks, respectively. In the FAHP method, experimental methods with 6 and statistical methods with 5 ranks were recognized as two important criteria. In TOPSIS method, statistical methods, physiographic parameters and conversion of maximum flow to maximum instantaneous flow rate each with 1 first rank, and Fuzzy TOPSIS experimental methods, statistical methods and conversion of maximum flow rate to instantaneous flow rate with 6, 4 and 2 first rank respectively. In ViKor's method, only experimental methods have 1 rank. In the Electra method, the criteria of meteorological stations, the true limit of the watershed and experimental methods were evaluated as effective criteria with 1 rank. Finally, in the PROMETHEE method, only the experimental method with one item was ranked 1 rank.

#### Conclusions

The results showed that more than 76% of the dams have priority in the option of conditions and limitations of flood estimation methods (statistical, experimental, model, etc.) and 24% have problems in the option of quantity and quality and water and meteorological information.. The option that has more frequency than other option of the conditions and limitations of the flood estimation method (V4) of each reservoir dam. Based on the review of documents and documents of flood analysis and achieving the design flood in the studies of the first and second stages of reservoir dams of the studied dams, this conclusion is confirmed, in the statistical methods, the length of the statistical period is low and the frequency distribution function is not recognized properly. In addition, the use of experimental methods, which are mainly applied without recalibration of relevant coefficients and without necessary precautions and checks, is one of the weaknesses of flood estimation.

**Keywords:** overflow flood discharge, maximum possible rainfall, maximum possible flood, multi-criteria decision making, reservoir dams

**Article Type:** Research Article

**Article history:** Received: 19 September 2023 Revised: 22 November 2023 Accepted: 15 December 2023 ePublished: 15 December 2023

**Cite this article:** Farzi, N., Akhundali, A.M., & Sharifi, M.R. (2023). Estimation of flood in the catchment area of reservoir dams using a multi-criteria decision-making system (Case study of Kermanshah Province), *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 3(3), 88-108. DOI: 10.22126/atwe.2023.9625.1060





## بر آورد سیلاب در حوضه آبریز سدهای مخزنی با استفاده از سیستم تصمیم گیری چندمعیاره ( مطالعه موردی استان کرمانشاه )

ناصر فرضی<sup>۱</sup>، علی محمد آخوند علی<sup>۲</sup>، محمدرضا شریفی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: nfarzi6@gmail.com

<sup>۲</sup> نویسنده مسئول، استاد دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: aliakh@scu.ac.ir

<sup>۳</sup> دانشیار دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: msharifi@scu.ac.ir

### چکیده

در این پژوهش معیارهای مؤثر در ارتباط با تخمین دبی طراحی سرریز در سدهای مخزنی در ۱۷ سد مخزنی در استان کرمانشاه شناسایی و اولویت بندی گردید و پس از آن به منظور بررسی و تحلیل گزینه های مؤثر در تخمین سیلاب طراحی به تفکیک هر سد مخزنی، گزینه های مختلف با استفاده از ۸ روش مختلف تصمیم گیری چندمتغیره ارزیابی گردید. با توجه به گستردگی تعداد سدهای مورد مطالعه و اهمیت آب شناختی گزینه های مهم و فراگیری همچون تخمین سیلاب طراحی در ارتباط با وقوع اتفاق های هیدرولوژیکی در حوزه با منشأ انسانی، با منشأ طبیعی، کمیت و کیفیت اطلاعات و داده های آب و هواشناسی و محدودیت روش ها (آماري، تجربی، مدل ها) انتخاب و با روش های روش های ۸ گانه گفته شده ۲۲ معیار دخیل در برآورد آورد سیلابی ۱۷ سد مخزنی مورد مطالعه رتبه بندی گردید. در روش SAW، AHP، FAHP، VIKOR، TOPSIS، FTOPSIS، PROMETEE، Electre III بر اساس روش های ۸ گانه گفته شده ۲۲ معیار دخیل در برآورد آورد سیلابی ۱۷ سد مخزنی مورد مطالعه رتبه بندی گردید. در روش SAW روش های تجربی با ۶ رتبه یک، روش های آماری با ۵ رتبه یک و پارامترهای فیزیوگرافی با ۲ رتبه یک مهم ترین معیارهای اثرگذار در برآورد سیلاب ورودی به مخازن سدهای مورد مطالعه در این تحقیق است. در روش AHP ایستگاه های هیدرومتری و حد حقیقی حوضه به ترتیب با ۵ و ۳ رتبه یک مهم ترین معیارهای مؤثر بودند. در روش FAHP روش های تجربی با ۶ و روش های آماری با ۵ رتبه یک دو معیار مهم تشخیص داده شدند. در روش تاپسیس روش های آماری، پارامترهای فیزیوگرافی و تبدیل دبی حداکثر به حداکثر لحظه ای هرکدام با ۱ رتبه یک و تاپسیس فازی روش های تجربی، روش های آماری و تبدیل دبی حداکثر به دبی لحظه ای به ترتیب با ۶، ۴ و ۲ رتبه یک اصلی ترین معیارهای ارزیابی شناخته شدند. در روش ویکور فقط روش های تجربی دارای ۱ رتبه یک شد. در روش الکترو نیز معیارهای ایستگاه های هواشناسی، حد حقیقی حوضه و روش های تجربی هرکدام با ۱ رتبه یک به عنوان معیارهای مؤثر ارزیابی شدند. نهایتاً در روش پرمته فقط روش تجربی حائز یک مورد رتبه ۱ گردید. نتایج نشان داد بیش از ۷۶ درصد از سدها در گزینه شرایط و محدودیت های روش های تخمین سیلاب (آماري، تجربی، مدل و ...) اولویت داشته و ۲۴ درصد در گزینه کمیت و کیفیت و اطلاعات آب و هواشناسی با مشکل مواجه اند.

**واژه های کلیدی:** دبی سیلابی سرریز، حداکثر بارش محتمل، حداکثر سیلاب محتمل، تصمیم گیری چندمعیاره، سدهای مخزنی

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۲۸ شهریور ۱۴۰۲ اصلاح: ۰۱ آذر ۱۴۰۲ پذیرش: ۲۴ آذر ۱۴۰۲ چاپ الکترونیکی: ۲۴ آذر ۱۴۰۲

**استناد:** فرضی، ن، آخوند علی، م.ع، شریفی، م.ر. (۱۴۰۲). برآورد سیلاب در حوضه آبریز سدهای مخزنی با استفاده از سیستم تصمیم گیری چندمعیاره ( مطالعه موردی استان کرمانشاه )، فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، (۳)، ۸۸-۱۰۸، شناسه دیجیتال: 10.22126/atwe.2023.9625.1060



## مقدمه

بدون شک سیلاب را می‌توان در زمره یکی از مخاطرات طبیعی اثرگذاری دانست که هرساله خسارات جانی و مالی فراوانی را به بار می‌آورد. سیل را طغیان آب یا سرریز آن در یک رودخانه یا چشمه تعریف می‌کنند که تهدیدی برای جان و اموال ساکنان نزدیک به این منابع است. به عبارتی ساده‌تر، هر جریان نسبتاً بالایی که بر روی سواحل طبیعی یا مصنوعی (به‌عنوان مثال، خاک‌ریزها) در هر مسیری از یک جریان قرار گیرد را می‌توان سیل نامید (بابروسکی<sup>۱</sup>، ۲۰۱۳). سیلاب‌ها معمولاً زمانی رخ می‌دهند که در اثر بارش شدید در زمان کوتاه کانال‌های رودخانه‌ای و نواحی ساحلی ظرفیت نگهداشت آب اضافی را ندارند و شدت بارش فراتر از حد جذب خاک است. در چنین حالتی آب در دشت سیلابی یا در نواحی خارج از بستر رودخانه پخش شده و با توجه به قدرت تخریب آن می‌تواند هر چیزی را با خود حمل کرده و در بخش‌هایی از مسیر تبدیل به جریان‌های سنگین حاوی مواد معلق و جریان‌های خرده دار (دبری فلو) گردد. از آنجایی که سیل‌ها می‌توانند حجم زیادی از رسوبات و زباله‌ها را منتقل کنند، اغلب با رانش زمین، گل‌ولای و جریان زباله همراه هستند.

عوامل مختلفی در ایجاد سیل نقش دارند، تغییرات اقلیمی منتج از گرمایش جهانی اثرات مختلفی از جمله ریسک سیل به‌ویژه در مناطق آسیب‌پذیر را افزایش می‌دهد (فخری و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۲؛ نوری و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۴؛ عبدالحسینی و فرزانه<sup>۴</sup>، ۲۰۱۴؛ وینگ و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۸؛ لایکانگبام و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۱۹).

در این میان بارش و ذوب برف از مهم‌ترین عوامل رخداد سیلاب است. در مناطقی که دوره‌های طولانی دمای زیر صفر وجود ندارد، سیل معمولاً در فصلی که بیشترین بارندگی وجود دارد رخ می‌دهد. در مناطقی که سیل ناشی از ذوب برف است، سیلاب در فصول بهار و اوایل تابستان رخ می‌دهد که اغلب با بارندگی شدید همراه است. علل دیگری همچون ایجاد موانع در مسیر رودخانه و معابر آنها به دلیل سازه‌های طبیعی یا ساخته دست بشر (به‌عنوان مثال پل‌ها و سرریزها)، شکست ناگهانی سد و ذوب سریع برف در حوضه آبریز می‌توانند موجب تشکیل سیلاب شوند (یونسکو<sup>۷</sup>، ۲۰۰۱). با این‌همه، سیلاب‌ها منابع عظیمی از آب هستند که در صورت مدیریت مناسب آن‌ها می‌توان هم از خسارات مالی و جانی جلوگیری کرد و هم می‌توان حجم زیادی آب در مخازن سطحی همچون سدهای بزرگ را ذخیره کرد. قبل از احداث هر سد بزرگ مطالعات مختلفی برای برآورد جریان و عوامل مؤثر بر آن انجام می‌گیرد (فرضی و همکاران، ۱۴۰۲). یکی از مهم‌ترین مسائل مرتبط با طراحی سرریز در سدهای مخزنی ارزیابی حداکثر سیلاب محتمل<sup>۸</sup> یا PMF است. PMF هیدروگرافی است که نشان‌دهنده شرایط حداکثر روانایی است که در اثر وقوع حداکثر بارش محتمل<sup>۹</sup> یا PMP رخ می‌دهد (استاندارد USBR، ۱۹۸۷). ارزیابی سیلاب مستلزم وجود و یا استخراج داده‌های مناسب است. در برآورد روش‌های آورد (دبی) طراحی سرریز سدهای مخزنی با توجه به کمی طول دوره آماری و حتی در صورت تحویل داده‌ها گاهی ماندگاری<sup>۱۰</sup> اثرات داده‌ای حفظ‌شده و موجب عدم قطعیت در ارزیابی نهایی می‌گردد. روش‌های استفاده PMP و دستیابی به PMF به دلیل عدم وجود داده‌های ناکافی با نتایج غیرقابل‌اعتماد باعث بازه وسیع با نتایج متفاوت می‌گردد. از طرفی با توجه به اینکه احتمال وقوع سیلاب‌های بزرگ در دوره بهره‌برداری سد، پایین است در محاسبات آبدی طراحی سرریز به خاطر اطمینان بیشتر (بخصوص در سدهای خاکی) این برآورد را

<sup>1</sup> Bobrowsky

<sup>2</sup> Fakhri et al

<sup>3</sup> Nuri et al

<sup>4</sup> Abdolhosseini & Farzaneh

<sup>5</sup> Wing et al

<sup>6</sup> Laikangbam et al

<sup>7</sup> UNESCO

<sup>8</sup> probable maximum flood (PMF)

<sup>9</sup> Probable maximum precipitation (PMP)

<sup>10</sup> Persistence

دست بالا می‌گیرند که اثرات غیرواقعی در ابعاد سازه آبی از جمله ابعاد سرریز و سازه‌های انحراف آب خواهد داشت و موجب اتلاف وقت و افزایش هزینه‌های طرح می‌گردد.

سیلاب‌های تاریخی نشان می‌دهند که عدم به‌کارگیری یک سیستم جامع برای ارزیابی آبدهی طراحی سیلاب‌ها در سدهای مخزنی و نادیده گرفتن معیارهای مختلف مؤثر در طراحی مانند حد واقعی حریم و بستر و بهره‌برداری از بالادست و پایین‌دست سد مخزنی می‌تواند خسارات فراوانی در کنترل سیلاب توسط سازه‌های احداثی را به همراه آورد؛ بنابراین استفاده از یک سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره که بتواند عوامل مؤثر در محاسبات مربوط به سیلاب را توأمان تحلیل نماید می‌تواند به بسیاری از مجهولات پاسخ داده و تصمیم‌گیری نهایی را با اطمینان بیشتری همراه سازد.

### مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مقالات متعددی درباره استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیار در ارزیابی سیلاب و پهنه‌بندی ریسک آن انجام شده است مانند جعفری و همکاران (۱۴۰۱)؛ مابروک و هاوینگ<sup>۱</sup> (۲۰۲۳)؛ موسوی و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۲۲)؛ آکای<sup>۳</sup> (۲۰۲۱)؛ سوسی و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۲۰) و لوی (۲۰۰۵). این روش‌ها با استفاده از معیارهای مختلف تصمیم‌گیران و برنامه ریزان را برای حل مشکلات مرتبط با خطرات سیلاب یاری می‌رسانند. انواع مختلفی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیار وجود دارد که شناخته‌شده‌ترین آن تحلیل سلسله مراتبی AHP است که بر مبنای تجارب کارشناسی و اوزان معیارهای مختلف انجام می‌گردد (طاهری و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۲۰؛ طاهری و همکاران، ۲۰۱۵). استفاده از روش‌های دیگر تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند SAW, FAHP, VIKOR, TOPSIS, FTOPSIS, PROMETEE, ElectreIII در مباحث مختلف مدیریت منابع مرسوم است (فرضی و همکاران، ۱۴۰۲). هدف از این پژوهش برآورد سیلاب در حوضه آبریز سدهای مخزنی با استفاده از سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره است. برای این کار آمار و اطلاعات ۱۷ سد مخزنی در استان کرمانشاه در ارتباط با معیارهای مرتبط با مطالعات سیلاب و دبی طراحی سرریز شناسایی و به روش‌های شناخته‌شده تصمیم‌گیری چندمتغیره با روش‌های جمع ساده وزنی، تحلیل سلسله مراتبی، تحلیل سلسله مراتبی فازی، ویکور، تاپسیس، تاپسیس فازی، الکتراه و پرومته این معیارها به تفکیک هر سد مخزنی اولویت‌بندی می‌گردد.

### روش پژوهش

#### روش بررسی

در شکل (۱) عوامل مؤثر بر تخمین سیلاب طراحی در سدهای مخزنی ارائه شده است. این عوامل را می‌توان به دو دسته کنترل‌پذیر و کنترل‌ناپذیر تقسیم کرد. عوامل کنترل‌ناپذیر شامل تغییرات آب و هوایی و نوع و کمیت و کیفیت بارش و سیستم حوضه است. ذخایر برفی و پارامترهای فیزیوگرافی نیز در این دسته قرار می‌گیرند با این حال می‌توانند از اثرات انسانی نیز تأثیرپذیری داشته باشند. عوامل کنترل‌پذیر توسط عوامل سازه‌ای و انسانی کنترل می‌شوند و طیف وسیعی به شرح شکل (۱) را در برمی‌گیرند.

<sup>1</sup> Mabrouk & Haoying

<sup>2</sup> Mousavi et al

<sup>3</sup> Akay

<sup>4</sup> Souissi et al

<sup>5</sup> Taheri et al



شکل ۱. عوامل و معیارهای مؤثر در مطالعه سیلاب طرح سدهای مخزنی

در بسیاری از پروژه‌ها با استفاده از روش‌های تجربی تبدیل بارش به رواناب و در قالب کاربرد مدل‌های شناخته‌شده‌ای همچون هکراس<sup>۱</sup> برای طراحی سیلاب سرریز سدهای مخزنی استفاده می‌گردد. در صورت وجود داده و اطلاعات می‌توان از هیدروگراف شاخص حوضه‌های مورد مطالعه نیز استفاده نمود. علاوه بر این در مواردی که استفاده از روش‌های آماری اجتناب‌ناپذیر است به‌کارگیری توزیع آماری داده‌های ثبت‌شده (علیرغم فرض یکسانی دوره بازگشت بارش و دبی یکسان و طولانی‌تر بودن داده‌های بارش نسبت به رواناب) به دلیل کم بودن طول داده‌های ثبت‌شده، معمولاً اطمینان‌پذیری لازم برای تخمین دوره‌های بازگشت بالا را به همراه نخواهد داشت. در تخمین PMP روش آماری (هرشفیلد) و یا سینوپتیک مورد استفاده قرار می‌گیرد و معمولاً از بارندگی‌های حداکثر ۲۴ ساعته سالانه استفاده می‌شود. این آمار پس از اعمال اصلاحات لازم نسبت به میانگین و انحراف معیار و اعمال ضرایب لازم و تبدیل PMP نقطه‌ای به PMP منطقه‌ای، مقدار نهایی به دست می‌آید. با استفاده از این مقدار و دستیابی به هیدروگراف شاخص یا ساختگی حوضه PMF قابل محاسبه می‌گردد.

در روش سینوپتیک تهیه مدل هیدرولوژیکی تک واقعه بارش رواناب برای حوضه و زیر حوضه‌ها و واسنجی آن با انتخاب رگبارهای برتر حوضه که دارای اثر حداکثری در تولید بارش رواناب با سیلاب را دارند رگبارها جهت تعیین الگوی توزیع زمانی بارش در زمان هر رگبار، طراحی الگوی زمانی بارش PMP را به دست می‌دهد، تحلیل شرایط رطوبتی رگبارهای مشاهداتی و تعیین شرایط حداکثری در وقوع PMP، بررسی و تعیین سهم ذوب برف در حالت‌های مختلف بارش و یا ناشی از شرایط دمایی به هنگام وقوع PMP، تعیین PMF با توجه به حداکثرهای صورت گرفته روی پارامترهای مؤثر در تولید آن انجام می‌شود. در این روند نکات مهمی به شرح وجود دارد که عدم رعایت هرکدام از آن نتیجه را با خطا توأم می‌سازد، این عوامل عبارت‌اند از: (۱) حجم اطلاعات و داده‌های مورد نیاز بالا توأم با هزینه و وقت؛ (۲) حد حوضه مورد بررسی مطالعات حداکثر سیلاب محتمل که معمولاً بسیار فراتر از حوضه مورد مطالعه است؛ (۳) مطالعات حداکثر سیلاب محتمل نیازمند بررسی تعداد زیاد داده‌های مشاهداتی در حوضه است؛ (۴) کمبود داده و اطلاعات برف سنجی و تصاویر ماهواره‌ای؛ (۵) برآورد کم هزینه‌های ذی‌ربط با هزینه‌های در نظر گرفته‌شده مطالعات اصلی سامانه آبی؛ (۶) به دلیل کم بودن طول دوره آماری داده‌های حدی سیلاب در تحلیل فراوانی سیلاب، تناسبی بین سیلاب ده‌هزارساله و نتایج سیلاب حداکثر محتمل؛ (۷) عدم شناخت کافی از حوضه آبریز و رفتار هیدرولوژیکی آن و ناکافی بودن ایستگاه‌های هواشناسی به‌ویژه در ارتفاعات؛ (۸) اعمال روش‌های آماری و انتخاب توزیع‌های بدون کران بالا و عدم کنترل بر روی یافته‌ها؛ (۹) با ظرفیت‌های فیزیکی، هیدرولوژیکی و اقلیمی حوضه‌ها از زمینه‌های ایجاد خطا است و (۱۰) استفاده از مدل‌های نامناسب بارش رواناب و برآورد نامناسب

<sup>۱</sup> HECRAS

پارامترهای مدل؛ بنابراین ضروری است صحت‌وسقم داده و اطلاعات و روش‌های بکار گرفته در مطالعات هیدرولوژی با جزئیات کامل بررسی گردد تا علل عدم دستیابی به اهداف، مشخص و رتبه‌بندی گردد. با توجه به وقوع سیلاب سال‌های اخیر از نظر حجم و فراوانی و تخریب ناشی از آن در پایین‌دست سدهای مخزنی حاکی از اشتباهات محاسباتی در برآورد جریان به مخزن سد است. تجربه نشان داده است که اعداد تخمینی در این‌باره اگر با ملاحظات بهره‌برداری از جمله تعیین حد بستر و حریم در بالادست و پایین‌دست سدهای مخزنی همراه نباشد امکان وقوع حوادث جبران‌ناپذیری را در پی خواهد داشت.

در این پژوهش آمار و اطلاعات ۱۷ سد مخزنی در استان کرمانشاه در ارتباط با معیارهای مرتبط با مطالعات سیلاب و دبی طراحی سرریز شناسایی و با روش‌های شناخته‌شده تصمیم‌گیری چند متغیره این معیارها به تفکیک هر سد مخزنی، اولویت‌بندی با تعریف گزینه‌هایی که مستقیماً در برآورد سیلاب طرح دخیل هستند اولویت‌بندی گردید. با توجه به عدم قطعیت‌های ذی‌ربط با استفاده از نرم‌افزار Spplus و روش بوت‌اترپ در داده‌های حداکثر لحظه‌ای هر سد مخزنی تولید آمار شده و مجدداً بازه اطمینان کنترل گردید. پس از معرفی معیارهای مؤثر در تخمین سیلاب سدهای مخزنی و لزوم اولویت‌بندی آن به تفکیک هر سد مورد مطالعه و به منظور تکمیل ساختار لازم برای استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند متغیره، گزینه‌های مؤثر در تخمین سیلاب طراحی به تفکیک هر سد مخزنی با استفاده از ۸ روش مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره SAW, AHP, FAHP, VIKOR, TOPSIS, FTOPSIS, PROMETEE, Electre III ارزیابی گردید.

پس از تعیین معیارهای ارزیابی و گزینه‌های آن در این بررسی، روش‌های آنتروپی و MCDM را برای رتبه‌بندی اولویت‌های تخمین دبی سیلاب ورودی به مخازن سدها با هم ادغام می‌شوند. برای تعیین اهمیت هر معیار، وزن هر معیار با استفاده از آنتروپی شانن<sup>۱</sup> محاسبه می‌گردد. سپس، از روش MCDM برای رتبه‌بندی گزینه‌ها و معیارها استفاده می‌شود. چارچوب تحقیق در شکل ۳ نشان داده شده است. برای تعیین وزن معیارهای مختلف می‌توان از دو شیوه وزن دهی ذهنی<sup>۲</sup> و وزن دهی عینی<sup>۳</sup> قابل تقسیم است. وزن ذهنی عمدتاً بر اساس تجارب کارشناسی و ذهنیت وزن دهنده ارزیابی می‌گردد مانند وزن دهی در روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و دلفی<sup>۴</sup>. وزن دهی عینی بر مبنای داده‌های واقعی معیارها تعیین می‌گردد. مثال این شیوه روش آنتروپی است که باعث کاهش تأثیر ذهنیت ارزیابی گران و افزایش عینیت توزان معیارها می‌گردد (لی و چانگ<sup>۵</sup>، ۲۰۱۸). آنتروپی در اصل مفهومی در علم ترمودینامیک است که برای محاسبه بی‌نظمی در سیستم‌های مختلف به کار برده می‌شود. نخستین بار شانن آنتروپی را برای حل مسائل مرتبط با تئوری اطلاعات به کاربرد و از آن روشی برای بحث درباره عدم قطعیت ساخت (زو و سان<sup>۶</sup>، ۲۰۰۶). بر مبنای این تئوری، مقدار آنتروپی کمتر اطلاعات بیشتری را می‌توان به دست آورد و بالعکس، آنتروپی بیشتر اطلاعات کمتری را به همراه دارد. برای یک ماتریس با  $m$  گزینه و  $n$  معیار ماتریس اولیه به شکل زیر است (روابط (۱) تا (۵)):

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} \dots & a_{mn} \end{bmatrix} = [a_{ij}]_{m \times n} \quad (1)$$

که  $a_{ij}$  یعنی  $i$ مین گزینه  $j$ مین معیار.

برای نرمال کردن ماتریس تصمیم بالا به شرح زیر باید عمل کرد:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}}, \quad i=1,2,\dots, m \quad (2)$$

<sup>1</sup> Shannon's entropy

<sup>2</sup> subjective weight

<sup>3</sup> objective weight

<sup>4</sup> Delphi

<sup>5</sup> Lee and Chang

<sup>6</sup> Zou & Sun

از معادله زیر آنتروپی محاسبه می‌گردد:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m r_{ij} \ln r_{ij}, \quad j=1,2,\dots,n \quad (3)$$

که در آن:

$$k = \frac{1}{\ln m} \quad (4)$$

وزن هر معیار با معادله زیر قابل محاسبه است:

$$w_j = \frac{1-e_j}{\sum_{i=1}^n (1-e_j)}, \quad j=1,2,\dots, n \quad (5)$$

### روش وزن دهی ساده (SAW)<sup>۱</sup>

این روش ساده‌ترین روش تصمیم‌گیری چندمعیاره است. پس از نرمال کردن ماتریس تصمیم با استفاده از ضرایب وزنی معیارها، ماتریس تصمیم نرمال شده وزن‌دار به دست می‌آید. امتیاز هر گزینه با توجه به این ماتریس به دست می‌آید. امتیاز نهایی هر گزینه در وزن آن ضرب می‌گردد. در این روش بهترین گزینه، گزینه‌ای است که بالاترین مجموع امتیازات را داشته باشد.

### روش تحلیل سلسله مراتبی ساده و فازی<sup>۲</sup>

در اوایل دهه ۱۹۷۰ توماس ال ساتی، روش ساده‌ای را برای کمک به حل مسائل پیچیده بنیان‌گذاری کرد. انتشار کتاب «فرآیند تحلیل سلسله مراتبی» توسط ساتی در سال ۱۹۸۰ و تهیه نرم‌افزار Expert choice در سال ۱۹۸۳ که قابلیت استفاده در کامپیوترهای شخصی را داشت، باعث گسترش سریع استفاده از این روش در تحقیقات کاربردی علوم مختلف گردید. روش AHP بر اساس سه اصل ترسیم درخت سلسله مراتبی، تدوین و تعیین اولویت‌ها و ارزیابی سازگاری قضاوت‌ها تشکیل شده است. ماتریس مقایسات زوجی از مهم‌ترین رکن این مدل است. ماتریس مربعی است که حاوی مقایسه‌های زوجی عناصر موجود در یک سطح از درخت تصمیم نسبت به یکی از شاخص‌های حاضر در سطر بالایی آن‌ها است (رابطه (۶)).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

<sup>1</sup> Simple Additive Weighting

<sup>2</sup> AHP & FAHP

جدول ۱. مقایسه کمی و کیفی مورد استفاده جهت مقایسه زوجی معیارها در روش AHP (ساتی، ۱۹۸۰)

وزن	مقدار کمی
۱	تأثیر و اهمیت مساوی دو فاکتور
۲	تأثیر اهمیت مساوی تا کمی مهم‌تر و مؤثرتر
۳	کمی مهم‌تر و مؤثرتر
۴	کمی مهم‌تر و مؤثرتر تا مهم‌تر و مؤثرتر
۵	مهم‌تر و مؤثرتر
۶	مهم‌تر و مؤثرتر تا خیلی مهم‌تر و مؤثرتر
۷	خیلی مهم‌تر و مؤثرتر
۸	خیلی مهم‌تر و مؤثرتر تا کاملاً مهم‌تر و مؤثرتر
۹	کاملاً مهم‌تر و مؤثرتر

روش‌های مختلفی برای محاسبه وزن شاخص‌ها وجود دارد از جمله روش حداقل مربعات، روش مجموع ستونی، روش میانگین حسابی، روش حداقل مربعات لگاریتمی، روش مجموع سطری و روش میانگین هندسی. در AHP برای هر ماتریس مقایسات زوجی حد قابل قبولی از میزان ناسازگاری با عنوان نرخ ناسازگاری تعریف می‌شود ( $I.R < 0.1$ ). اگر ماتریس مقایسات زوجی  $A = [a_{ij}]_{n \times n}$  را در نظر بگیریم که در آن  $a_{ij}$  میزان ترجیح شاخص  $C_i$  بر  $C_j$  باشد، ماتریس را سازگار می‌گوییم اگر  $a_{ik} \times a_{kj} = a_{ij}$ . برای محاسبه نرخ ناسازگاری (I, R) ابتدا بردار وزن نسبی (W) را با یکی از روش‌های گفته شده به دست می‌آید، سپس بردار مجموع وزنی (WSV) را مطابق رابطه (۷) به دست می‌آید:

$$WSV = D * W \quad (7)$$

که در آن، D ماتریس مقایسات زوجی است.

برای محاسبه بردار سازگاری (CV) باید عناصر بردار مجموع وزنی (WSV) را بر بردار وزن‌های نسبی (W) تقسیم کرد. در نهایت  $\lambda_{max}$  باید محاسبه گردد و شاخص و نرخ ناسازگاری زیر ۰.۰۱ باشد (روابط (۸) و (۹)).

$$I.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (8)$$

$$I.R = \frac{II}{IRI} \quad (9)$$

<sup>1</sup> Saaty



جدول ۲. شاخص ناسازگاری تصادفی (ساتی، ۱۹۸۰)

N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
IRI	۰	۰	۰.۵۸	۰.۹۰	۱.۱۲	۱.۲۴	۱.۳۲	۱.۴۱	۱.۴۵	۱.۵۱

روش تحلیل شبکه (ANP)<sup>۱</sup>

این روش برای اولین بار در سال ۱۹۹۶ توسط توماس ال ساعتی در راستای برطرف ساختن برخی محدودیت‌های ساختار سلسله مراتبی ارائه گردید و فرض بر این است که نیازی به استقلال شاخص‌ها نسبت به یکدیگر وجود ندارد. در AHP ارتباط بین همه عناصر یک‌طرفه بوده و همچنین عناصر هم‌سطح از یکدیگر مستقل فرض می‌شوند اما در دنیای واقعی الزاماً این چنین نیست و عناصر به‌طور تک‌تک و یا گروهی باهم در ارتباط هستند. همه بردارهای وزن محاسبه‌شده در مرحله قبل در یک ماتریس بزرگ بنام سوپرماتریس جمع می‌شوند. این ماتریس نمایش‌دهنده تمامی روابط بین عناصر حاضر در شبکه بوده و قدم اولیه برای تعیین همه اولویت‌های موجود بین گزینه‌ها، شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها است. ساختار این ماتریس به شکل رابطه (۱۰) زیر است:

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1m} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ W_{m1} & W_{m2} & \dots & W_{mm} \end{bmatrix} \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_m \end{matrix} \quad (10)$$

$C_i$  نماد خوشه‌ها هستند که می‌توانند حاوی یک یا چند عنصر باشند.  $W_{ij}$  ها نیز نماد بردارهای وزنی هستند که وزن یا اهمیت نسبی عناصر حاضر در خوشه  $C_i$  را نسبت به وزن عناصر حاضر خوشه  $C_j$  نشان می‌دهند. هر یک از  $W_{ij}$  ها نیز خود می‌توانند یک ماتریس باشند.

$W_{ij}=0$  زمانی رخ می‌دهد که در این مرحله سوپر ماتریس اولیه را آن قدر به توان می‌رسانیم تا با دو حالت ممکن روبرو شد:

اگر توان های ماتریس اولیه به یک ماتریس نهایی همگرا شود: ماتریس نهایی سوپر ماتریس حدی نامیده می‌شود:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} W^n \quad (11)$$

اگر توان های ماتریس اولیه به صورت تناوبی به  $n$  ماتریس نهایی همگرا شوند میانگین ماتریس‌های نهایی را سوپر ماتریس حدی نامیده می‌شود:

$$\left(\frac{1}{n}\right) \lim_{n \rightarrow \infty} W_i^k \quad (12)$$

<sup>1</sup> Analytical Network Process

در مرحله بعد سوپر ماتریس نرمال شده و امتیازدهی به عناصر انجام می‌گیرد و خروجی نهایی امتیازها و رتبه‌ها شاخص‌ها و گزینه‌ها خواهد بود.

### روش شباهت به گزینه ایده آل (تاپسیس) و تاپسیس فازی<sup>۱</sup>

این روش برای اولین بار در سال ۱۹۸۱ توسط هوانگ و یون ارائه شد. رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس بیشترین میزان شباهت یا نزدیکی به گزینه ایده آل مثبت و کمترین میزان شباهت به گزینه ایده آل منفی انجام می‌شود. گزینه ایده آل مثبت گزینه‌ای است که بیشترین میزان مطلوبیت ممکن را داشته باشد؛ و الزاماً می‌تواند وجود خارجی نداشته باشد. در این روش معیار فاصله بین گزینه‌ها بر اساس فاصله‌های اقلیدسی است.

$$d(a,b) = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2} \quad (13)$$

نکات اساسی در استفاده از روش TOPSIS شامل: مطلوبیت شاخص‌ها (Ci) یکنوا باشد، یا افزایشی و یا کاهنده، شاخص‌ها باید مستقل از یکدیگر باشند و همان‌طور که قبلاً اشاره شد، فاصله گزینه‌ها از ایده آل مثبت و ایده آل منفی به صورت اقلیدسی محاسبه می‌شود.

مراحل عملیاتی کردن روش تاپسیس شامل تشکیل ماتریس تصمیم، بی‌مقیاس سازی یا نرمال سازی ماتریس تصمیم و نرمال سازی است (رابطه (۱۴)):

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij})^2}} \quad (14)$$

بعد از تعیین بردار وزن شاخص‌ها با استفاده از روش‌های مختلفی که قبلاً توضیح داده شد، وزن شاخص‌ها محاسبه می‌گردد (رابطه (۱۵)):

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_n] \quad (15)$$

برای تعیین ماتریس تصمیم نرمال وزن دار، این ماتریس از ضرب ماتریس تصمیم نرمال در بردار وزن معیارها به دست می‌آید:

$$V_{ij} = w_j \times R_{ij} \quad (16)$$

گزینه ایده آل مثبت (برداری از بهترین گزینه‌های موجود در هر ستون):

$$A^{(*)} = \{\max v_{i1}, \max v_{i2}, \dots, \max v_{in}\} \quad (17)$$

گزینه ایده آل منفی (برداری از بدترین گزینه‌های موجود در هر ستون):

$$A^{(-)} = \{\min v_{i1}, \min v_{i2}, \dots, \min v_{in}\} \quad (18)$$

فاصله از گزینه ایده آل مثبت از رابطه (۳) قابل محاسبه است:

<sup>۱</sup> TOPSIS & FUZZY TOPSIS

$$S_i^{(*)} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - \max v_{ij})^2} \quad (19)$$

گزینه ایده آل منفی از رابطه (۳) قابل محاسبه است:

$$S_i^{(-)} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - \min v_{ij})^2} \quad (20)$$

نزدیکی نسبی به ایده آل مثبت از طریق رابطه (۲۱) به دست می آید:

$$C_i^{(*)} = \frac{S_i^{(-)}}{S_i^{(*)} + S_i^{(-)}} \quad (21)$$

این مقدار همواره بین صفر و یک است. هر چه گزینه به ایده آل مثبت نزدیکتر شود مقدار  $C_i^{(*)}$  به یک نزدیکتر خواهد شد.

دروش Topsis فازی برای رتبه بندی گزینه ها با روش تاپسیس در محیط فازی استفاده می شود.

### روش راه حل توافقی و بهینه سازی چندمعیاره<sup>۱</sup> (ویکور)

ویکور برای حل مسائل تصمیم گیری با معیارهای متناقض و غیرقابل مقایسه<sup>۲</sup> (واحد های مختلف) توسعه داده شد. در مدل VIKOR، رتبه بندی سازش را می توان با مقایسه معیار نزدیکی به راه حل ایده آل انجام داد. الگوریتم ویکور شامل چهار مرحله است (چیت ساز و بنی حبیب<sup>۳</sup>، ۲۰۱۵).

مرحله یا گام اول: تعیین راه حل مثبت-ایده آل (PIS)  $f_j^*$  و راه حل منفی ایده آل (NIS)  $f_j^-$

$$f_j^* = \{\max_i f_{ij} | j \in I_1\}, f_j^- = \{\min_i f_{ij} | j \in I_2\}, \forall j \quad (22)$$

$$f_j^* = \{\min_i f_{ij} | j \in I_1\}, f_j^- = \{\max_i f_{ij} | j \in I_2\}$$

که در آن  $I_1$  و  $I_2$  به ترتیب مجموعه ای از معیارهای مثبت و منفی هستند.

مرحله دوم: محاسبه مقادیر  $R_i$  و  $S_i$

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j (f_j^* - f_{ij}) / ((f_j^* - f_j^-)) \quad (22)$$

$$R_i = \max_j [w_j (f_j^* - f_{ij}) / ((f_j^* - f_j^-))]$$

که در آن  $w_j$  وزن معیارها است.

مرحله سوم: محاسبه مقدار  $Q$

$$Q_i = v \left( \frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} \right) + (1-v) \left( \frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \right) \quad (24)$$

<sup>1</sup> VIKOR

<sup>2</sup> noncommensurable

<sup>3</sup> Chitsaz and Banihabib

که در آن  $R^* = \min R_i$ ,  $R^- = \max R_i$  و  $S^* = \min S_i$  و  $V$  به‌عنوان وزنی برای استراتژی حداکثر سودمندی گروهی شناسایی می‌شود، درحالی‌که  $(V-1)$  وزن پیشیمانی فردی است. به‌طورمعمول، مقدار  $V$  برابر ۰.۵ تنظیم می‌شود. باین‌حال،  $V$  می‌تواند هر مقداری را از ۰ تا ۱ تنظیم کند.

مرحله چهارم: رتبه‌بندی گزینه‌ها به ترتیب کاهشی بر اساس مقادیر  $Q_i$

### روش تسلط تقریبی (الکتره)<sup>۱</sup>

درروش تسلط تقریبی یا روش حذف و انتخاب سازگار با واقعیت، گزینه‌ها به‌صورت زوجی با یکدیگر مقایسه می‌شوند و گزینه‌های مسلط و ضعیف (غالب و مغلوب) مشخص شده و در مرحله بعد گزینه‌های ضعیف یا مغلوب حذف می‌شوند (عطایی ۱۳۸۹). الگوریتم الکتره به شکل زیر نشان داده می‌شود:

مرحله اول: ساختن ماتریس نرمال شده

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (25)$$

مرحله دوم: ساختن ماتریس تصمیم نرمال وزن‌دار

مرحله سوم: تعیین مجموعه تطابق و ناسازگاری

اگر مقدار ترجیح برای جایگزین  $A_k$  بهتر از مقدار جایگزین  $A_i$  باشد، تحت معیار  $j$  ام، عنصر  $k$  در مجموعه تطابق  $(C_{ij})$  طبقه‌بندی می‌شود. در غیر این صورت در مجموعه ناسازگاری  $(D_{ij})$  طبقه‌بندی می‌گردد.

$$C_{ij} = \{k | V_{ik} \geq V_{jk}\}, D_{ij} = \{k | V_{ik} < V_{jk}\} \quad (26)$$

مرحله چهارم: جمع کردن وزن معیارها با مجموعه ناسازگاری هر عنصر و به دست آوردن ماتریس تطابق:

$$C_{ij} = \frac{\sum_{k \in C_{ij}} W_k}{\sum_{k=1}^n W_k} \quad (27)$$

مرحله پنجم: محاسبه ماتریس عدم تطابق و تجدیدنظر آن

$$d_{ij} = \frac{\max_{k \in D_{ij}} \{V_{ik} - V_{jk}\}}{\max_{k \in S} \{V_{ik} - V_{jk}\}}, d_{ij} = 1 - c_{ij} \quad (28)$$

مجموعه همه معیارها است.  $S$

مرحله ششم: محاسبه ماتریس کلی تجدیدنظر شده  $(Y)$ .

$$y_{ij} = c_{ij} \times d_{ij} \quad (29)$$

مرحله هفتم: محاسبه مقدار مزیت خالص

<sup>1</sup> Elimination et Choice Translating Reality (Electre)

در نهایت، گزینه‌های جایگزین را رتبه‌بندی کرده، بر اساس افزایش مقادیر  $C_k$  مرتب می‌گردد.

### روش پرومته<sup>۱</sup>

این تکنیک، روشی است که در سال ۱۹۸۵ ایجاد شد و توسط برانز و همکاران<sup>۲</sup> (۱۹۸۶) بهبود یافت. پرومته یک مفهوم ساده است و استفاده از آن از سایر روش‌های تحلیل چند معیاره بسیار ساده‌تر است. این روش در مسائل با تعداد محدودی از گزینه‌های جایگزین برای رتبه‌بندی با توجه به معیارهای چندگانه و پیچیده بسیار عالی است. این روش به‌طور عمده به دو نوع اطلاعات اهمیت نسبی یا وزن معیارهای در نظر گرفته‌شده و اطلاعات مربوط به ترجیحات تصمیم‌گیرندگان شرکت‌کننده در تجزیه و تحلیل نیاز دارد.

### روش DEMATEL

این روش به‌عنوان روش تحلیل استفاده‌نشده است بلکه برای شناخت رابطه علت و معلولی معیارها استفاده‌شده است. در این روش ابتدا یک ماتریس  $N$  برای شناسایی روابط نمایش داده می‌شود. سپس از خبرگان خواسته می‌شود که میزان تأثیر هر معیار  $X$  در تشکیل ماتریس پاسخ دهند. برای گردآوری دیدگاه خبرگان پیرامون شدت روابط میان معیارها از طیفی مانند جدول (۳) استفاده می‌شود.

جدول ۳. طیف پنج درجه دیمتل

عبارت کلامی	بدون تأثیر	تأثیر خیلی کم	تأثیر کم	تأثیر زیاد	تأثیر خیلی زیاد
مقدار کمی	۰	۱	۲	۳	۴

### یافته‌ها

در این تحقیق نتایج امتیازت خام معیارهای کیفی حاصل از مصاحبه با خبرگان و کارشناسان بخش آب به‌صورت حضوری و پرسشنامه‌ای و همچنین بررسی گزارش‌های مرتبط با سدهای مختلف، در طیف ده‌تایی لیکرت به مقادیر کمی تبدیل گردید (جدول (۴) و (۵)). با استفاده از نرم‌افزار SPSS آلفای کرون باخ در ارتباط با هر یک از پرسشنامه‌ها محاسبه شد که نتایج قابل‌قبولی برای همه موارد به دست آمد. با در نظر گرفتن تعداد معیارها با روش آنتروپی شانون (معادله (۱)) معیارهای مساوی و بالای ۰/۰۶ برای هر سد به‌عنوان معیار قابل ارزیابی انتخاب گردید (جدول (۶)). از آزمون فریدمن<sup>۳</sup> برای بررسی اولویت یک معیار بر معیار دیگر در پیش‌پردازش معیارها استفاده شد (جدول (۷)) علاوه بر این از روش PCA<sup>۴</sup> برای خوشه‌بندی و دسته‌بندی و بررسی کاهش معیارها و همچنین استقلال و در نهایت تغییرپذیری کمتر و استخراج معیارهای مهم (به شکل مؤلفه) استفاده شد که نتایج آن در نمودار شکل (۳) نشان داده‌شده است. نتایج این دسته‌بندی نشان داد که معیارهای مختلف را نمی‌توان به‌عنوان نماینده سایر معیارها برگزید و باید در ارزیابی همه معیارهای مرتبط مورد ارزیابی قرار گیرند.

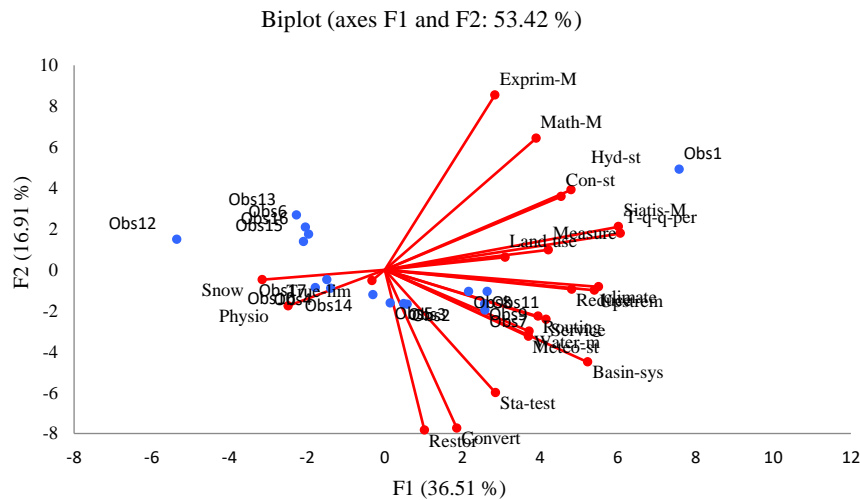
<sup>1</sup> PROMETHEE

<sup>2</sup> Brans et al

<sup>3</sup> Friedman's test

<sup>4</sup> Principle Components Analysis

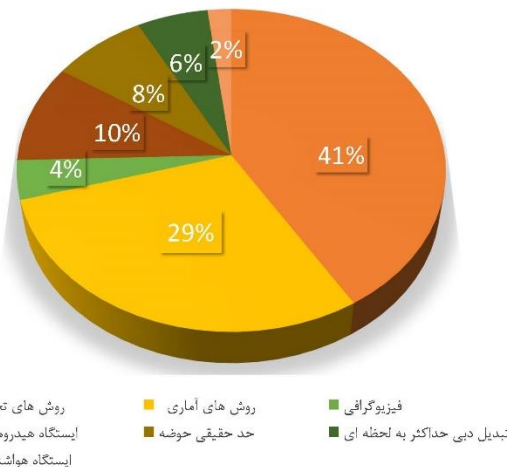
با استفاده از تست فریدمن داده‌ها در هر گروه از نظر نرمال بودن بررسی و سپس با آزمون آنالیز واریانس با داده‌های تکراری، مورد ارزیابی قرار گرفتند. سطح معنی‌داری آزمون‌ها ۰.۰۵ در نظر گرفته شد. برای این کار دو فرض متصور است:  $H_0$  که نمونه‌ها از یک جامعه می‌آیند و  $H_a$  که نمونه‌ها از یک جامعه نمی‌آیند. از آنجایی که  $p$ -value محاسبه شده کمتر از سطح معناداری  $\alpha=0.05$  است، باید فرضیه صفر  $H_0$  را رد کرد و فرضیه جایگزین  $H_a$  را پذیرفت. خطر رد فرضیه صفر  $H_0$  درحالی که درست است کمتر از ۰.۰۱ است. پیوندها در داده‌ها شناسایی شده و اصلاحات مناسب اعمال شده است. تعداد معیارهای قابل ارزیابی در هر سد بر اساس نتایج آنتروپی شانون به دست آمد.



شکل ۳. نتیجه اعمال روش PCA

با توجه به شکل (۳) مشاهده شد که اکثر ضرایب همبستگی کمتر از ۰/۳ و غیرخطی بودن مدل است.

بر اساس روش‌های ۸ گانه گفته شده ۲۲ معیار دخیل در برآورد آورد سیلابی ۱۷ سد مخزنی مورد مطالعه رتبه‌بندی گردید. بر اساس جداول (۴) و (۵) در روش SAW روش‌های تجربی با ۶ رتبه یک، روش‌های آماری با ۵ رتبه یک و پارامترهای فیزیوگرافی با ۲ رتبه یک مهم‌ترین معیارهای اثرگذار در برآورد سیلاب ورودی به مخازن سدهای مورد مطالعه در این تحقیق است. در روش AHP ایستگاه‌های هیدرومتری و حد حقیقی حوضه به ترتیب با ۵ و ۳ رتبه یک مهم‌ترین معیارهای مؤثر بودند (شکل (۴)). در روش FAHP روش‌های تجربی با ۶ و روش‌های آماری با ۵ رتبه یک دو معیار مهم تشخیص داده شدند. در روش تاپسیس روش‌های آماری، پارامترهای فیزیوگرافی و تبدیل دبی حداکثر به حداکثر لحظه‌ای هر کدام با ۱ رتبه یک و تاپسیس فازی روش‌های تجربی، روش‌های آماری و تبدیل دبی حداکثر به دبی لحظه‌ای به ترتیب با ۶، ۴ و ۲ رتبه یک اصلی‌ترین معیارهای ارزیابی شناخته شدند. در روش ویکور فقط روش‌های تجربی دارای ۱ رتبه یک شد. در روش الکترون نیز معیارهای ایستگاه‌های هواشناسی، حد حقیقی حوضه و روش‌های تجربی هر کدام با ۱ رتبه یک به‌عنوان معیارهای مؤثر ارزیابی شدند. نهایتاً در روش پرومته فقط روش تجربی حائز یک مورد رتبه ۱ گردید.



شکل ۴. درصد فراوانی مؤثرترین معیارها در تخمین سیلاب طراحی ۱۷ سد مخزنی مورد مطالعه

جدول ۴. نتایج امتیاز معیارهای ۲۲ گانه با روش های SAW(S), AHP(A), FAHP(Fa), VIKOR(V)

معیار	شرح خدمات معیوب و دستورالعمل ها				تبدیل بین حداکثر به بی لحظه ای				تدریب و تطویل داده ها				اندازه گیری				تعییرکاپری لقی				مدل های ریاضی				روش های آماری				روش های تجربی				حد حقیقی حوضه				پارامتر های فیزیوگرافی				ایستگاههای هواشناسی							
	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V								
کولرب	-	-	-	-	3	6	3	4	2	5	2	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
تنگ حمام	8	5	8	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	3	4	3	1	2	1	3	3	3	4	3	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3	2	4
آزادی	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	8	7	4	5	3	4	3	4	2	5	2	1	5	1	5	1	4	-	-	-	2	8	2	7	5	3	6	4	-	-	-	-
زاگرس	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5	6	4	1	2	1	2	2	4	2	4	4	4	6	-	6	6	3	5	3	3	7	3	3	-	-	-
شیان	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	7	5	6	3	4	2	5	2	8	3	7	1	1	1	1	2	5	6	5	7	4	5	4	6	-	-	-				
گاوئان	-	-	-	-	4	6	2	4	-	-	-	-	7	-	3	4	-	-	-	-	2	3	1	4	6	4	5	4	3	5	4	4	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
داریان	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	1	1	-	-	-	-	2	4	3	3	6	5	5	5	5	-	-	-
چامیشان	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	3	5	6	-	4	3	-	-	-	-	2	2	2	3	4	4	5	5	1	1	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	7	6	6
دگرکرب	-	-	-	-	6	5	6	7	-	-	-	-	-	-	-	-	5	4	5	5	7	3	7	4	1	8	1	7	4	1	8	1	7	4	1	4	-	2	7	2	7	-	-	-				
بلهفنداه	6	9	8	8	5	6	7	8	-	-	-	-	1	-	1	2	-	-	-	-	4	3	5	4	2	2	3	3	4	3	4	3	4	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-				
فدائی	-	-	-	-	6	1	5	6	-	-	-	-	-	-	-	-	5	2	6	3	7	5	7	6	1	3	1	3	4	4	3	-	2	7	2	8	-	-	-	-	-	-	-	-				
کیژده	-	-	-	-	9	4	3	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	7	1	7	5	5	4	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	6	2	6
سومار	4	1	4	3	6	5	6	5	5	3	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	6	3	7	-	-	-	-	-	-	-	-	3	2	2	3	2	4	1	4				
هواسان	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	4	5	-	-	-	-	3	4	3	5	7	7	5	7	1	6	1	5	-	-	-	-	2	3	2	4	5	5	6	4				
زنگان	-	-	-	-	5	2	5	3	3	3	4	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	4	1	4	6	6	6	6	-	-	-	-	1	5	2	6	-	-	-	-				
هرین	-	-	-	-	4	5	2	3	1	6	1	2	6	-	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	3	7	3	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	4	4	4				
چوئورد	7	7	8	8	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	8	7	-	-	-	-	4	4	3	5	1	2	1	3	2	6	2	6	-	-	-	-	3	5	4	6	6	3	7	3				





## نتایج ارزیابی گزینه‌های چهارگانه

همه مراحل گفته شده برای ارزیابی معیارهای مختلف (۲۲ معیار) با هشت روش مورد بررسی در این پژوهش برای ارزیابی چهار گزینه اصلی به کار رفت. این چهار گزینه شامل شرایط و محدودیت‌های روش تخمین سیلاب، کمیت و کیفیت اطلاعات و داده‌های آب و هواشناسی، وقوع اتفاقات هیدرولوژیکی در حوضه با منشأ طبیعی و وقوع اتفاقات هیدرولوژیکی در حوضه با منشأ انسانی است. بعد از تعیین اوزان هر گزینه با هر یک از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، رتبه وزن به دست آمده در کل اوزان گزینه مرتبط تعیین و تنظیم گردید (جدول (۴) و (۵)) بعد از تعیین رتبه‌های ۱۷ سد مورد مطالعه با هشت روش منتخب در تصمیم‌گیری چندمعیاره، با اعمال نتایج در روش‌های استراتژیک میانگین، بردا و کپلند، گزینه‌های برتر برای هر گزینه تعیین و نهایتاً گزینه اصلی بر مبنای تجمیع رتبه‌های بالاتر تعیین گردید. بر اساس یافته‌های پژوهش گزینه‌ای که دارای فراوانی بیشتری نسبت به سایر گزینه‌ها است، گزینه شرایط و محدودیت‌های روش تخمین سیلاب (V4) هر سد مخزنی است.

### بحث

عوامل مؤثر بر تخمین سیلاب طراحی در سدهای مخزنی در قسمت‌های پیشین ذکر شد. این عوامل را می‌توان به دودسته کنترل‌پذیر و کنترل‌ناپذیر تقسیم کرد. عوامل کنترل‌ناپذیر شامل تغییرات آب و هوایی و نوع و کمیت و کیفیت بارش و سیستم حوضه است. ذخایر برفی و پارامترهای فیزیوگرافی نیز در این دسته قرار می‌گیرند با این حال می‌توانند از اثرات انسانی نیز تأثیرپذیری داشته باشند. در این پژوهش معیارهای مؤثر در ارتباط با تخمین دبی طراحی سرریز در سدهای مخزنی در استان کرمانشاه شناسایی و اولویت‌بندی گردید و پس از آن به منظور بررسی و تحلیل گزینه‌های مؤثر در تخمین سیلاب طراحی به تفکیک هر سد مخزنی، گزینه‌های مختلف با استفاده از ۸ روش مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره ارزیابی گردید. با توجه به گستردگی تعداد سدهای مورد مطالعه و اهمیت آب‌شناختی گزینه‌های مهم و فراگیری همچون تخمین سیلاب طراحی در ارتباط با وقوع اتفاق‌های هیدرولوژیکی در حوزه با منشأ انسانی، با منشأ طبیعی، کمیت و کیفیت اطلاعات و داده‌های آب و هواشناسی و محدودیت روش‌ها (آماری، تجربی، مدل‌ها) انتخاب و با روش‌های SAW, AHP, FAHP, VIKOR, TOPSIS, FTOPSIS, PROMETEE, Electre III اولویت‌بندی گردید. بر اساس روش‌های ۸ گانه گفته شده ۲۲ معیار دخیل در برآورد آورد سیلابی ۱۷ سد مخزنی مورد مطالعه رتبه‌بندی گردید.

### نتیجه‌گیری

در این بررسی با اولویت‌بندی هر معیار در روش‌های به کار برده شده برای هر سد، اولویت نهایی (۱۳ مورد از ۱۷ مورد) یعنی بیش از ۷۶ درصد از سدها در گزینه شرایط و محدودیت‌های روش‌های تخمین سیلاب آماری، تجربی، مدل و ... اولویت‌دارند و ۲۴ درصد در گزینه کمیت و کیفیت و اطلاعات آب و هواشناسی. بر اساس یافته‌های پژوهش گزینه‌ای که دارای فراوانی بیشتری نسبت به سایر گزینه‌ها است، گزینه شرایط و محدودیت‌های روش تخمین سیلاب (V4) هر سد مخزنی است (جدول (۶) و (۷)). بر اساس بررسی مدارک و مستندات تحلیل سیلاب و دستیابی به سیلاب طراحی در مطالعات مراحل اول و دوم سدهای مخزنی سدهای مورد مطالعه این نتیجه‌گیری تأیید می‌گردد، در روش‌های آماری کم بودن طول دوره آماری ثبت شده و عدم تشخیص تابع توزیع فراوانی مناسب (علی‌رغم اعمال آزمون نیکویی برازش به صورت ناقص) از موارد آسیب این مورد بوده است. علاوه بر این به کارگیری روش‌های تجربی که عمدتاً بدون واسنجی ضرایب ذی‌ربط و بدون احتیاط و بررسی‌های لازم اعمال می‌شوند از موارد دیگر ضعف تخمین سیلاب است.

جدول 6. اولویت‌بندی گزینه‌های دخیل در برآورد دبی سیلاب به تفکیک سدهای مخزنی

گزینه	وقوع اتفاقات هیدرولوژیکی در حوضه با منشأ طبیعی V2										کمیت و کیفیت اطلاعات و داده‌های آب و هواشناسی V3										شرایط و محدودیت‌های روش تخمین سیلاب V4												
	AHP	VIKOR	PROMETEE	TOSIS	SAW	F.TOSIS	F.AHP	ELECTRE	AHP	VIKOR	PROMETEE	TOSIS	SAW	F.TOSIS	F.AHP	ELECTRE	AHP	VIKOR	PROMETEE	TOSIS	SAW	F.TOSIS	F.AHP	ELECTRE	AHP	VIKOR	PROMETEE	TOSIS	SAW	F.TOSIS	F.AHP	ELECTRE	
I	2	1	2	1	2	1	4	2	1	2	1	2	1	2	3	3	2	4	3	3	4	3	3	2	4	3	4	4	3	4	4	1	3
II	1	2	1	2	1	4	4	1	3	1	2	1	2	3	3	2	4	3	3	4	3	2	2	4	2	4	4	3	4	1	1	3	
III	1	1	2	1	1	4	4	2	2	2	1	2	2	3	3	1	4	3	3	4	3	2	2	3	3	4	4	3	4	1	1	4	
IV	4	1	1	1	1	4	4	1	3	2	2	2	2	3	3	2	2	3	3	4	3	2	2	4	1	4	4	3	4	1	1	3	
V	1	1	1	2	1	4	4	1	2	2	2	1	2	3	3	2	4	3	3	4	3	2	2	4	3	4	4	3	4	1	1	3	
VI	1	1	1	1	1	4	4	1	3	2	2	2	2	3	3	2	4	3	3	4	4	2	2	4	2	4	4	3	3	1	1	3	
VII	1	1	1	1	1	4	4	2	3	2	2	2	2	3	3	2	4	3	3	3	3	2	2	3	2	4	4	4	4	1	1	4	
VIII	4	2	1	2	1	4	4	1	3	1	2	1	2	3	3	2	2	3	3	4	3	2	2	4	1	4	4	3	4	1	1	3	
IX	1	1	2	1	1	4	4	1	2	2	1	2	2	3	3	1	4	3	3	4	3	2	2	3	3	4	4	3	4	1	1	4	
X	1	1	1	2	1	4	3	1	2	2	2	1	2	3	2	2	3	3	3	3	3	2	1	4	4	4	4	4	4	1	1	3	
XI	1	1	1	2	1	4	4	2	2	2	2	1	2	3	3	2	4	3	3	3	3	2	2	4	4	4	4	4	4	1	1	3	
XII	1	2	1	1	1	4	4	2	2	1	2	2	2	3	3	2	4	3	3	4	3	2	2	4	3	4	4	3	4	1	1	3	
XIII	1	1	2	1	1	4	4	2	2	2	1	2	2	3	3	1	4	3	3	3	3	2	2	4	3	4	4	4	4	1	1	3	
XIV	1	1	1	2	1	4	4	1	3	2	2	1	2	3	3	2	4	3	3	4	3	2	2	3	2	4	4	3	4	1	1	4	
XV	1	1	1	1	1	2	4	1	2	2	2	2	2	1	3	2	4	3	3	3	3	3	2	4	3	4	4	4	4	3	1	3	
XVI	1	1	1	2	1	4	4	1	2	2	2	1	2	3	3	2	4	3	3	4	3	2	2	4	3	4	4	3	4	1	1	3	
XVII	1	1	1	1	1	4	4	1	3	2	2	2	2	3	3	2	4	3	3	4	3	2	2	4	2	4	4	3	4	1	1	3	

به‌کارگیری مدل‌های ریاضی که با فرض وقایع آینده تکرار وقایع گذشته است و بدون در نظر گرفتن موارد بهره‌برداری و اتفاقات هیدرولوژیکی در حوضه‌های آبریز سدها از موارد دیگر ضعف در این ارزیابی‌ها است. در بررسی گزارش‌های مهندسی مشاور مواردی یافت گردید که در حوضه مورد مطالعه هیچ‌گونه ایستگاه آب و هواشناسی وجود نداشته و حتی در دوره مطالعات نصب اشل موقت در رودخانه انجام نگرفته و حتی یک مورد اندازه‌گیری دبی هم‌زمان با اندازه‌گیری دبی در حوضه‌های مجاور صورت نپذیرفته است و هیچ‌گونه برداشت و نمونه‌گیری از آب و

رسوب نیز انجام نشده است و چند لیتر آب موجود در رودخانه مورد بررسی نیز در ارتباط با تخلیه آب فاضلاب روستاهای بالادست بوده است. حتی در مطالعات رسوب یکی از سدهای مخزنی (سد در حال ساخت قشلاق) تحلیل‌های رسوب بر اساس داده‌های ایستگاه درجه سوم (کله جوب) در پایین دست سد (مجهز به یک اشل) صورت گرفته است. این واقعیات نشان می‌دهد نتایج حاصل از این پژوهش از درستی مناسبی برخوردار است و محدودیت‌های روش‌های تخمین سیلاب (آماری، تجربی، مدل و ...) مهم‌ترین عوامل در عدم ارزیابی درست تخمین سیلاب ورودی به سدهای مخزنی است.

جدول ۷. نتایج نهایی گزینه غالب در مطالعه سدهای مخزنی استان کرمانشاه

میانگین	بردا	کپ لند	غالب
I	V 3	V 3 / V 4	V 3
II	V 3	V 3 / V 4	V 3
III	V 3 / V 4	V 3 / V 4	V 3
IV	V 4	V 4	V 4
V	V 4	V 4	V 4
VI	V 4	V 3	V 4
VII	V 4	V 3	V 4
VIII	V 3	V 3	V 3
IX	V 4	V 4	V 3 / V 4
X	V 4	V 3 / V 4	V 3 / V 4
XI	V 3 / V 4	V 3 / V 4	V 3 / V 4
XII	V 3 / V 4	V 3 / V 4	V 3 / V 4
XIII	V 3 / V 4	V 3 / V 4	V 3 / V 4
XIV	V 4	V 4	V 4
XV	V 4	V 4	V 4
XVI	V 4	V 4	V 4
XVII	V 4	V 4	V 4

علاوه بر این در مورد کیفیت اندازه‌گیری‌های دبی نیز مواردی مشاهده گردید (بخصوص در فصول برداشت آب) که قبل از اندازه‌گیری علاوه بر شق النهرهای مختلف موتور تلمبه‌ها نیز در حال فعالیت بودند و همچنین در سراب و محل‌های سرچشمه رودخانه‌ها که در منطقه کارستی قرار دادند، قبل از تخلیه آب چشمه به رودخانه شرکت‌های آب و فاضلاب روستایی برای شرب روستاها حجم قابل توجهی از آب را پمپاژ می‌نمایند که متأسفانه در آمار و اطلاعات موجود در بانک‌های اطلاعاتی آب ردی از آن وجود ندارد. دفتر تلفیق و بیلان وزارت نیرو قبلاً دستورالعمل‌هایی برای کنترل آمار و اطلاعات منتشر نموده و در سطح جهانی نیز دستورالعمل‌های استاندارد وجود دارد با این حال با توجه به ماشینی شدن محاسبات دقت کمتری در مورد کیفیت آمار اعمال می‌گردد. همه این موارد در این بررسی در پرسشنامه و مصاحبه با کارشناسان فنی و بررسی‌های دفتری و میدانی مطالعات سدهای مخزنی مورد مطالعه لحاظ گردید.

## سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از همکاری خوب سازمان هواشناسی کشور و شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه برای در اختیار گذاشتن بخشی از آمار و اطلاعات این تحقیق سپاسگزارند.

## منابع

جعفری، ندا، حافظ پرست، مریم، و فرهادی، بهمن. (۱۴۰۱). اولویت بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (مطالعه موردی: حوضه آبریز گاماسیاب، کرمانشاه). *مجله مطالعات علوم محیط زیست*، ۴۷۴۰-۴۷۲۷، ۷(۱).  
<https://doi.org/1022034/jess.2022.144732>

## References

- Abdolhosseini, M., & Farzaneh, M. R. (2014). Investigation of internal uncertainty sources of change factor method in downscaling of climatic parameters of future period. *Intl J Agric Crop Sci*, 7(12), 941-949. <https://www.academia.edu/9021424>
- Akay, H. (2021). Flood hazards susceptibility mapping using statistical, fuzzy logic, and MCDM methods. *Soft Computing*, 25(14), 9325-9346. <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1007/s00500-021-05903-1>
- Bobrowsky, P. T. (2013). *Encyclopedia of natural hazards*. Published by Springer. <https://link.springer.com/referencework/10.1007/978-1-4020-4399-4>
- Chitsaz, N., & Banihabib, ME. (2015). Comparison of different multi criteria decision-making models in prioritizing flood management alternatives. *Water Resour Manag*, 29(8), 2503-25. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-015-0954-6>
- Fakhri, M., Farzaneh, M. R., Eslamian, S., & Khordadi, M. J. (2012). Confidence interval assessment to estimate dry and wet spells under climate change in Shahrekord Station, Iran. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(7), 911-918. <https://www.academia.edu/7922627>
- Laikangbam, L., Loukrakpam, CH, & Somchand Singh, T. (2019). Flood Hazard Zonation of Imphal River, Manipur, India, Using AWS Data, *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 8 (4), 1676-1680. <https://www.ijeat.org/wp-content/uploads/papers/v8i4/D6689048419.pdf>
- Jafari, N., Hafezparast, M., & Farhadi, B. (2022). Prioritization of sub-basins using multi-criteria decision making methods (Case study: Gamasiab catchment, Kermanshah). *Journal of Environmental Science Studies*, 7(1), 4727-4740. <https://doi.org/10.22034/jess.2022.144732> [In Persian]
- Levy, J. K. (2005). Multiple criteria decision making and decision support systems for flood risk management. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 19, 438-447. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00477-005-0009-2>
- Mabrouk, M., & Haoying, H. (2023). A multicriteria approach for identifying urban flood-exposed risky districts using multiple-criteria decision-making tools (MCDM). *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 91, 103684. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103684>
- Mousavi, S. M., Ataie-Ashtiani, B., & Hosseini, S. M. (2022). Comparison of statistical and mcdm approaches for flood susceptibility mapping in northern Iran. *Journal of Hydrology*, 612, 128072. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128072>
- Nuri, A. Z., Farzaneh, M., & Espanayi, K. (2014). Assessment of climatic parameters uncertainty under effect of different downscaling techniques. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 8(9), 1316-1320. <https://www.academia.edu/9021536>

- Saaty, T.L. (1980). Multi criteria Decision Making. The Analytic Hierarchy Process. McGraw Hill, New York. <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=1943982>
- Smith, K., & Petley, D. N. (2008). Environmental Hazards, Assessing Risk and Reducing Disaster, 5th edn. Routledge, London. <https://www.routledge.com/Environmental-Hazards-Assessing-Risk-and-Reducing-Disaster/Smith-Smith/p/book/9780415681063>
- Souissi, D., Zouhri, L., Hammami, S., Msaddek, M. H., Zghibi, A., & Dlala, M. (2020). GIS-based MCDM-AHP modeling for flood susceptibility mapping of arid areas, southeastern Tunisia. *Geocarto International*, 35(9), 991-1017. <http://dx.doi.org/10.1080/10106049.2019.1566405>
- Taheri, K., Gutiérrez, F., Mohseni, H., Raeisi, E., & Taheri, M. (2015). Sinkhole susceptibility mapping using the analytical hierarchy process (AHP) and magnitude-frequency relationships: A case study in Hamadan province, Iran. *Geomorphology*, 234, 64-79. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.01.005>
- U.S. Bureau of Reclamations (USBR). (1987). Design of small dams. Water Resour. Technical Pub. <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/mands-pdfs/SmallDams.pdf>
- UNESCO. (2001). Guidelines on Non-Structural Measures in Urban Flood Management, Technical Documents in Hydrology, 50, Paris. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000124004>
- Wing, O., Bates, P., Smith, A., Sampson, C., Johnson, K., Fargione, J., Morefield, P. (2018). Estimates of present and future flood risk in the conterminous United States. *Environ. Res. Lett.* 13, 034023. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaac65>
- Zou, Z. H., Yi, Y., & Sun, J. N. (2006). Entropy method for determination of weight of evaluating indicators in fuzzy synthetic evaluation for water quality assessment. *Journal of Environmental sciences*, 18(5), 1020-1023. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(06\)60032-6](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(06)60032-6)