Archive of SID

مجله پژوهش آب ایران
جلد ۹/ شماره ۳/ پیاپی ۱۸/ پاییز ۱۳۹۴ (۷۹-۸۷)

استفاده از مدل برنامه‌ریزی توافقی در تصمیم‌گیری بهینه مدیریت سیلاب

محمد ابراهیم بنی‌حبیب[1*] و نسترن چیت‌ساز[2]

چکیده

در این مقاله، برای مدیریت سیلاب در حوضه گرگان‌رود، از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره برنامه‌ریزی توافقی برای رتبه‌بندی گزینه‌های مدیریت سیلاب شامل حفظ شرایط طبیعی، بهره‌برداری از سد گلستان، احداث گوره، احداث کانال انحراف، سامانه پیش‌بینی و هشدار سیل، بیمه سیل و گزینه ترکیبی سامانه پیش‌بینی و هشدارسیل با بیمه سیل، استفاده شده است. گزینه‌ها براساس ۱۱ معیار شامل تلفات جانی مورد انتظار، نرخ بازیابی، نرخ تدریج، خسارت مورد انتظار سالانه، احساس امنیت مردم، نرخ اشتغال‌زایی، مشارکت مردمی، حفظ و بهبود مناظر طبیعی، حفاظت از زیستگاه حیات‌وحش، حفاظت ازکیفیت آب و امکان‌پذیری فنی گزینه‌ها، رتبه‌بندی شده‌اند. سپس نتایج رتبه‌بندی گزینه‌ها در مدل برنامه‌ریزی توافقی با نتایج رتبه‌بندی مدل وزن‌دهی ساده مقایسه شده است. نتایج نشان داد که مدل برنامه‌ریزی توافقی در مقایسه با مدل وزن‌دهی ساده به معیار فنی نرخ بازیابی و معیارهای اجتماعی تلفات جانی و احساس امنیت مهم‌تر بوده است. همچنین تحلیل حساسیت مدل‌ها که براساس تغییر وزن معیارها صورت گرفت. نتایج نشان می‌دهد که مدل برنامه‌ریزی توافقی حساسیت کمتری به تغییر وزن معیارها داشته و به‌دلیل درنظر گرفتن فاصله از حل ایده‌ال، بین معیارهای مورد بررسی تمایز ایجاد کرده‌است. در این مدل با افزایش مقدار پارامتر توافقی، میزان اهمیت فاصله از حالت ایده‌ال معیارهای اقتصادی، فنی و اجتماعی مهم‌تر هستند. در حالیکه مدل وزن‌دهی ساده با وجود حساس بودن نسبت به تغییر وزن معیارها، تمایز مشخصی بین معیارها ایجاد نمی‌کند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل حساسیت، تصمیم‌گیری چندمعیاره، مدیریت سیلاب، مدل برنامه‌ریزی توافقی.

ارجاع: بنی‌حبیب م. ا. و چیت‌ساز ن. ۱۳۹۴. استفاده از مدل برنامه‌ریزی توافقی در تصمیم‌گیری بهینه مدیریت سیلاب. مجله پژوهش آب ایران. ۱۸: ۸۷-۷۹.

۱- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.
*** نویسنده مسئول: banihabib@ut.ac.ir**
تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۹/۳۰

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، با توجه به وجود سناریوهای مدیریتی و لزوم ارزیابی با معیارهای مختلف، برای تصمیم‌گیری بهینه ضروری است. تصمیم‌گیری در مسائل منابع آب به‌دلیل لزوم درنظر داشتن توأم عامل‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی پیچیده بوده ولی استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند تا حدی از این پیچیدگی کم کند. در گذشته تصمیم‌گیری‌ها فقط مبتنی بر یک هدف اصلی (بیشینه نمودن نسبت سود به هزینه) انجام می‌شده، اما امروزه با استفاده از این مدل‌ها می‌توان تمامی معیارهای کیفی، کمی و معیارهای متضاد را در کنار هم بررسی کرد (پکار و رماچندران، ۲۰۰۴). وانگ و همکاران (۲۰۰۵) از مدل‌های چندمعیاره برای بهینه‌سازی مخزن استفاده کرده و انواع توابع به کار برده شده در مدل بهینه‌سازی را مطرح کردند. یکی از پرکاربردترین مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مدل وزن‌دهی ساده (SAW[1]) است (افشاری و همکاران، ۲۰۱۰). این مدل توسط هوانگ و یون (۱۹۸۱) ارائه شده است. اساس این مدل جمع وزنی معیارهای هر گزینه است. چانگ و یه (۲۰۰۱) این مدل را با سایر مدل‌های تصمیم‌گیری مقایسه کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که به‌دلیل ساده بودن و داشتن نتایجی مشابه سایر مدل‌ها می‌تواند مدل مناسبی به شمار آید. مدل برنامه‌ریزی توافقی (CP[2]) که از دیگر مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است، توسط کوچران و زلنی (۱۹۷۳) ارائه شد. در این مدل، فاصله گزینه‌ها از جواب ایده‌ال تعیین می‌شود و گزینه بهینه، گزینه‌ای است که حداقل فاصله را نسبت به جواب ایده‌ال داشته باشد (آتوال و چارابری، ۲۰۱۲). از پژوهش‌های انجام شده در این مدل می‌توان پژوهش‌های بالستر و همکاران (۲۰۰۳)، پرز گلادیش و همکاران (۲۰۰۶) را نام برد که در زمینه مسائل اقتصادی هستند ولی نتیجه کار آن‌ها خیلی موفقیت‌آمیز نبوده و شاید به این دلیل باشد که این مدل با مسائل بهینه‌سازی اقتصادی وجوه مشترک ندارد. به همین دلیل، پژوهش‌های اخیر بیشتر در جهت مقایسه مدل‌های بهینه‌سازی مرسوم با مدل برنامه‌ریزی توافقی هستند. با توجه به وجود معیارهای مختلف فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مؤثر در انتخاب گزینه برتر مدیریت سیلاب، ارزیابی مدل‌های چندمعیاره تصمیم‌گیری مانند مدل برنامه‌ریزی توافقی در این زمینه می‌تواند مفید باشد. بنابراین توانایی آن بایستی بررسی شود. از آنجا که در پژوهش‌های گذشته، بررسی‌های کمی در زمینه مقایسه مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره برنامه‌ریزی توافقی و تعیین توانایی‌های این مدل در زمینه‌های مختلف فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی انجام شده است، در این مقاله گزینه‌های مدیریت سیلاب با مدل برنامه‌ریزی توافقی رتبه‌بندی شده و نتایج آن با مدل وزن‌دهی ساده که یکی از رایج‌ترین مدل‌ها مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش، گزینه‌های مدیریت سیلاب براساس معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی و با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برنامه‌ریزی توافقی و وزن‌دهی ساده برای کاهش خسارت سیل در بازه‌ای از رودخانه گرگان‌رود، دراستان گلستان بررسی شده‌است. بازه مورد نظر از سد گلستان یک شروع شده و تا پایین‌دست شهر گنبد ادامه دارد که به‌صورت شکل ۱ است.

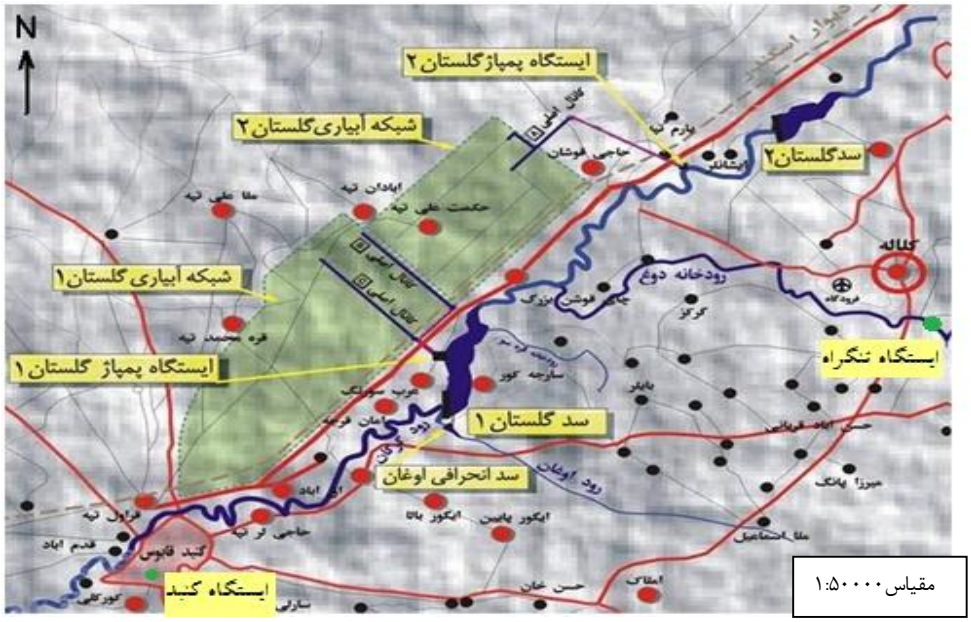
گزینه‌های مدیریت سیلاب

گزینه‌های مدیریت سیلاب به دو دسته سازه‌ای و غیرسازه‌ای طبقه‌بندی می‌شود. گزینه‌هایی مانند استفاده از سدها و مخازن مهار سیلاب، کانال انحراف سیلاب، گوره‌ها و اصلاح مسیر و مقاطع رودخانه از دسته گزینه‌های سازه‌ای کاهش خسارت سیل محسوب می‌شود (کندزیس، ۲۰۰۱). گزینه‌های دیگری که مستقیم بر روی جریان سیل اثر نمی‌گذارند مانند سامانه پیش‌بینی و هشدارسیلاب، بیمه سیل و نظیر آن‌ها از دسته گزینه‌های غیرسازه‌ای محسوب می‌شوند. با توجه به شرایط فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی محدوده طرح گزینه‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای زیر برای مدیریت سیل در بازه مورد مطالعه پیشنهاد شده‌اند (یزدان دوست و بزرگی، ۲۰۰۸).

1- Simple Additive Weighting
2- Compromise Programming

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- محدوده حوضه آبریز گرگان‌رود

گزینه اول، (A۱) شرایط طبیعی، گزینه دوم (A۲)، استفاده از ظرفیت مهار سیلاب سد گلستان، گزینه سوم (A۳)، احداث گوره، گزینه چهارم (A۴)، احداث کانال انحراف، گزینه پنجم (A۵)، پیش‌بینی و هشدارسیلاب، گزینه ششم (A۶) استفاده از بیمه سیل و گزینه هفتم (A۷)، ترکیب گزینه‌های پنجم و ششم. گزینه‌های دوم تا چهارم سازه‌ای است و گزینه‌های پنجم تا هفتم غیرسازه‌ی هستند. گزینه اول برای مقایسه نتایج گزینه‌های دیگر با شرایط طبیعی رودخانه مطرح شده است. گزینه دوم بر استفاده از ظرفیت مهار سیلاب سد گلستان یک تأکید دارد. سد گلستان یک هم اکنون احداث شده و در این گزینه فرض بر این بوده که هنگام رخداد سیلاب سطح آب مخزن سد در تراز نرمال بوده و حجم ذخیره مازاد بر تراز نرمال، به‌عنوان حجم ذخیره سیلاب در روندیابی سیل استفاده می‌شود. پس 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 یک بعدی جریان 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 به موازات رودخانه در شمال محدوده طرح استفاده می‌کند. گزینه پنجم از سامانه پیش‌بینی و هشدارسیلاب برای کاهش خسارت سیل در محدوده مورد مطالعه استفاده می‌کند. در این گزینه تغییر فیزیکی در محدوده طرح ایجاد نشده و شرایط طبیعی آن حفظ می‌شود. گزینه ششم از بیمه سیل برای جبران خسارت سیل استفاده می‌کند که شرایط طبیعی محدوده طرح حفظ شده و فقط با پرداخت خسارت وارده به بیمه شدگان، نسبت به جبران خسارت سیلاب اقدام می‌شود و گزینه هفتم ترکیبی از گزینه‌های پنجم و ششم است.

معیارهای ارزیابی گزینه‌های مدیریت سیلاب

معیارهای مورد استفاده این پژوهش در جدول ۱ اراده شده است.

این معیارها از نظر فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به چهار گروه و از جهت کمی و کیفی بودن به دو گروه تقسیم می‌شوند. معیارهای کمی شامل: خسارت مورد انتظار سالانه[1](EAD) و تلفات جانی مورد انتظار سالانه[2](EANC) و نرخ تدریج است. برآورد معیارهای خسارت و تعداد تلفات مورد انتظار سالانه به‌صورت رابطه‌های (۱) و (۲) است (دبروین، ۲۰۰۵).

1- Expected Annual Damage (EAD)
2- Expected Average Number of Casualties Per Year (EANC)

www.SID.ir

Archive of SID

$$EAD = \int_{1/10000}^{P(D=0)} PD(P)dp \quad (۱)$$

$$EANC = \int_{1/10000}^{P(D=0)} PC(P)dp \quad (۲)$$

که در این روابط EAD میانگین خسارت مورد انتظار در سال، P احتمال رخداد سیلاب، D(p) خسارت مورد انتظار تابعی از احتمال رخداد سیلاب، C(p) تعداد تلفات مورد انتظار تابعی از احتمال رخداد سیلاب و EANC تعداد میانگین مورد انتظار قربانیان در سال است. برآورد نرخ تدریج به‌صورت رابطه (۳) است (دبروین، ۲۰۰۵).

$$\text{نرخ تدریج} = 1 - \sum_{n=1}^{n=N} \frac{\left|\Delta Q'_n - \Delta D'\right|}{200} \quad (۳)$$

که در آن:

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

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

در روابط (۱) تا (۳)، 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، $D_{\max} = D(Q_{\max})$ و n رتبه دبی است (دبروین، ۲۰۰۵).

جدول ۱- معیارهای ارزیابی گزینه‌های مدیریت سیلاب

معیار	گروه‌بندی معیار		معیار	توضیح
I۱		اقتصادی	خسارت مورد انتظار سالانه	میانگین خسارت مورد انتظار سالانه است که برای ارزیابی دامنه عکس‌العمل به کار می‌رود (دبروین، ۲۰۰۵).
I۲		فنی	نرخ بازیابی	نرخ بازگشت از وضعیت که آثار سیلاب در آن مشهود است به وضعیت عادی یا به وضعیت بهتر از شرایط قبل از وقوع سیل
I۳		فنی	تدریج	افزایش عکس‌العمل سیستم با افزایش دبی را نشان می‌دهد که بیانگر افزایش میزان خسارت با افزایش دبی اوج سیل است (دبروین، ۲۰۰۵).
I۴	کمی	اجتماعی	تلفات جانی مورد انتظار	میانگین تلفات انسانی مورد انتظار در سال است که برای ارزیابی دامنه عکس‌العمل به کار می‌رود (دبروین، ۲۰۰۵).
I۵		اجتماعی	احساس امنیت مردم	احساس امنیت مردم در اثر اجرای یک گزینه مدیریت سیلاب، که به پایداری اجتماعی یک منطقه کمک می‌کند.
I۶		اجتماعی	نرخ اشتغال‌زایی	اشتغال یکی از عامل‌های مهم در رضایتمندی عمومی و پایداری اجتماع محسوب می‌شود.
I۷		اجتماعی	مشارکت مردمی	میزان مشارکت مردمی در اجرای یک گزینه نشانگر خوبی از رضایت‌مندی عمومی و پایداری اجتماعی است.
I۸		زیست‌محیطی	حفظ و بهبود مناظر طبیعی	حفظ و بهبود مناظر طبیعی در یک گزینه شاخصی است از پایداری زیست‌محیطی
I۹	کیفی	زیست‌محیطی	حفاظت از زیستگاه حیات‌وحش	حفاظت از زیستگاه حیات‌وحش در یک گزینه نقش آن را در توسعه پایدار زیست‌محیطی ارزیابی می‌کند.
I۱۰		زیست‌محیطی	حفاظت ازکیفیت آب	حفاظت از کیفیت آب در مقابل آلاینده‌ها، به بهبود منابع آب و محیط‌زیست کمک می‌کند.
I۱۱		فنی	امکان‌پذیری فنی و سرعت اجرا	محدودیت‌های مالی و تکنولوژی درجوامع در حال توسعه بر امکان‌پذیری فنی و سرعت اجرای گزینه اثر گذاشته و گزینه‌ها را در امکان‌پذیری اقتصادی و رضایت‌مندی عمومی متفاوت می‌کند.

مدل وزن‌دهی ساده

در این مدل امتیاز گزینه‌ها از رابطه (۴) محاسبه می‌شود (افشاری و همکاران، ۲۰۱۰ و آتوال و چاکرابرتی، ۲۰۱۲)

$$A^* = \{A_i \mid \max_i \sum_{j=1}^{m} W_j r_{ij}\} \quad (۴)$$

که در آن $r_{ij} = X_{ij} \Big/ \max_i \{X_{ij}\}$ درایه‌های ماتریس بی‌بعد شده، x_{ij} عملکرد گزینه i در معیار j و W_j وزن معیار j است.

www.SID.ir

Archive of SID

مدل برنامه‌ریزی توافقی

مدل برنامه‌ریزی توافقی بر مبنای فاصله از حالت ایده‌ال، گزینه‌ها را رتبه‌بندی می‌کند. جواب ایده‌ال f_j^* برای معیارها به‌صورت $f_j^* = \max_i f_{ij}$ و جواب ضدایده‌ال f_j^- به‌صورت $f_j^- = \min_i f_{ij}$ است. برای تعیین گزینه برتر، رتبه گزینه‌ها براساس ترتیب صعودی $L_P(A_i)$ مطابق رابطه (۵) تعیین می‌شود:

$$L_P(A_i) = \left[\sum_{j=1}^{n} \left(\mu_j . \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right)^P \right]^{\frac{1}{P}} \qquad (۵)$$

در این رابطه $L_P(A_i)$ فاصله از جواب ایده‌ال است. کسر $(f_j^* - f_{ij})/(f_j^* - f_j^-)$ نرخ فاصله از حالت ایده‌ال معیار jام و μ_j وزن معیار jام است. پارامتر P از ۱ تا بی‌نهایت تغییر می‌کند که به نظر تصمیم‌گیرنده بستگی دارد. به ازای P=۱ مقدار فاصله از حالت ایده‌ال برابر با میانگین نرخ فواصل از حالت ایده‌ال برای تمام معیارها است و با افزایش آن، میزان اهمیت به معیارهایی که مقادیر بزرگتری در فاصله از حالت ایده‌ال دارند بیشتر می‌شود، به طوری که برای P=∞ فقط معیاری که بزرگترین نرخ فاصله از حالت ایده‌ال را دارد در محاسبات وارد می‌شود، در نتیجه رابطه ۵ به رابطه ۶ تبدیل خواهد شد:

$$L_P(A_i) = \max \left[\mu_j . \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right] \qquad (۶)$$

تحلیل حساسیت

برای تحلیل حساسیت مدل با تغییر در وزن معیارها، وزن هر یک از معیارها را به مقادیر حداکثر و حداقل ممکن آن معیار رسانده و تغییرات رتبه‌بندی‌ها بررسی شده است. وزن‌های به کار رفته در مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، وزن نسبی است و مجموع وزن‌ها برابر یک است. بنابراین با تغییر در وزن هر معیار به حداکثر و حداقل مقدار آن، وزن سایر معیارها از رابطه (۷) پیروی کرده تا مجموع وزن‌ها برابر یک شود.

$$W_J' = \frac{1 - W_I'}{1 - W_i} \times W_j \qquad (۷)$$

که در آن W_I' حداکثر (حداقل) مقدار معیار iام، W_i وزن قبلی معیار iام، W_j وزن قبلی معیار jام و W_J' وزن جدید معیار jام است.

نتایج و بحث

در این مقاله وزن معیارها و امتیاز هر گزینه در برآورده کردن معیارها (ماتریس تصمیم)، براساس نظرخواهی از سی نفر از متخصصین و کارشناسان آب منطقه‌ای استان گلستان به دست آمد که به‌صورت جدول ۲ است. نتایج حاصل از رتبه‌بندی مدل برنامه‌ریزی توافقی به ازای مقادیر مختلف پارامتر P و مدل وزن‌دهی ساده در جدول ۳ آورده شده است. تغییرات رتبه‌بندی به ازای مقادیر مختلف P به‌صورت جدول ۴ آورده شده است. مقادیر $\mu_j . (f_j^* - f_{ij})/(f_j^* - f_j^-)$ برابر ضرب نرخ فاصله از حالت ایده‌ال معیارها در وزن معیار است. ستون آخر جدول ۴ مقادیر فاصله از حالت ایده‌ال گزینه‌ها ($L_P(A_i)$)، به ازای مقادیر مختلف P است. تغییرات رتبه‌بندی به طوری است که با افزایش پارامتر P از ۱ به ۲، رتبه گزینه سد در مقابل گزینه کانال و همچنین گزینه گوره در مقابل گزینه بیمه سیل برتری یافته‌اند. زیرا همان‌طور که گفته شد، به ازای P=۱ از تمام مقادیر فاصله از حالت ایده‌ال معیارها در هر گزینه میانگین‌گیری شده اما با افزایش مقدار پارامتر P به ۲ و بی‌نهایت، میزان اهمیت به معیارهایی که فاصله از حالت ایده‌ال آن‌ها بزرگ‌تر است بیشتر شده است. بنابراین به ازای P=۲ در گزینه سد فاصله از حالت ایده‌ال معیارهای I۲ نرخ بازیابی و I۶ خسارت سالانه و برای گزینه کانال معیارهای I۲ نرخ بازیابی و I۵ احساس امنیت اهمیت بیشتری در جواب نهایی نسبت به سایر معیارها داشته‌اند.

همچنین با توجه به وزن این معیارها در جدول ۲، وزن معیارهای احساس امنیت (۰/۱۷۹) و نرخ بازیابی (۰/۱) بیشتر از معیار خسارت سالانه (۰/۰۹) است و گزینه سد در معیارهای احساس امنیت و نرخ بازیابی امتیاز بیشتری نسبت به کانال داشته، بنابراین برتری یافتن سد به کانال در روش برنامه‌ریزی توافقی قابل توجیه است. همچنین از مقایسه گوره و بیمه سیل مشابه مورد قبل، نتیجه می‌گیریم که معیارهای تلفات جانی و احساس امنیت مهم‌تر شده و گزینه گوره امتیاز بالاتری داشته و رتبه آن

www.SID.ir

Archive of SID

ارتقا یافته است. در این جدول با مقایسه رتبه‌بندی به ازای P=۲ و P=∞، رتبه گزینه هشدارسیل ارتقا یافته و هم‌تراز با گزینه سامانه هشدار توأم با بیمه سیل شده و گزینه شرایط طبیعی نیز ارتقا یافته و هم‌تراز با گزینه بیمه شده است. در هر دو گزینه هشدارسیل و سامانه هشدار توأم با بیمه سیل به ازای P=∞، فقط فاصله از حالت ایده‌ل معیار I۶ (خسارت سالانه) در تعیین جواب نهایی فاصله از حالت ایده‌ال گزینه نقش داشته که هر دو گزینه یک امتیاز را کسب کرده‌اند و هم‌رتبه بودن منطقی است. در گزینه‌های شرایط طبیعی و بیمه سیل معیار تلفات جانی اهمیت بیشتری داشته که به‌دلیل یکسان بودن امتیاز هر دو گزینه رتبه آن‌ها نیز یکسان شده است. در مقایسه مدل وزن‌دهی ساده با مدل برنامه‌ریزی توافقی بر طبق جدول ۳، رتبه بندی مدل وزن‌دهی ساده شباهت بیشتری به مدل توافقی به ازای پارامتر P=۱ داشته ولی با افزایش آن به P=۲ اختلاف رتبه‌بندی افزایش یافته است، که به‌دلیل تغییر در میزان اهمیت به فاصله از حالت ایده‌آل بوده است.

از مقدار P=۲ به بعد مدل برنامه‌ریزی توافقی،گزینه کانال را بعد از گزینه‌های هشدارسیل و سد و گزینه بیمه سیل را بعد از گزینه گوره قرار داده است. در فاصله از حالت ایده‌ال گزینه‌های کانال هشدار سیل و سد، معیارهای احساس امنیت و نرخ بازیابی مهم‌تر شده که ترتیب امتیاز این سه گزینه در برآورده کردن این معیارها به‌صورت گزینه هشدارسیل، سد و کانال بوده است. برای گزینه‌های بیمه سیل و گوره نیز معیار تلفات جانی مهم‌تر شده که گزینه گوره امتیاز بالاتری از گزینه بیمه سیل داشته است. جهت تحلیل حساسیت مدل‌ها، حداقل و حداکثر مقدار برای وزن معیارهای مطرح شده در نظرسنجی‌ها، به‌صورت جدول ۵ به دست آمده است.

معیارهایی که تغییرات وزن آن‌ها باعث ایجاد تغییرات در رتبه‌بندی شده‌اند به‌صورت جدول ۶ آورده شده است. با توجه به جدول ۶ مدل وزن‌دهی ساده نسبت به تغییر وزن در بیشتر معیارها حساس بوده و در میزان حساسیت‌پذیری به تغییر وزن معیارها، تفکیکی برای معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی قائل نشده است. مدل برنامه‌ریزی توافقی تغییرات در رتبه‌بندی به ازای پارامتر P=∞ حساسیت بیشتری نسبت به سایر مقادیر پارامتر داشته، بنابراین از بیان نتایج تحلیل حساسیت سایر مقادیر پارامتر P در این مقاله صرفنظر شده است. با توجه به تغییرات رتبه‌بندی مدل برنامه‌ریزی توافقی بر طبق جدول ۶ آورده، معیارهای فنی انعطاف‌پذیری، نرخ بازیابی و سرعت اجرا، معیار اقتصادی خسارت سالانه، معیارهای اجتماعی اشتغال‌زایی و معیار زیست‌محیطی کیفیت آب سبب تغییر در رتبه‌بندی این مدل شده‌اند.

جدول ۲- مقادیر ماتریس تصمیم و وزن معیارها

معیارها	A۱	A۲	A۳	A۴	A۵	A۶	A۷	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

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- نتایج مدل‌های وزن‌دهی ساده و برنامه‌ریزی توافقی

	رتبه مدل برنامه‌ریزی توافقی					رتبه مدل وزن‌دهی ساده				
گزینه‌ها		p=۱	p=۲	p=۵	p=۱۰	p=۲۰	p=∞
A۱	۷	۷	۷	۷	۷	۶	۵
A۲	۴	۴	۳	۳	۳	۳	۲
A۳	۶	۶	۵	۵	۵	۵	۴
A۴	۲	۳	۴	۴	۴	۴	۳
A۵	۳	۲	۲	۲	۲	۲	۱
A۶	۵	۵	۶	۶	۶	۶	۵
A۷	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱

جدول ۴- مقادیر نرخ فاصله از حالت ایده‌ال معیارها و گزینه‌ها

$L_p(A_i)$	مقادیر حاصل از ضرب نرخ فاصله از حالت ایده‌ال در وزن معیارها											پارامتر P
	I۱۱	I۱۰	I۹	I۸	I۷	I۶	I۵	I۴	I۳	I۲	I۱	گزینه	
۰/۸۳	۰	۰/۰۷۴	۰	۰/۰۱۱	۰/۰۴۹	۰/۰۲۶	۰/۱۷۹	۰/۳۰۸	۰/۰۲۸	۰/۱	۰/۰۵۳	A۱	P=۱
۰/۳۸	۰/۰۲۹	۰	۰/۰۶۴	۰	۰/۰۲۴	۰/۰۲۸	۰/۰۴۴	۰	۰/۰۳۶	۰/۰۷	۰/۰۹	A۲	
۰/۷۳	۰/۰۱	۰/۰۴۰	۰/۰۶۴	۰/۰۲۳	۰/۰۲۴	۰/۰۲۷	۰/۰۸۹	۰/۰۲۳	۰/۰۵۴	۰/۱	۰/۰۵۸	A۳	
۰/۳۶۸	۰/۰۲۱	۰/۰۳۷	۰/۰۶۴	۰/۰۱۷	۰/۰۲۴	۰	۰/۰۶۷	۰/۰۳۶	۰	۰/۱	۰	A۴	
۰/۲۷۶	۰	۰/۰۵۵	۰	۰/۰۰۵	۰/۰۱۲	۰/۰۳	۰/۰۴۴	۰/۰۱۲	۰/۰۲۰	۰/۰۴	۰/۰۵۵	A۵	
۰/۶۳۹	۰/۰۰۷	۰/۰۵۵	۰	۰/۰۱۱	۰/۰۳۶	۰/۰۲۶	۰/۱۱۱	۰/۳۰۸	۰/۰۲۸	۰	۰/۰۵۳	A۶	
۰/۲۰۲	۰/۰۱۴	۰/۰۵۵	۰	۰/۰۰۵	۰	۰/۰۳	۰	۰/۰۱۲	۰/۰۲۸	۰	۰/۰۵۵	A۷	
۰/۳۸۶	۰	۰/۰۰۵	۰	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۷	۰/۰۳۲	۰/۰۹۴	۰/۰۰۰۸	۰/۰۱	۰/۰۰۲	A۱	P=۲
۰/۱۵	۰/۰۰۰۸	۰	۰/۰۰۴	۰	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۸	A۲	
۰/۲۹۴	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰	۰	۰	۰/۰۰۸	۰/۰۵۴	۰/۰۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰۳	A۳	
۰/۱۵	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰	۰	۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۱	۰	A۴	
۰/۱۰۶	۰	۰/۰۰۳	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۲	۰	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	A۵	
۰/۳۴۱	۰	۰/۰۰۳	۰	۰	۰/۰۰۱	۰	/۰۱۲	۰/۰۹۴	۰	۰	۰/۰۰۲	A۶	
۰/۰۹	۰	۰/۰۰۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۳	A۷	
۰/۳۰۸	۰	۰/۰۷۴	۰	۰/۰۱۱	۰/۰۴۹	۰/۰۲۶	۰/۱۷۹	۰/۳۰۸	۰/۰۲۸	۰/۱	۰/۰۵۳	A۱	P=∞
۰/۰۹	۰/۰۲۹	۰	۰/۰۶۴	۰	۰/۰۲۴	۰/۰۲۸	۰/۰۴۴	۰	۰/۰۳۶	۰/۰۷	۰/۰۹	A۲	
۰/۲۳۴	۰/۰۱۴	۰/۰۴	۰/۰۶۴	۰/۰۲۳	۰/۰۲۴	۰/۰۲۷	۰/۰۸۹	۰/۲۳۴	۰/۰۵۴	۰/۱	۰/۰۵۸	A۳	
۰/۱	۰/۰۲۱	۰/۰۳۷	۰/۰۶۴	۰/۰۱۷	۰/۰۲۴	۰	۰/۰۶۷	۰/۰۳۶	۰	۰/۱	۰	A۴	
۰/۰۵۵	۰	۰/۰۵۵	۰	۰/۰۰۵	۰/۰۱۲	۰/۰۳	۰/۰۴۴	۰/۰۱۲	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۵۵	A۵	
۰/۳۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۵۵	۰	۰/۰۱۱	۰/۰۳۶	۰/۰۲۶	۰/۱۱۱	۰/۳۰۸	۰/۰۲۸	۰	۰/۰۵۳	A۶	
۰/۰۵۵	۰/۰۱۴	۰/۰۵۵	۰	۰/۰۰۵	۰	۰/۰۳	۰	۰/۰۱۲	۰/۰۲۸	۰	۰/۰۵۵	A۷	

جدول ۵- 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

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶- تغییرات رتبه‌بندی مدل برنامه‌ریزی توافقی براساس تغییر وزن معیارها

تغییر در وزن معیارها	رتبه گزینه A۱	رتبه گزینه A۲	رتبه گزینه A۳	رتبه گزینه A۴	رتبه گزینه A۵	رتبه گزینه A۶	رتبه گزینه A۷
رتبه‌بندی مدل برنامه‌ریزی توافقی							
بدون تغییر وزن معیار	۵	۲	۴	۳	۱	۵	۱
حداکثر وزن I۱	۵	۳	۴	۱	۲	۵	۲
حداکثر وزن I۲	۶	۳	۵	۴	۲	۷	۱
حداقل وزن I۲	۵	۳	۴	۲	۱	۵	۱
حداکثر وزن I۳	۶	۴	۵	۳	۱	۷	۲
حداکثر وزن I۶	۵	۲	۴	۱	۳	۵	۳
حداکثر وزن I۱۰	۵	۱	۴	۲	۳	۵	۳
حداکثر وزن I۱۱	۵	۳	۴	۲	۱	۵	۱
رتبه‌بندی مدل وزن‌دهی ساده							
بدون تغییر وزن معیار	۷	۴	۶	۲	۳	۵	۱
حداکثر وزن I۱	۷	۴	۶	۱	۳	۵	۲
حداقل وزن I۱	۷	۲	۶	۴	۳	۵	۱
حداکثر وزن I۲	۷	۴	۶	۳	۲	۵	۱
حداقل وزن I۲	۷	۳	۵	۲	۴	۶	۱
حداقل وزن I۳	۷	۳	۶	۲	۴	۵	۱
حداکثر وزن I۴	۷	۲	۶	۴	۳	۵	۱
حداکثر وزن I۵	۷	۳	۵	۴	۲	۶	۱
حداکثر وزن I۶	۷	۳	۶	۱	۴	۵	۲
حداقل وزن I۶	۷	۳	۶	۴	۲	۵	۱
حداکثر وزن I۷	۷	۴	۵	۳	۲	۶	۱
حداقل وزن I۷	۷	۳	۶	۲	۴	۵	۱
حداکثر وزن I۸	۷	۲	۶	۴	۳	۵	۱
حداکثر وزن I۹	۶	۴	۷	۳	۲	۵	۱
حداکثر وزن I۱۰	۷	۱	۵	۳	۴	۶	۲
حداقل وزن I۱۰	۷	۴	۶	۳	۲	۵	۱
حداکثر وزن I۱۱	۷	۴	۶	۳	۲	۵	۱
حداقل وزن I۱۱	۷	۳	۶	۲	۴	۵	۱

نتیجه‌گیری

در این مقاله هفت گزینه مدیریت سیلاب در حوضه آبخیز گرگان‌رود بررسی شد و با مدل‌های برنامه‌ریزی توافقی و وزن‌دهی ساده اولویت‌بندی شد. در هر دو مدل کسب پایین‌ترین رتبه توسط گزینه شرایط طبیعی نشان دهنده تأکید برانجام پروژه مدیریت سیلاب است. رتبه‌بندی مدل برنامه‌ریزی توافقی براساس نزدیکترین گزینه به حالت ایده‌ال است و علاوه بر درنظرگیری وزن معیارها و امتیاز گزینه‌ها، فاصله معیارهای هر گزینه از حالت ایده‌ال را نیز مبنای رتبه‌بندی قرار داده است. مدل برنامه‌ریزی توافقی با افزایش حساسیت به حداکثر انحراف از حالت ایده‌ال در محاسبات، گزینه‌های غیرسازه‌ای سامانه هشدارسیلاب توأم با بیمه سیل و سیستم هشدارسیلاب را در رتبه اول قرار داده است. با تغییر در مقدار پارامتر P میزان اهمیت به مقادیر فاصله از حالت ایده‌ال معیارها تغییر کرده و رتبه‌بندی نیز تغییر یافته است. در این پژوهش با افزایش پارامتر P از ۱ به ۲، میزان اهمیت به معیارهای نرخ بازیابی و احساس امنیت بیشتر شده که سبب ارتقا رتبه گزینه سد و گوره شده است. همچنین با مقایسه رتبه‌بندی به ازای P=۲ و P=∞، رتبه گزینه هشدارسیل هم‌تراز با گزینه سامانه هشدار توأم با بیمه سیل شده و گزینه شرایط طبیعی و هم‌تراز با گزینه گوره شده است. این تغییرات نیز به‌دلیل اهمیت بالای معیارهای خسارت سالانه و تلفات جانی بوده است.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که در مدل برنامه‌ریزی توافقی با افزایش مقدار پارامتر P به‌ترتیب معیارهای نرخ بازیابی، خسارت سالانه، احساس امنیت و تلفات جانی مهم‌تر شده که معیارهای اقتصادی، فنی و اجتماعی بوده‌اند.

مدل وزن‌دهی ساده در رتبه‌بندی نسبت به روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای برتری قائل نشده و رتبه‌بندی تنها براساس وزن اختصاص داده شده به هر معیار بوده است. با توجه به تغییرات رتبه‌بندی این دو مدل نتیجه گرفته شد که مدل برنامه‌ریزی توافقی در مقابل مدل وزن‌دهی ساده به معیار فنی بازیابی و معیارهای اجتماعی تلفات جانی و احساس امنیت اهمیت بیشتری داده است. مدل توافقی در تحلیل حساسیت نسبت به تغییر وزن معیارها، در مقایسه با مدل وزن‌دهی ساده حساسیت کمتری داشته است. این مدل به معیارهای اجتماعی، فنی و اقتصادی اهمیت بیشتری داده و نسبت به معیارهای اقتصادی و فنی حساسیت بالایی داشته است و به معیارهای اجتماعی و زیست‌محیطی حساسیتی نشان نداده است. بنابراین مدل برنامه‌ریزی توافقی به‌دلیل اهمیت دادن به معیارهای اجتماعی و حساسیت کم به تغییر وزن این معیارها، نتایج خوبی ارائه داده است. این مدل نسبت به معیارهای اقتصادی حساسیت بالایی داشته و مطابق با نتایج سایر پژوهش‌های انجام شده، برای بررسی مسائلی که معیارهای اقتصادی مهم‌تر هستند پیشنهاد نمی‌شود.

منابع

1. Afshari A. Mojahed M. and Yusuff R. M. 2010. Simple Additive Weighting approach to Personnel Selection problem. International Journal of Innovation Management and Technology. 1(5): 511-515.
2. Athawale V. M. and Chakraborty S. 2012. A comparative study on the ranking performance of some multi-criteria decision-making methods for industrial robot selection. International Journal of Industrial Engineering. 2(4): 831-850.
3. Ballestero E. Anton J. M. and Bielza C. 2003. Compromise-based approach to road project selection in Madrid metropolitan area. J Opns Res Soc Japan. 46(1): 99-122.
4. Chang Y. H. and Yeh C. H. 2001. Evaluating airline competitiveness using multi-attribute decision making. Omega. 29(5): 405-415.
5. Cochrane James L. and Milan Z. 1973. Multiple criteria decision making. University of South Carolina Press. 195 p.
6. De Bruijn K. M. 2005. Resilience and flood risk management, A systems approach applied to lowland rivers. 216 p.
7. Hwang C. L. and Yoon K. 1981. Multiple Attribute Decision Making Method and Applications. A State-of-the-Art Survey. Springer, Verlag, New York. 355 p.
8. Kundzewicz Zbigniew W. 2002. Non-structural flood protection and sustainability. Water International. 27(1): 3-13.
9. P´erez-Gladish B. Jones D. F. Tamiz M. and Bilbao-Terol, A. 2006. An interactive three-stage model for mutual funds portfolio selection. Omega. 35(1): 75-88.
10. Pohekar S. D. and Ramachandran M. 2004. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning A review. Renew Sustain Energy. 8(1): 365-381.
11. Wang Y. C. Yoshitani J. and Fukami K. 2005. Stochastic multi-objective optimization of reservoirs in parallel. Hydrological Processes. 19(18): 3551-3567.
12. Yazdandoost F. and Bozorgy B. 2008. Flood risk management strategies using multi-criteria analysis. Processes of the Inst of Civil Engineering Water Management. 161(5): 261-266.

www.SID.ir