



## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۳ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۲

صفحه‌های ۸۱-۶۹

# استفاده از مدل شباهت به گزینه ایده‌آل اصلاحی جهت ارزیابی گزینه‌های مدیریت سیلاب

نسترن چیت‌ساز<sup>۱</sup>، محمدابراهیم بنی‌حیب<sup>۲\*</sup>

۱. کارشناس ارشد گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت - ایران

۲. دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت - ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۲/۲۱

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۱/۱۲/۷

### چکیده

استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌عنوان یک سیستم تصمیم‌گیری در مدیریت سیلاب، تأثیر بسزایی دارد. در این مقاله به‌منظور مدیریت سیلاب در رودخانه گرگانرود، از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره شباهت به گزینه ایده‌آل، در رتبه‌بندی هفت گزینه مدیریت سیلاب شامل حفظ شرایط طبیعی، بهره‌برداری از سد گلستان، احداث گوره، احداث کانال انحراف، سامانه پیش‌بینی و هشدار سیل، استفاده از بیمه سیل و سامانه پیش‌بینی و هشدار سیل همراه با بیمه سیل استفاده شده است. به‌منظور ارزیابی گزینه‌ها علاوه بر ارزش کمی معیارهای اجتماعی، فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی، از وزن معیارها نیز استفاده شده است. این داده‌ها بر اساس قضاوت کارشناسی به‌دست آمده است. به‌دلیل محدودیت‌های مدل شباهت به گزینه ایده‌آل، از مدل اصلاحی آن استفاده شده و نتایج آنها با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج نشان داد که مدل اصلاحی هم در رتبه‌بندی و هم در تحلیل حساسیت وزن معیار، بهتر از مدل قبلی آن عمل کرده است. این مدل اهمیت بیشتری به معیارهای اجتماعی و زیست‌محیطی می‌دهد و برای رتبه‌بندی گزینه‌های مدیریت سیلاب در این مقاله توصیه شده است.

**کلیدواژه‌ها:** تحلیل حساسیت، تصمیم‌گیری چندمعیاره، گرگانرود، مدل اصلاحی شباهت به گزینه ایده‌آل، مدیریت سیلاب.

## مقدمه

در گذشته، تصمیم‌گیری‌ها تنها مبتنی بر یک هدف اصلی - بیشینه کردن نسبت سود به هزینه - بود. ناکارآمدی نگرش تک‌بعدی و لزوم جامع‌نگری در اتخاذ بهترین تصمیم‌ها و شیوه‌های مدیریتی، بهره‌گیری از تخصص‌های مختلف براساس معیارهای چندگانه کمی و کیفی و ارائه گزینه‌های مختلف مدیریتی را ضرورت بخشیده است. از این‌رو روش‌های تصمیم‌گیری گروهی و چندمعیاره اهمیت خاصی می‌یابند. بنابراین امروزه با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، دیگر لازم نیست فقط از معادل مالی معیارهای اجتماعی و محیط‌زیستی استفاده شود، بلکه می‌توان معیارهای مختلف را به صورت معیارهای کمی و کیفی برای انتخاب گزینه برتر به کار برد (۹).

کاربرد مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در منابع آب از سال ۱۹۶۲ آغاز شد که در آن مسائل تصمیم‌گیری به صورت بهینه‌سازی به روش برنامه‌ریزی خطی مطرح شد (۱۲). در بررسی‌های انجام‌گرفته به منظور رتبه‌بندی روش‌های برنامه‌ریزی طولانی‌مدت منابع آب، از مدل چندمعیاره برنامه‌ریزی توافقی استفاده شده است (۱۴). همچنین از روش برنامه‌ریزی خطی و مدل‌های چندمعیاره در بهینه‌سازی مخزن و مقایسه معیارهای تخصیص در سیستم‌های چندمخزنه استفاده شده است (۱۷، ۱۹).

یکی از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، مدل شباهت به گزینه ایده‌آل<sup>۱</sup> (TOPSIS) است (۷). این مدل در سال ۱۹۸۱ ابداع شد (۸). در این مدل گزینه‌ها بر اساس شباهت به حل ایده‌آل رتبه‌بندی می‌شوند، به طوری که هر چه یک گزینه به حل ایده‌آل شبیه‌تر باشد، رتبه بیشتری دارد (۲، ۱۸). با توجه به مقایسه مدل‌های شباهت به گزینه ایده‌آل، ویکور و تسلط تقریبی، نتیجه گرفته شد که این مدل‌ها

جواب‌های متفاوتی داشته‌اند (۱۵). در مدیریت راهبردی منابع آب از مدل فازی شباهت به گزینه ایده‌آل استفاده شده که توانسته بین روش‌های مدیریتی رتبه‌بندی مناسبی برقرار کند (۵). همچنین برای ساخت مخازن کنترل سیلاب، بهینه‌سازی فازی بر پایه مدل شباهت به گزینه ایده‌آل صورت گرفته است (۶).

مدل شباهت به گزینه ایده‌آل، با وجود برخورداری از پشتوانه ریاضی قوی، محدودیت‌هایی نیز دارد و روش توسعه‌یافته آن که بیشتر بر توسعه میزان حساسیت معیار شباهت آن تأکید دارد، به عنوان روش شباهت به گزینه ایده‌آل اصلاحی<sup>۲</sup> (M-TOPSIS) مطرح شده است. مدل اصلاحی علاوه بر اصلاح محدودیت‌های مدل قبلی، ارزیابی دقیق‌تری نیز در رتبه‌بندی گزینه‌های مورد بررسی فراهم می‌کند (۱۶). با وجود این، در بسیاری از تحقیقات، مدل شباهت به گزینه ایده‌آل به کار برده شده است و کمتر از مدل اصلاحی آن استفاده کرده‌اند.

در این مقاله گزینه‌های مدیریت سیلاب در حوضه رودخانه گرگانرود با استفاده از مدل شباهت به گزینه ایده‌آل و مدل اصلاحی آن بررسی شده است. همچنین مقایسه‌ای از نظر رتبه‌بندی گزینه‌های مدیریت سیلاب و شدت حساسیت به تغییر وزن معیارها در مدل اصلاحی و مدل قبلی صورت گرفته است.

## مواد و روش‌ها

### ۱. منطقه تحقیق

در تحقیق حاضر، گزینه‌های مدیریت سیلاب به منظور کاهش خسارت سیل در بازه‌ای از رودخانه گرگانرود در استان گلستان بررسی شده است. بازه مورد نظر از سد گلستان یک شروع شده و تا پایین دست شهر گنبد ادامه دارد.

2. Modified- Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

1. Technique for Order P reference by Similarity to Ideal Solution

جدول ۱. بازه اوج سیلاب‌های تاریخی ثبت شده در ایستگاه آب یخی محدوده طرح و خسارت آنها (۱)

سال	دبی اوج سیلاب در ایستگاه تنگراه (مترمکعب بر ثانیه)	دبی اوج سیلاب در ایستگاه گنبد (مترمکعب بر ثانیه)	خسارت وارد شده
۱۳۷۱	۱۸۲	۴۰۱	سیل گرفتگی در اراضی زراعی و مستحقات حاشیه رودخانه
۱۳۸۰	۱۸۷۰	۵۹.۵	خسارت مالی زیاد به زیرساخت‌های اقتصادی، ۴۱۰ کشته، ۶۱۰ میلیارد ریال خسارت
۱۳۸۱	۶۴۴	۵۰	۴۵ کشته، ۲۲۰ میلیارد ریال خسارت
۱۳۸۴	۱۰۵۷	ثبت نشده	خسارت مالی و تلفات جانی (تعداد تلفات جانی گزارش نشده است)

سیلاب سد گلستان؛ گزینه سوم (P۳): احداث گوره؛ گزینه چهارم (P۴): احداث کانال انحراف؛ گزینه پنجم (P۵): پیش‌بینی و هشدار سیلاب؛ گزینه ششم (P۶): استفاده از بیمه سیل؛ گزینه هفتم (P۷): ترکیب گزینه‌های پنجم و ششم. گزینه‌های دوم تا چهارم سازه‌ای و گزینه‌های پنجم تا هفتم غیرسازه‌ای هستند (۳).

گزینه اول برای مقایسه نتایج گزینه‌های دیگر با شرایط طبیعی رودخانه مطرح شده است و شامل هیچ اقدام سازه‌ای و غیرسازه‌ای نیست. گزینه دوم بر استفاده از ظرفیت مهار سیلاب سد گلستان یک تأکید دارد. سد گلستان یک هم‌اکنون احداث شده و در این گزینه فرض بر این بوده که هنگام رخداد سیلاب، سطح آب مخزن سد در تراز نرمال است و حجم ذخیره مازاد بر تراز نرمال به‌عنوان حجم ذخیره سیلاب در روندیابی سیل استفاده می‌شود. از این رو هزینه‌های احداث، بهره‌برداری و نگهداری سد گلستان و نیز پیامدهای اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی سیلاب خروجی از آن در ارزیابی این گزینه استفاده شده است. گزینه سوم از گوره خاکی برای محدودسازی سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ سال استفاده می‌کند. ارتفاع گوره‌ها بر مبنای شبیه‌سازی یک‌بعدی جریان

جدول ۱ دبی اوج سیلاب‌ها و خسارت آنها را در ایستگاه تنگراه بر روی رودخانه دوغ در بالادست سد گلستان و ایستگاه گنبد بر روی رودخانه گرگانرود ارائه می‌دهد. تلفات جانی و خسارت اقتصادی ناشی از سیلاب‌های رخ داده، ضرورت مدیریت سیلاب این رودخانه را نشان می‌دهد.

بهره‌برداری از سد گلستان در سال ۱۳۸۰ شروع شده و بنابراین بده اوج ثبت شده در پایین دست آن در ایستگاه گنبد پس از آن تاریخ تحت تأثیر سیل در مخزن سد کاهش داشته است. البته در این سال به علت عدم بهره‌برداری از طرح آبیاری و زهکشی پایین دست، مخزن خالی بوده و عملاً به‌عنوان مخزن تأخیری عمل کرده است. حوضه آبریز گرگانرود مساحتی بالغ بر ۱۱۳۰۰ کیلومتر مربع دارد و بخش‌هایی از سه استان خراسان شمالی، سمنان و گلستان را زهکشی می‌کند.

## ۲. انتخاب گزینه‌های مدیریت سیلاب

با توجه به شرایط فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی محدوده طرح، گزینه‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای زیر برای مدیریت سیل در بازه تحقیق پیشنهاد شده‌اند (۲۰): گزینه اول (P۱): شرایط طبیعی؛ گزینه دوم (P۲): استفاده از ظرفیت مهار

می‌کند. در این گزینه شرایط طبیعی محدوده طرح حفظ می‌شود و هیچ اقدامی برای کاهش خسارت مالی و تلفات و آسیب‌های جانی صورت نمی‌گیرد و فقط با پرداخت مبلغی به بیمه‌شدگان، نسبت به جبران خسارت سیلاب به آنها اقدام می‌شود. گزینه هفتم ترکیبی از گزینه‌های پنجم و ششم است.

### ۳. معیارهای مورد استفاده در انتخاب گزینه برتر

معیارهای مورد استفاده در مدل‌های چندمعیاره در تحقیق حاضر، در جدول ۲ آورده شده است. این معیارها بر اساس جمع‌آوری معیارهای مورد استفاده در مراجع بین‌المللی و در زمینه مدیریت سیلاب به‌دست آمده است (۱۰، ۱۱، ۱۳).

سیلاب در رودخانه بین ۱ تا ۳/۵ متر تعیین شده و مجموع طول گوره‌های مورد نیاز این گزینه، در طرفین رودخانه برابر با ۴۱۱۵۰ متر است. عرض تاج گوره ۵ متر و شیب شیروانی طرفین آن ۱ قائم و ۲ افقی طرح شده است. گزینه چهارم از کانال انحراف سیلاب به عمق ۳ متر و عرض ۱۰۰ متر و به‌موازات رودخانه در شمال محدوده طرح استفاده می‌کند. گزینه پنجم از سامانه پیش‌بینی و هشدار سیلاب برای کاهش خسارت سیل در محدوده تحقیق استفاده می‌کند. در این گزینه، تغییر فیزیکی در محدوده طرح ایجاد نمی‌شود و شرایط طبیعی آن حفظ می‌شود. گزینه ششم از بیمه سیل برای جبران خسارت سیل استفاده

جدول ۲. معیارهای ارزیابی شده در مدیریت سیلاب

شماره معیار	گروه‌بندی معیار	معیار	توضیح
۱۱	اقتصادی	خسارت مورد انتظار سالانه	میانگین خسارت مورد انتظار سالانه که برای ارزیابی دامنه عکس‌العمل به‌کار می‌رود (۴).
۱۲	فنی	نرخ بازگشت	وضعیت بهتر از شرایط قبل از وقوع سیل.
۱۳	کمی	تدریج (انعطاف‌پذیری)	افزایش عکس‌العمل سیستم با افزایش دبی را نشان می‌دهد که بیانگر افزایش شدت خسارت با افزایش دبی اوج سیل است (۴).
۱۴		تلفات جانی مورد انتظار	میانگین تلفات انسانی مورد انتظار در سال که برای ارزیابی دامنه عکس‌العمل به‌کار می‌رود (۴).
۱۵		احساس امنیت مردم	احساس امنیت مردم در اثر اجرای یک گزینه مدیریت سیلاب که به پایداری اجتماعی یک منطقه کمک می‌کند.
۱۶	اجتماعی	نرخ اشتغال‌زایی	اشتغال یکی از عوامل مهم و رضایتمندی عمومی و پایداری اجتماع محسوب می‌شود.
۱۷		مشارکت مردمی	حد مشارکت مردمی در اجرای یک گزینه نشانه خوبی از رضایتمندی عمومی و پایداری اجتماعی است.
۱۸		حفظ و بهبود مناظر طبیعی	حفظ و بهبود مناظر طبیعی در یک گزینه، شاخصی از پایداری زیست‌محیطی است.
۱۹	کیفی	حفاظت از زیستگاه حیات وحش	حفاظت از زیستگاه حیات وحش در یک گزینه، نقش آن را در توسعه پایدار زیست‌محیطی ارزیابی می‌کند.
۱۱۰	کیفی	حفاظت از کیفیت آب	حفاظت از کیفیت آب در مقابل آلاینده‌ها و رسوب، به بهبود منابع آب و حفظ محیط زیست کمک می‌کند.
۱۱۱	فنی	امکان‌پذیری فنی و سرعت اجرا	محدودیت‌های مالی و فناوری در جوامع در حال توسعه بر امکان‌پذیری فنی و سرعت اجرای یک گزینه اثر می‌گذارد و هر گزینه را با گزینه‌های دیگر در امکان‌پذیری اقتصادی آن و رضایتمندی عمومی متفاوت می‌کند.

#### ۴. مدل‌های مورد استفاده

##### الف) مدل شباهت به گزینه ایده‌آل

در مدل شباهت به گزینه ایده‌آل، گزینه‌ها بر اساس فاصله از حالت ایده‌آل و ضد ایده‌آل رتبه‌بندی می‌شوند. در این مدل برای بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم از رابطه ۴ استفاده می‌شود.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad [4]$$

در این رابطه،  $r_{ij}$  درایه‌های ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده و  $x_{ij}$  عملکرد گزینه  $i$  در رابطه با معیار  $j$  است.

سپس برای هر گزینه، فاصله از حل ایده‌آل و فاصله از حل ضد ایده‌آل به ترتیب از روابط ۵ و ۶ محاسبه می‌شود.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^*)^2} \quad [5]$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad [6]$$

در این رابطه،  $V_{ij} = w_{ij}r_{ij}$ ،  $w_{ij}$  وزن معیار  $j$ ، بهترین مقدار و  $V_j^-$  بدترین مقدار برای هر معیار است.

در آخر معیار شباهت از رابطه ۷ محاسبه می‌شود.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-} \quad [7]$$

مقدار معیار شباهت بین صفر و یک تغییر می‌کند. هر چه گزینه مورد نظر به ایده‌آل نزدیک‌تر باشد، مقدار معیار شباهت آن، به یک نزدیک‌تر خواهد بود. از این رو برای رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس مقدار معیار شباهت، گزینه‌ای که دارای بیشترین معیار شباهت است، در رتبه اول و گزینه‌ای که دارای کمترین معیار شباهت است، در رتبه آخر قرار می‌گیرد (۲، ۷، ۱۸). این مدل اشکالات و محدودیت‌هایی دارد که توسط مدل اصلاحی آن برطرف شده است (۱۶).

با توجه به جدول ۲ معیارهای کمی شامل خسارت مورد انتظار سالیانه<sup>۱</sup> (EAD)، تلفات جانی مورد انتظار سالیانه<sup>۲</sup> (EANC) و نرخ تدریج<sup>۳</sup> است. برای برآورد معیارهای خسارات محسوس مورد انتظار سالیانه، تعداد تلفات مورد انتظار سالیانه با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه می‌شود (۴).

$$EAD = \int_0^{\infty} P(D=0) PD(P) dp \quad [1]$$

$$EANC = \int_0^{\infty} P(D=0) PC(P) dp \quad [2]$$

در این رابطه‌ها، EAD میانگین خسارت مورد انتظار در سال (واحد پولی در سال) و EANC تعداد میانگین مورد انتظار قربانیان در سال است.

برآورد نرخ تدریج با استفاده از رابطه ۳ صورت می‌گیرد.

$$\text{تدریج} = 1 - \sum_{n=1}^N \frac{|\Delta Q'_n - \Delta D'_n|}{200} \quad [3]$$

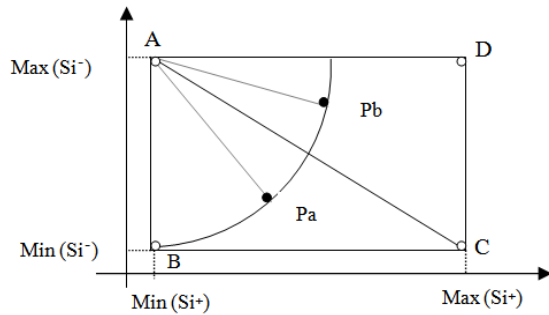
که در آن:

$$\Delta Q'_n = \left[ \frac{100(Q_n - Q_{\min})}{Q_{\max} - Q_{\min}} \right] - \left[ \frac{100(Q_{n-1} - Q_{\min})}{Q_{\max} - Q_{\min}} \right]$$

$$\Delta D'_n = \left[ \frac{100(D_n - D_{\min})}{D_{\max} - D_{\min}} \right] - \left[ \frac{100(D_{n-1} - D_{\min})}{D_{\max} - D_{\min}} \right]$$

$Q$  دبی (مترمکعب بر ثانیه)،  $Q_{\max}$  دبی با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ ساله،  $Q_{\min}$  بالاترین مقدار  $Q$  که به ازای آن  $D=0$  است،  $D$  خسارت نسبی به‌عنوان تابعی از  $Q$  و بر حسب درصد،  $D_{\max} = D(Q_{\max})$  و  $n$  رتبه دبی است (۴).

1. Expected Annual Damage (EAD)
2. Expected Average Number of Casualties Per Year (EANC)
3. Gradually



شکل ۱. نمودار مقادیر فاصله از حالت ایده‌آل و ضدایده‌آل

۲- با توجه به مقایسه مدل اصلاحی با مدل اولیه، نتایج هر دو مدل، برای گزینه‌هایی که در نزدیکی خط AC قرار دارند، یکسان و برای گزینه‌هایی که در فاصله دورتری هستند، متفاوت بوده است. مدل اصلاحی برای نقاط دورتر از خط AC جواب‌های منطقی‌تری داشته، به طوری که گزینه‌های برتر در مقایسه با سایر گزینه‌ها فاصله کمتری از حالت ایده‌آل و فاصله بیشتری از حالت ضدایده‌آل داشته‌اند (۱۶). این قسمت در بخش نتایج به صورت محاسباتی و نموداری نشان داده شده است.

برای تحلیل حساسیت مدل با تغییر در وزن معیارها، وزن هر یک از معیارها به مقادیر حداکثر و حداقل ممکن آن معیار رسانده و تغییرات ایجاد شده در رتبه‌بندی‌ها بررسی شده است. وزن‌های به کار رفته در مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره وزن نسبی و مجموع آنها برابر یک بوده است. بنابراین با هرگونه تغییر در وزن یک معیار، تغییراتی در وزن سایر معیارها مطابق رابطه ۹ ایجاد شده و جمع آنها برابر یک باقی مانده است.

$$W'_j = \frac{1 - W'_i}{1 - W_i} \times W_j \quad [9]$$

در این رابطه،  $W'_i$  حداکثر (حداقل) مقدار معیار  $i$ ،  $W_i$  وزن قبلی معیار  $i$ ،  $W_j$  وزن قبلی معیار  $j$  و  $W'_j$  وزن جدید معیار  $j$  است.

### ب) مدل اصلاحی شباهت به گزینه ایده‌آل

رتبه‌بندی این مدل نیز بر اساس فاصله از حالت ایده‌آل و ضد ایده‌آل است، با این تفاوت که در مدل اصلاحی، رابطه معیار شباهت بر اساس فاصله از یک نقطه مرجع است. نقطه مرجع کمترین فاصله از حالت ایده‌آل و بیشترین فاصله از حالت ضد ایده‌آل را دارد. در این مدل تمام مراحل مانند مدل قبلی است و تنها رابطه معیار شباهت به صورت رابطه ۸ اصلاح شده است (۱۶).

$$C_{im}^* = \sqrt{[S_i^* - \min(S_i^*)]^2 + [S_i^- - \max(S_i^-)]^2} \quad [8]$$

معیار شباهت بر اساس فاصله گزینه‌ها از حالت ایده‌آل است و هر چه مقدار آن کمتر باشد، گزینه به حالت ایده‌آل نزدیک‌تر می‌شود و در رتبه بالاتری قرار می‌گیرد. با استفاده از این رابطه محدودیت‌های مدل شباهت به گزینه ایده‌آل اصلاح شده است که در ادامه به صورت مثال عددی نشان داده شده است.

### ج) محدودیت‌های مدل شباهت به گزینه ایده‌آل

۱- اگر در مدل شباهت به گزینه ایده‌آل، مقادیر فاصله از حالت ایده‌آل و ضد ایده‌آل گزینه‌ها در نموداری مطابق شکل ۱ رسم شود، گزینه‌هایی مانند  $P_a$  و  $P_b$  که به صورت متقارن در دو طرف خط AC قرار دارند، جواب‌های یکسانی برای معیار شباهت خواهند داشت. خط AC خطی است که مقادیر حداکثر و حداقل فاصله‌های ایده‌آل و ضد ایده‌آل را به هم وصل می‌کند. مدل شباهت به گزینه ایده‌آل نمی‌تواند برتری این دو گزینه را تعیین کند، اما مدل اصلاحی این محدودیت را ندارد (۱۶).

استفاده از مدل شباهت به گزینه ایده‌آل اصلاحی جهت ارزیابی گزینه‌های مدیریت سیلاب

### نتایج و بحث

در این بررسی وزن معیارها و امتیاز هر گزینه در برآورده کردن معیارها (ماتریس تصمیم)، بر اساس نظرخواهی از سی متخصص آب به دست آمد که در جدول ۳ آورده شده است. نتایج رتبه‌بندی مدل شباهت به گزینه ایده‌آل و مدل اصلاحی آن نیز در جدول ۴ آمده است. با توجه به نتایج رتبه‌بندی مدل شباهت به گزینه

ایده‌آل، رتبه اول تا هفتم به ترتیب به گزینه‌های P۷، P۴، P۵، P۲، P۳، P۶ و P۱ اختصاص یافته است. مدل اصلاحی شباهت به گزینه ایده‌آل در مقابل با مدل قبلی آن، گزینه غیرسازه‌ای سامانه هشدار همراه با بیمه سیل (P۷) را به گزینه سازه‌ای کانال (P۴) ترجیح داده و در رتبه اول قرار داده است. همچنین گزینه سازه‌ای سد (P۲) را به گزینه غیرسازه‌ای هشدار سیل (P۵) ترجیح داده است.

جدول ۳. مقادیر ماتریس تصمیم و وزن معیارها

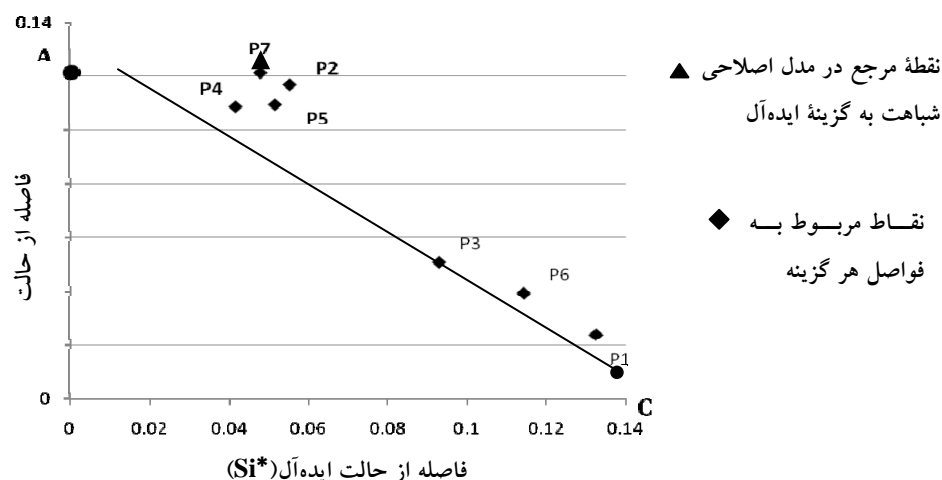
معیارها	P۱	P۲	P۳	P۴	P۵	P۶	P۷	W
I۱	۱۱۷۹۲	۱۷۷۶۷	۱۲۵۷۴	۲۸۶۵	۱۲۰۸۳	۱۱۷۹۲	۱۲۰۸۳	۰/۰۹
I۲	۵/۷	۶	۵/۷	۵/۷	۶/۳	۶/۷	۶/۷	۰/۱۱
I۳	۰/۸۳	۰/۸	۰/۷۳	۰/۹۴	۰/۸۶	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۰۵
I۴	۴/۴	۱/۹	۳/۸	۲/۲	۲	۴/۴	۲	۰/۳۱
I۵	۱	۴	۳	۳/۵	۴	۲/۵	۵	۰/۱۷۵
I۶	۱	۰/۶	۰/۹	۵/۸	۰/۴	۱	۰/۴	۰/۰۳
I۷	۲	۳	۳	۳	۳/۵	۲/۵	۴	۰/۰۵
I۸	۳	۵	۱	۲	۴	۳	۴	۰/۰۲
I۹	۴	۲	۲	۲	۴	۴	۴	۰/۰۶۵
I۱۰	۱	۵	۲/۸	۳	۲	۲	۲	۰/۰۷
I۱۱	۴	۲	۳	۲/۵	۴	۳/۵	۳	۰/۰۳

جدول ۴. نتایج مدل‌های شباهت به گزینه ایده‌آل و مدل اصلاحی

گزینه‌ها	$S_1^*$	رتبه $S_1^*$	$S_1^-$	رتبه $S_1^-$	$G_1^*$	رتبه مدل شباهت به گزینه ایده‌آل	$G_{IM}^*$	رتبه مدل اصلاحی شباهت به گزینه ایده‌آل
P۱	۰/۱۳۲	۷	۰/۰۲۴	۷	۰/۱۵۳	۷	۰/۱۳۲	۷
P۲	۰/۰۵۵	۴	۰/۱۱۶	۲	۰/۶۷۸	۴	۰/۰۱۴	۳
P۳	۰/۰۹۲	۵	۰/۰۵	۵	۰/۳۵۳	۵	۰/۰۸۷	۵
P۴	۰/۰۴۱	۱	۰/۱۰۸	۴	۰/۷۲۲	۱	۰/۰۱۲	۲
P۵	۰/۰۵۱	۳	۰/۱۰۹	۳	۰/۶۷۹	۳	۰/۰۱۵	۴
P۶	۰/۱۱۴	۶	۰/۰۳۹	۶	۰/۲۵۶	۶	۰/۱۰۹	۶
P۷	۰/۰۴۷	۲	۰/۱۲۱	۱	۰/۷۱۶	۲	۰/۰۰۶	۱

### مدیریت آب و آبیاری

دوره ۳ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۲



شکل ۲. نمودار مقادیر فاصله از حالت ایده‌آل و ضد ایده‌آل

دورتر بوده است. ولی با توجه به مقادیر فاصله این دو گزینه در جدول ۴، دورتر بودن گزینه هشدار همراه با بیمه سیل از حالت ضد ایده‌آل کمی بیشتر از نزدیک‌تر بودن گزینه کانال به حالت ایده‌آل است، بنابراین برتر بودن گزینه هشدار همراه با بیمه سیل قابل قبول بوده است.

مقادیر فاصله از حالت ایده‌آل و ضد ایده‌آل معیارهای هر گزینه در جدول ۵ آمده است. با توجه به این جدول معیارهایی که در تعیین رتبه‌بندی مدل‌ها تأثیر بیشتری داشته‌اند تعیین شده است. در مدل شباهت به گزینه ایده‌آل، گزینه کانال را برتر از گزینه هشدار همراه با بیمه سیل قرار داده که معیارهای تأثیرگذار در برتری کانال شامل معیارهای انعطاف‌پذیری، اشتغال‌زایی و خسارت سالانه بوده‌اند که کمترین فاصله از حالت ایده‌آل و بیشترین فاصله از حالت ضد ایده‌آل را در بین معیارهای دیگر داشته‌اند. همچنین گزینه بیمه سیل برتر از سد بوده که معیارهای بازیابی و زیستگاه حیات وحش بیشترین تأثیر را داشته‌اند.

در مدل اصلاحی گزینه هشدار همراه با بیمه سیل برتر از گزینه کانال و گزینه سد برتر از گزینه بیمه سیل بوده است و معیارهای بازیابی، احساس امنیت، بهره‌گیری از

مقادیر فاصله از حالت ایده‌آل و ضد ایده‌آل برای تمام گزینه‌ها در شکل ۲ آورده شده است.

با توجه به این نمودار و توضیحات بخش ب در محدودیت‌های مدل شباهت به گزینه ایده‌آل، اختلاف جواب مدل شباهت به گزینه ایده‌آل با مدل اصلاحی آن به دلیل قرار گرفتن این چهار گزینه در فاصله دورتری از خط AC (خطی که نقطه ایده‌آل و ضدایده‌آل را به هم متصل کرده) بوده است. مدل اصلاحی با توجه به فاصله از حالت ایده‌آل و ضد ایده‌آل گزینه‌ها نقطه‌ای را به عنوان نقطه مرجع در نظر گرفته که در بین این گزینه‌ها نزدیک‌ترین فاصله را به حالت ایده‌آل و دورترین فاصله را از حالت ضد ایده‌آل داشته باشد. با توجه به جدول ۴ مختصات این نقطه (۰/۱۲۱ و ۰/۰۴۱) بوده است. گزینه سامانه هشدار همراه با بیمه سیل (PV) نزدیک‌ترین فاصله به این نقطه را داشته و در بین گزینه‌های سد (P2) و هشدار سیل (P5)، گزینه سد به نقطه مرجع نزدیک‌تر بوده است. همچنین در مقایسه دو گزینه سامانه هشدار همراه با بیمه سیل و گزینه کانال نتیجه گرفته شده که گزینه کانال به حالت ایده‌آل و ضدایده‌آل نزدیک‌تر بوده و گزینه هشدار همراه با بیمه سیل از حالت ایده‌آل و ضدایده‌آل



استفاده از مدل شباهت به گزینه ایده آل اصلاحی جهت ارزیابی گزینه‌های مدیریت سیلاب

تغییراتی که در وزن سایر معیارها ایجاد می‌شود، مانند رابطه ۷ محاسبه شده و تغییرات در رتبه‌بندی مدل‌های شباهت به گزینه ایده آل و مدل اصلاحی آن بررسی شده است. به دلیل حجم زیاد داده‌ها، تنها معیارهایی که تغییرات وزن آنها موجب ایجاد تغییرات در رتبه‌بندی‌ها شده‌اند، در جدول ۷ آورده شده و رتبه‌بندی سایر معیارها مطابق جدول ۴ بوده است.

مشارکت و زیستگاه حیات وحش در گزینه هشدار همراه با بیمه سیل و معیارهای تلفات جانی، مناظر طبیعی و کیفیت آب در گزینه سد بیشترین تأثیر را در رتبه‌بندی این گزینه‌ها داشته‌اند.

برای تحلیل حساسیت مدل‌ها، حداقل و حداکثر مقدار برای وزن معیارهای مطرح شده در نظرسنجی‌ها توسط متخصصان، در جدول ۶ به دست آمده است. سپس

جدول ۵. فاصله از حالت ایده آل و ضد ایده آل معیارها در هر گزینه

فاصله از حالت ایده آل معیارها											
گزینه‌ها	I1	I2	I3	I4	I5	I6	IV	I8	I9	I10	I11
P1	۰/۰۲۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰۵	۰	۰/۰۳	۰
P2	۰/۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰	۰/۰۱۹	۰/۰۳	۰/۰۰۶	۰	۰/۰۱	۰	۰/۰۰۶
P3	۰/۰۲۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۷	۰/۰۳۸	۰/۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰۳
P4	۰	۰/۰۰۶	۰	۰/۰۱	۰/۰۲۹	۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷	۰/۰۱	۰/۰۱۹	۰/۰۰۵
P5	۰/۰۲۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۱۹	۰/۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۲۹	۰
P6	۰/۰۲۴	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۹۲	۰/۰۴۸	۰/۰۲	۰/۰۰۹	۰/۰۰۵	۰	۰/۰۲۹	۰/۰۰۱
P7	۰/۰۲۵	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰	۰/۰۳	۰	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۲۹	۰/۰۰۳

فاصله از حالت ضد ایده آل معیارها											
گزینه‌ها	I1	I2	I3	I4	I5	I6	IV	I8	I9	I10	I11
P1	۰/۰۱۶	۰	۰/۰۰۲	۰	۰	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۰۵	۰/۰۱۴	۰	۰/۰۰۶
P2	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۹	۰/۰۵	۰	۰/۰۰۶	۰/۰۱	۰	۰/۰۳۹	۰
P3	۰/۰۱۴	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	۰	۰	۰/۰۱۷	۰/۰۰۳
P4	۰/۰۴۱	۰	۰/۰۰۵	۰/۰۸	۰/۰۴۸	۰/۰۲۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۱۹	۰/۰۰۱
P5	۰/۰۱۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۹	۰/۰۵۸	۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷	۰/۰۱۴	۰/۰۰۹	۰/۰۰۶
P6	۰/۰۱۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۲۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۱۴	۰/۰۰۹	۰/۰۰۵
P7	۰/۰۱۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۹	۰/۰۷	۰	۰/۰۱۲	۰/۰۰۷	۰/۰۱۴	۰/۰۰۹	۰/۰۰۳

جدول ۶. مقادیر حداقل و حداکثر مقدار برای وزن معیارها

معیارها	حداکثر مقدار وزن معیار	حداقل مقدار وزن معیار
I۱	۰/۱۸	۰/۰۲۱
I۲	۰/۱۹	۰/۰۲۳
I۳	۰/۱۶	۰/۰۲۱
I۴	۰/۳۶	۰/۱۱
I۵	۰/۳	۰/۱
I۶	۰/۱	۰/۰۱۲
I۷	۰/۱۹	۰/۰۱۲
I۸	۰/۰۸	۰/۰۱۳
I۹	۰/۱۹	۰/۰۲
I۱۰	۰/۱۵	۰/۰۲
I۱۱	۰/۱	۰/۰۱۲

جدول ۷. تغییرات رتبه‌بندی مدل شباهت به گزینه ایده‌آل و مدل اصلاحی بر اساس تغییر وزن معیارها

تغییر در وزن معیارها	رتبه‌بندی گزینه P۱	رتبه‌بندی گزینه P۲	رتبه‌بندی گزینه P۳	رتبه‌بندی گزینه P۴	رتبه‌بندی گزینه P۵	رتبه‌بندی گزینه P۶	رتبه‌بندی گزینه P۷
رتبه‌بندی مدل شباهت به گزینه ایده‌آل							
بدون تغییر وزن معیارها	۷	۴	۵	۱	۳	۶	۲
حداکثر وزن I۲	۷	۴	۵	۲	۳	۶	۱
حداکثر وزن I۵	۷	۳	۵	۴	۲	۶	۱
حداقل وزن I۶	۷	۴	۵	۲	۳	۶	۱
حداکثر وزن I۸	۷	۲	۵	۳	۴	۶	۱
حداکثر وزن I۹	۷	۴	۶	۳	۲	۵	۱
حداکثر وزن I۱۰	۷	۱	۵	۲	۴	۶	۳
حداقل وزن I۱۰	۷	۴	۵	۲	۳	۶	۱
حداکثر وزن I۱۱	۷	۴	۵	۲	۳	۶	۱
رتبه‌بندی مدل شباهت به گزینه ایده‌آل اصلاحی							
بدون تغییر وزن معیارها	۷	۳	۵	۲	۴	۶	۱
حداکثر وزن I۱	۷	۴	۵	۱	۳	۶	۲
حداقل وزن I۵	۷	۴	۵	۱	۳	۶	۲
حداکثر وزن I۱۰	۷	۱	۶	۲	۴	۵	۳

با توجه به بررسی حساسیت این دو مدل نسبت به تغییر وزن معیارها مطابق جدول ۷، نتیجه گرفته شد که مدل شباهت به گزینه ایده‌آل نسبت به معیارهای فنی بازیابی و قابلیت سرعت و اجرا، معیارهای اجتماعی نرخ اشتغال‌زایی و احساس امنیت و معیارهای زیبایی مناظر، زیستگاه حیات وحش و کیفیت آب حساسیت داشته، به طوری که سبب تغییر در رتبه اول شده است. در بیشتر این معیارها رتبه اول به گزینه سامانه هشدار همراه با بیمه سیل اختصاص یافته است که به دلیل امتیاز زیاد این گزینه در معیارهای یادشده بوده است. در مدل اصلاحی شباهت به گزینه ایده‌آل تنها به معیار اقتصادی خسارت سالانه، معیار اجتماعی احساس امنیت و معیار زیست‌محیطی کیفیت آب حساسیت داشته، به طوری که با تغییر معیار خسارت سالانه و امنیت، رتبه اول به گزینه کانال انحراف و با تغییر معیار کیفیت آب به حداکثر آن، رتبه اول به گزینه سد اختصاص یافته است. به طور کلی مدل اصلاحی شباهت به گزینه ایده‌آل حساسیت کمتری به تغییر در وزن معیارها نشان داده است.

### نتیجه‌گیری

در این مقاله هفت گزینه مدیریت سیلاب در مطالعه موردی (بخشی از حوضه آبخیز گرگانرود) بررسی شده و توسط مدل‌های شباهت به گزینه ایده‌آل و مدل اصلاحی آن اولویت‌بندی شده است. در این مدل‌ها کسب پایین‌ترین رتبه توسط گزینه شرایط طبیعی، نشان‌دهنده تأکید بر اجرای پروژه مدیریت سیلاب است. تفاوت رتبه‌بندی این دو مدل در گزینه‌های کانال، سامانه هشدار همراه با بیمه سیل، سد و بیمه سیل بوده است. با توجه به بررسی فاصله از حالت ایده‌آل و ضدایده‌آل این چهار گزینه، نتیجه گرفته شد که مدل اصلاحی شباهت به گزینه ایده‌آل نتایج منطقی‌تری داشته و گزینه‌هایی را برتر دانسته است که فاصله کمتری با حالت ایده‌آل و فاصله بیشتری با حالت

ضد ایده‌آل داشته‌اند. مدل شباهت به گزینه ایده‌آل به معیار اقتصادی و فنی اهمیت بیشتری داده و در تحلیل حساسیت نیز به معیار اقتصادی حساسیتی نداشته است. مدل اصلاحی شباهت به گزینه ایده‌آل به معیارهای اجتماعی و زیست‌محیطی اهمیت بیشتری داده و در تحلیل حساسیت نیز نسبت به مدل قبلی حساسیت خیلی کمتری داشته است. با توجه به وزن‌دهی معیارها در این مقاله، معیارهای اجتماعی با وزن ۰/۵۶ بیشترین وزن و معیار اقتصادی با وزن ۰/۰۹ کمترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند، بنابراین با توجه به اهمیت زیاد معیارهای اجتماعی، استفاده از مدل اصلاحی شباهت به گزینه ایده‌آل نتایج مناسب‌تری نسبت به مدل قبلی آن داشته است. با توجه به تحقیقات انجام‌گرفته، بزرگی و یزدان‌دوست (۲۰۱۱) گزینه‌های مدیریت سیلاب در منطقه گرگانرود را با استفاده از روش ارزیابی داده‌های ترکیبی بررسی کرده و گزینه هشدار همراه با بیمه سیل را در رتبه برتر قرار داده‌اند. بنابراین نتایج مدل ذکرشده شباهت بیشتری به مدل اصلاحی شباهت به گزینه ایده‌آل داشته است. همچنین رن و همکاران (۲۰۰۷) برتری مدل اصلاحی شباهت به گزینه ایده‌آل نسبت به مدل قبلی را با توجه به بیان محدودیت‌های آن بررسی کرده‌اند. در این تحقیق نیز علاوه بر بررسی محدودیت‌های مدل قبلی، تحلیل حساسیت در تغییر وزن معیارها صورت گرفت و نتیجه گرفته شد که مدل اصلاحی در همه این موارد نتایج قابل قبولی را در مقایسه با مدل قبلی شباهت به گزینه ایده‌آل ارائه کرده است.

### منابع

۱. گزارش بررسی وضعیت سیل کشور، سایت اینترنتی حفاظت و بهره‌برداری از رودخانه‌ها و سواحل ایران، دفتر حفاظت و مهندسی رودخانه و سواحل و کنترل سیلاب، شرکت مدیریت منابع آب ایران، <http://www.iranrivers.com>

2. BONDOR C and M UREŞAN A (2012) Correlated Criteria in Decision Models: Recurrent Application of TOPSIS Method. Applied Medical Informatics Original Research. 30(1): 55-63.
3. Bozorgy B and Yazdandoost F (2011) Assessment of Flood Risk Management Strategies in Mixed-use Urban and Rural River Basins, Case Study: Gorgan River Basin. 10th Conference on Hydraulics in Water Engineering, Engineers Australia.
4. De Bruijn KM (2005) Resilience and flood risk management. A systems approach applied to lowland rivers. 216 pp.
5. Emami M, Nazari K and Fardmanesh H (2012) Application of Fuzzy TOPSIS Technique for Strategic Management Decision. Journal of Basic and Applied Scientific Research. 2(1): 685-689.
6. Fu G (2008) A fuzzy optimization method for multi criteria decision making: An application to reservoir flood control operation. Expert System with Applications. 1(34): 145-149.
7. Hosseinzadeh Lotfi F, Fallahnejad R and Navidi N (2011) Ranking Efficient Units in DEA by Using TOPSIS Method. Applied Mathematical Sciences. 5(17): 805 - 815.
8. Hwang CL and Yoon K (1981) Multiple Attribute Decision Making. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Springer, New York.
9. Hyde KM, Maier HR and Colby CB (2005) A Distance-Based Uncertainty Analysis Approach to Multi Criteria Decision Analysis for Water Resource Decision Making. Journal of Environmental Management. 77(4): 278-290.
10. Kubal C, Haase D, Meyer V and Scheuer S (2009) Integrated urban flood risk assessment – adapting a multi-criteria approach to a city. Natural Hazards and Earth System Sciences. 9(6):1881-1895.
11. Long WJ (2006) Multi-Criteria Decision-Making for water resource management in the BERG water management area. University of Stellenbosch, Ph.D. Dissertation.
12. Maass A, Hufschmidt M, Dorfman R, Thomas HA, Marglin SA and Fair GM (1962) Design of Water Resources Systems Harvard University Press, Cambridge.
13. Meyer V, Scheuer S and Haase D (2009) A multi-criteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany. Natural Hazards. 48:17-39.
14. Mohan S and Raipure M (1992) Multi-objective analysis of multi-reservoir system. Journal of Water Resources Planning and Management. 118(4):356-370.
15. Pourjavad E (2011) A MCDM Approach for Prioritizing Production Lines: A Case Study Published by Canadian Center of Science and Education. International Journal of Business and Management. 6(10):221-229.
16. Ren L, Zhang Y, Wang Y and Sun Z (2007) Comparative Analysis of a Novel M-TOPSIS Method and TOPSIS Applied Mathematics Research Express. 1-10.

17. Simonovic SP (1996) Decision Support Systems For Sustainable Management Of Water Resources General Principles. Water International. 21(4): 223-232.
18. Vimal J, Chaturvedi V, and Kumar DA (2012) APPLICATION OF TOPSIS METHOD FOR SUPPLIER SELECTION IN MANUFACTURING INDUSTRY IJREAS. International Journal of Research in Engineering & Applied Sciences. 2(5):95-100.
19. Wang Y and Z Sun (2005) Development of Research on Medical Synthetic Evaluation Method. Journal of Central South University (Medical Science). 30(2):228-232.
20. Yazdandoost F, Bozorgy B (2008) Flood risk management strategies using multi-criteria analysis. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Water Management. 161 (5): 261-266.