فصلنامه‌ی علمی و پژوهشی شریف
بهار ۱۳۸۶، شماره‌ی سی و هفتم، ص. ۹۹-۱۰۹، (یادداشت فنّی)

اولویت‌بندی طرح‌های انتقال بین‌حوضه‌یی آب با استفاده از عملگر تجمیع میانگین وزنی مرتب استقرایی

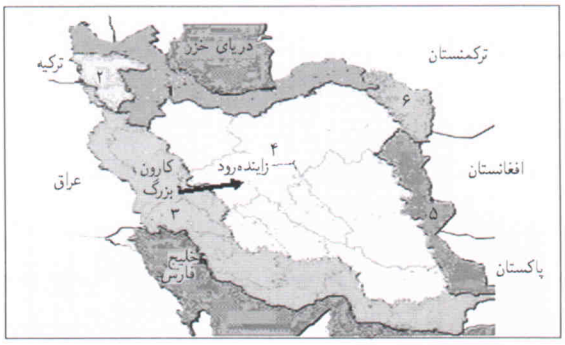
مهدی ضرغامی (دانشجوی دکتری)
رضا اردکانیان (استادیار)
دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف
محمد مدرس‌یزدی (استاد)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف

طرح‌های توسعه‌ی منابع آب از طرفی وابسته به رفتار طبیعت‌اند و از طرف دیگر متأثر از سیستم‌های اقتصادی ـ اجتماعی‌اند. با توجه به کمبود منابع آب، رشد سریع تقاضا و نیز توزیع ناهمگون منابع آبی در ایران، تأمین آب لازم برای تقاضاهای مختلف نیازمند اجرای طرح‌های انتقال بین‌حوضه‌یی آب است. بنابراین استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در ارزیابی طرح‌های انتقال آب امری ضروری است. روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ی متداول، قابلیت مدل‌کردن مستقیم و دقیق درجه‌ی خوش‌بینی (ریسک‌پذیری / ریسک‌گریزی) تصمیم‌گیر را ندارند. در واقع مسئله‌ی اصلی به‌نحوه‌ی ترکیب و تجمیع عملکردهای هر گزینه از دید معیارها برمی‌گردد. این مسئله باعث توجه بیشتر به ساخت عملگرهای تجمیع مناسب شده است. عملگر میانگین وزنی مرتب [۱] (OWA) از قابلیت رفع ایراد یاد شده برخوردار است. در واقع خصوصیت ویژه‌ی آن مدل‌کردن بهتر خصوصیات ذهنی تصمیم‌گیر است. در این نوشتار بعد از بررسی خصوصیات این عملگر، به قابلیت آن در مقایسه با سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره اشاره شده است. به همین منظور، بعد از ساخت یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی، وزن رتبه‌های این عملگر استخراج شده و با به کاربستن آنها در ویرایش توسعه یافته OWA نسبت به اولویت‌بندی چهار طرح انتقال به حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود اقدام شده است. علاوه بر این، در این مطالعه به‌عنوان یک نوآوری، با ساخت مدل تحلیل حساسیت برای عملگر تجمیع میانگین وزنی مرتب استقرایی میزان وابستگی هر یک از طرح‌ها به نظر تصمیم‌گیر از نظر درجه‌ی خوش‌بینی تعیین شد.

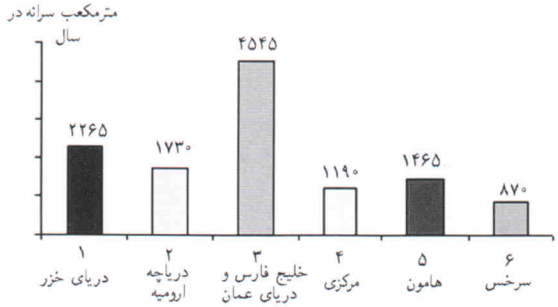
۱. مقدمه

میانگین بارش در ایران سالانه حدود ۲۵۰ میلی‌متر، و معادل یک سوم بارش میانگین دنیا است. به همین لحاظ، ایران کشوری خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. از طرف دیگر توسعه‌ی کشور به رشد روزافزون نیاز به آب در بخش‌های مختلف منجر شده است. با توجه به توزیع ناهمگون منابع آبی تأمین آب لازم برای تقاضاهای مختلف نیازمند اجرای طرح‌های انتقال بین‌حوضه‌یی آب است. در شکل ۱ حوضه‌های آبریز اصلی کشور رسم شده است که براساس آن حوضه‌های اصلی عبارت‌اند از: ۱. دریای خزر؛ ۲. دریاچه ارومیه؛ ۳. خلیج‌فارس و دریای عمان؛ ۴. مرکزی؛ ۵. هامون و ۶. سرخس. در نمودار ۲ نیز پتانسیل آب سرانه رسم شده است. با توجه به این نمودار سرانه‌ی آب در حوضه‌ی آبریز ۳ (خلیج‌فارس و دریای عمان) در حدود ۴ برابر حوضه‌ی آبریز ۴ (مرکزی) است. لذا طرح‌های متعدد انتقال بین‌حوضه‌یی آب از حوضه‌ی ۳ به حوضه‌ی ۴ در حال بهره‌برداری، اجرا و یا مطالعه هستند. اما با توجه به تبعات گسترده‌ی این طرح‌ها، مدیران به تصمیم‌گیری‌های دقیق و جامع نیاز دارند. در این نوشتار، مدل تصمیم‌گیری برای چهار طرح مهم در انتقال آب از زاگرس غربی (کارون بزرگ) به زاگرس شرقی (زاینده رود) بررسی خواهد شد.

چون هدف از سرمایه‌گذاری و صرف منابع در طرح‌های منابع آب، تأمین نیازها و خواسته‌های متقاضیان مصارف مختلف آب (شرب، کشاورزی، صنعت، محیط زیست و ...) است، منافع ملی و مدیریت به‌هم‌پیوسته عرضه و تقاضای آب ایجاب می‌کند که تعیین اولویت



شکل ۱. شش حوضه آبریز اصلی کشور ایران.



نمودار ۲. پتانسیل آب سرانه در هر حوضه‌ی آبریز اصلی.

طرح‌ها برای تخصیص منابع لازم، به‌خصوص زمانی که محدودیت منابع داریم، براساس معیارهای چندگانه انجام شود. ولی یکی از مسائل اصلی در مدل‌سازی تصمیم‌گیری نحوه‌ی تلفیق عملکرد هر طرح از جنبه‌ی معیارهای مختلف است. در واقع هر طرح انتقال آب براساس معیارها و شاخص‌های مختلف، عملکرد مختلفی دارد. ولی برای اولویت‌بندی چند طرح با هم بایستی یک امتیاز مشخص داشته باشیم که این امتیاز تلفیق و تجمیعی از عملکرد آن طرح از منظر معیارهای مختلف است. به‌طور کلی در علوم مختلف، در حین مطالعه‌ی یک پدیده، اطلاعات متفاوتی از عملکرد آن پدیده مشاهده و جمع‌آوری می‌شود. ولی دست‌یابی به یک دانش خاص و استنتاج کلی از این اطلاعات نیازمند تلفیق[۲] و تجمیع[۳] اطلاعات است. مثلاً برای تعیین میانگین بارندگی یک شهر، سری داده‌های تاریخی بارش چند ایستگاه هواشناسی به‌عنوان اطلاعات در دسترس است. میانگین، یک ابزار ریاضی ساده برای تجمیع مقادیر بارندگی است.

یکی از زمینه‌های استفاده از عملگرهای تجمیع، بحث تصمیم‌گیری چندمعیاره[۴]، به‌خصوص تصمیم‌گیری چندشاخصه[۵] و تصمیم‌گیری گروهی است. در واقع برای تجمیع عملکرد یک گزینه از منظر معیارهای مختلف باید عملگرهای مناسبی طراحی شوند. در تجمیع نظرات افراد در یک تصمیم‌گیری گروهی نیز، تهیه‌ی مدل مناسب برای استخراج نظر نهایی از اهمیت زیادی برخوردار است. در واقع عملگر تجمیع، نگاشتی از فضای n بعدی به فضای یک‌بعدی است. عملگرهای تجمیع به شکل کلی $f : R^n \longrightarrow R$ تعریف می‌شوند.

روش‌های مختلفی برای تعریف این عملگرها معرفی شده است. مثلاً برای عملگر max داریم:

$$f(a_1 ; a_2 ; a_3 ; \dots a_n) = \max(a_1 ; a_2 ; a_3 ; \dots a_n) \quad (1)$$

تجمیع وزنی حالت خاصی از تجمیع مؤلفه‌های مختلف است. در واقع وقتی که مؤلفه‌های مختلف (اطلاعات، عملگرها یا نظرات افراد) وزن‌های نسبی داشته باشند از عمگرهای تجمیع وزنی استفاده می‌شود. شکل کلی این نوع عملگرها در معادله‌ی ۲ ارائه شده است. w بردار وزن متناظر و a بردار عملکردها است:

$$U = f(w, a) \quad (2)$$

هنر اصلی در ساخت یک مدل تصمیم‌گیری ساخت تابع f برای رسیدن به مطلوبیت (U) مورد نظر تصمیم‌گیرنده یا گروه تصمیم‌گیری است. در این نوشتار بعد از بررسی یک عملگر خاص (OWA)، مدل لازم برای اولویت‌بندی چهار طرح انتقال آب ساخته خواهد شد. دلیل استفاده از این عملگر در ادامه‌ی مطالب ذکر می‌شود. خصوصیات ویژه‌ی این عملگر به آن جایگاه ویژه‌یی داده، و از وقتی که محققان آن را ارائه کرده‌اند در زمینه‌های مختلفی مورد بررسی و کاربرد قرارگرفته است.[۱] در این نوشتار فقط به چند کاربرد آن در زمینه مدیریت منابع آب اشاره می‌شود.

دانشمندان با بررسی چهار روش مختلف، از جمله OWA، در مدیریت منابع آب به ارزیابی ابزارهای مختلف کنترل سیل در یک منطقه از کانادا پرداخته‌اند.[۲] همچنین برای تعیین میزان آسیب‌پذیری[۶] قسمت‌های مختلف یک حوضه‌ی آبریز در ترکیه نقشه‌های آسیب‌پذیری را با توجه به معیارهای مختلف تهیه کرده‌اند.[۳] برای تجمیع نقشه‌های مختلف در سیستم GIS(با استفاده از نرم‌افزار ArcView) نقشه‌ی نهایی مبتنی بر روش عملگر OWA استخراج شده است. لازم به ذکر است که سیستم IDRISI نیز برای تلفیق نقشه‌های مختلف از دو عملگر جمع وزنی ساده[۷] (SAW) و عملگر OWA استفاده می‌کند. IDRISIیکی از نرم‌افزارهای معتبر در زمینه GIS است و در بسیاری از پروژه‌های مدیریت منابع آب به کار رفته است.[۴] برای بهینه‌سازی چندمنظوره[۸] یک سفره‌ی آب زیرزمینی براساس معیارهای مختلف چند سناریو معرفی شده است.[۵] برای ساخت این سناریوها، معیارهای مختلف با کمک عملگر OWA تلفیق و تجمیع شده‌اند. در تجمیع معیارها توجه به درجه خوش‌بینی از اهمیت زیادی برخوردار بوده است. محققان دیگر، برای تعیین میزان ریسک در یک شبکه‌ی توزیع آب یکی از شهرهای انگلستان عوامل مختلفی را تعریف کرده‌اند.[۶] در این مطالعه با توسعه‌ی مدل میانگین وزنی مرتب (OWA) به میانگین وزنی مرتب فضایی (SOWA)[۹]، تجمیع نقشه‌های مختلف ریسک در محیط GIS امکان‌پذیر شده است. از روی میزان ریسک، اولویت تعویض لوله‌های فرسوده تعیین می‌شود. برای تعیین «تغییر اقلیم[۱۰]»، محققان در سال ۲۰۵۰ سناریوهای مختلفی را با احتمالات متفاوت استخراج کرده‌اند. برای تجمیع این سناریوها به کمک عملگر OWA به میزان تغییر دمای دنیا (در احتمالات مختلف) رسیده‌اند.[۷] اتحادیه‌ی اروپا برای پشتیبانی تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب در سطح حوضه‌ی آبریز مدل MULINO [۱۱] را توسعه داده است.[۸] این مدل برای بهبود

تصمیم سازمان‌های متولی مدیریت آب در استفاده بهینه از آن، و برای ایجاد نگرش جامع ایجاد شده است. این نرم‌افزار در «مرحله‌ی تصمیم‌گیری» برای ارزیابی گزینه‌ها بر حسب درخواست کاربر از سه روش مختلف استفاده می‌کند. این ابزارها عبارت‌اند از: روش جمع وزنی ساده (SAW)، روش میانگین وزنی مرتب (OWA) و روش TOPSIS.

۲. عملگر میانگین وزنی مرتب (OWA)

این عملگر در واقع یک میانگین وزنی است، با این تفاوت که مقادیر عملکردها قبل از ضرب در بردار وزن‌ها مرتب می‌شوند. در واقع این مرتب‌سازی خصوصیت ویژه‌ی این روش بوده و باعث غیرخطی شدن مدل می‌شود. عملگر OWA نگاشتی از فضای n بعدی به فضای یک بعدی $f : I^n \longrightarrow I$ است که در آن با یک بردار وابسته‌ی وزنی $w_i = (w_1 ; w_2 ; \ w_3 ; \ w_4 ; ...; w_k)$ سروکار داریم:

$$f(a_1, a_2; \ldots, a_n) =$$

$$\sum_{j=1}^{n} w_j b_j = w_1 b_1 + w_2 b_2 + \cdots + w_n b_n$$

$$I, w_i \in [0, 1] \qquad (۳)$$

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1 \qquad (۴)$$

b_j عبارت است از jامین مقدار بزرگ در مجموعه داده‌های ورودی $a_1; \ a_2 ; \ldots \ a_n$. در واقع بردار b مرتب شده نزولی مقادیر بردار a است. عملگر OWAدر بین سایر عملگرهای تجمیع از خصوصیات یکنوایی[۱۲]، پایداری[۱۳]، شرکت‌پذیری[۱۴]، خودتوانی[۱۵]، همانی[۱۶] و بی‌طرفی[۱۷] برخوردار است. اثبات این خصوصیات در مرجع[۹] ارائه شده است.

مثال: اگر خصوصیات یک سد از نقطه‌نظر چهار معیار به‌صورت (۰/۶ و ۰/۲ و ۱/۰ و ۰/۷) باشد و بردار وزن رتبه‌های مدل OWA به‌صورت ترانهاده برابر (۰/۱ و ۰/۲ و ۰/۳ و ۰/۴) باشد، مقدار ارزش کل این طرح به روش OWA برابر با ۰/۷۵ خواهد بود:

$$f(0/6\text{و}0/2\text{و}0/1\text{و}0/7) = (0/4 \times 1 + 0/3 \times 0/7 +$$
$$0/2 \times 0/6 + 0/1 \times 0/6) = 0/75$$

بردار w معرف پارامترهای مدل OWA و وزن رتبه‌ها[۱۸] است. این ضرایب، وزن نسبی معیارهای[۱۹] ۱ تا n نیستند بلکه خصوصیت آنها تعیین میزان تأثیر مقادیر بزرگ‌تر یا کوچک‌تر b در مقدار تجمیع است. لازم به توضیح است که در روش OWA لزوماً وزن بیشتر به معیار مهم‌تر داده نمی‌شود. در این روش ابتدا ورودی‌ها را از بزرگ به کوچک مرتب می‌کنند، و سپس براساس درجه‌ی خوشبینی تصمیم‌گیرنده وزن‌هایی به مؤلفه‌های این بردار مرتب شده می‌دهند. اگر فرد خوشبین باشد به اعداد در ابتدای بردار (که به خاطر مرتب‌سازی مقادیر بزرگتری دارند) وزن بیشتری داده می‌شود تا نتیجه‌ی خوشبینانه‌یی حاصل شود؛ به همین ترتیب برای کسی که بدبین است نتیجه‌ی محافظه‌کارانه‌یی به دست می‌آید. یکی از این خصوصیات، تبدیل این عملگر به سایر عملگرهای مطرح است. به‌طورکلی عملگر OWA منطقه‌یی از فضای عملگرهای تجمیع را پوشش می‌دهد که در محدوده‌ی عملگرهای انتگرالی است.[۱۰] لازم به ذکر است که عملگر OWA جزو عملگرهای تجمیع جبرانی[۲۰] می‌باشد. برای بررسی رفتارها، بعضی از عملگرهایی که OWA آنها را به کمک تغییر بردار w پوشش می‌دهد در جدول ۱ ارائه شده است:

خصوصیت دوم تغییر وزن رتبه‌ها در عملگرOWA، انعکاس درجه‌ی خوش‌بینی تصمیم‌گیرنده است. هرچه بردار وزن رتبه‌ها عددهای بزرگ‌تری را در ابتدا داشته باشد تصمیم‌گیرنده درجه‌ی خوش‌بینی بیشتری دارد. در واقع با این کار عملگر به حالت عطفی «یا» نزدیک شده و از حالت فصلی «و» دور می‌شود. برای سنجش این خصوصیت سنجه‌یی[۲۱] به‌نام درجه‌ی خوش‌بینی به‌صورت رابطه‌ی ۵ تعریف شده است:[۱]

$$\text{خوش‌بینی}(w) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (n-i) w_i \qquad (۵)$$

مثال: برای بردار وزن $w = (0/1\text{و}0/2\text{و}0/3\text{و}0/4)^T$ درجه‌ی خوش‌بینی عبارت است از:

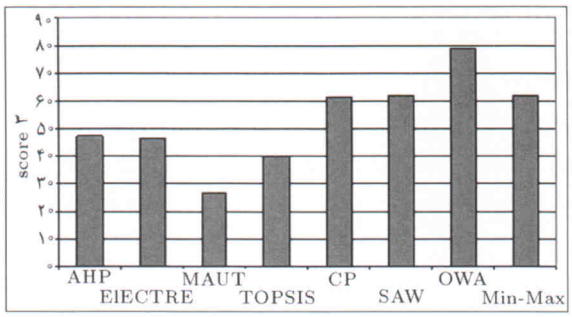
$$\text{خوش‌بینی}(w) = (3 \times 0/1 + 2 \times 0/2 + 0/3)/3 \sim 0/333$$

جدول ۱. بعضی عملگرهای تولید شده با تغییر بردار وزن‌ها در عملگر OWA.[۱۱]

OWA	
$\begin{cases} w_1 = 1 \\ w_i = 0 \quad if\ i \neq 1 \end{cases}$	بیشینه
$\begin{cases} w_n = 1 \\ w_i = 0 \quad if\ i \neq n \end{cases}$	کمینه
$\begin{cases} w_{\frac{n+1}{2}} = 1 \quad if\ n\ is\ odd \\ w_{\frac{n}{2}} = \frac{1}{2}\ and\ w_{\frac{n}{2}+1} = \frac{1}{2} \quad if\ n\ is\ even \\ w_i = 0 \quad else. \end{cases}$	میانه
$\begin{cases} w_k = 1 \\ w_i = 0 \quad if\ i \neq k \end{cases}$	آمار مرتب شده برحسب k
$w_i = \frac{1}{n} \quad for\ \forall i$	میانگین هندسی

چون عدد ۰/۳۳ زیر ۰/۵ می‌باشد فرد خوش‌بینی کمی داشته و درواقع ریسک‌پذیری[۲۲] کم‌تری دارد (ریسک‌گریز[۲۳] است). عدد ۰/۵ در مورد فردی بیان می‌شود که از نظر ریسک‌پذیری / ریسک‌گریزی خنثی[۲۴] است.

با درنظر گرفتن خصوصیات فوق می‌توان ادعا کرد که در تجمیع نظرات و معیارها این روش کارایی بالایی دارد. مؤلفین دیگری نیز به این مسئله اذعان داشته‌اند. به‌عنوان نمونه، با اشاره به توانایی‌های OWA، و نیز با انجام تحقیقی جایگاه آن را نسبت به سه دسته‌ی دیگر عملگرها سنجیده‌اند.[۱۲]



نمودار ۳. اولویت‌بندی روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره از نقطه‌نظر معیارهای مطرح در این مطالعه.

۱.۲. برتری عملگر OWA برای استفاده در تصمیم‌گیری چندمعیاره در مدیریت منابع آب

با توجه به مجموعه خصوصیات عملگر OWA برای استفاده در تصمیم‌گیری، در این مطالعه بین این روش با سایر روش‌های تصمیم‌گیری مقایسه‌یی صورت گرفته است.[۱۴] در جدول ۲ معیارهای مطرح در این مطالعه، و نیز روش‌های مورد نظر، در قالب یک ماتریس تصمیم‌گیری ارائه شده است. در واقع برای انتخاب روش مناسب در اولویت‌بندی طرح‌های عمرانی بخش آب معیارهایی مطرح است. این ۱۰ معیار در ردیف اول جدول ۲ ارائه شده است. براساس این معیارها و وزن نسبی آن‌ها، ۷ روش مطرح در مطالعات تصمیم‌گیری چندمعیاره علاوه بر روش OWA در ستون اول ماتریس تصمیم‌گیری جدول ۲ معرفی می‌شود.

حال به‌کمک یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (TOPSIS Fuzzy) امتیاز هر روش تصمیم‌گیری محاسبه، و در نمودار ۳ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود روش میانگین وزنی مرتب برای مطالعه موردی مدنظر نسبت به سایر روش‌ها برتری داشته و اولویت بالاتری دارد. لذا در این مطالعه، از این روش برای تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده خواهد شد.

با توجه به اهمیت کاربرد OWA در زمینه‌های مختلف، مدل اولیه‌ی این دیدگاه گسترش زیادی پیدا کرده است. بعضی از انواع توسعه‌یافته‌ی این مدل در سال‌های اخیر عبارت‌اند از: OWAمرتبه‌یی[۱۳]، LOWA[۱۵][۲۵]، WOWA[۱۶][۲۶]، Induced OWA[۱۷]، HOWA[۱۸][۲۷]، GOWA[۱۹][۲۸]، EOWA[۲۰][۲۹]، OWA شهودی[۲۱][۳۰] و LUOWA[۲۲][۳۱]. برحسب نوع مسئله می‌توان گسترش‌های دیگری در مدل OWA ایجاد کرد. در این نوشتار مدل اولیه حسب نیاز، براساس مدل OWA استقرایی توسعه‌یافته است. یکی از ایرادات مدل اولیه‌ی ارائه شده این بود که ورودی‌های مدل بایستی وزن یکسانی داشته باشند. با ارائه‌ی مدل OWA استقرایی توانایی این روش بیشتر شد.[۱۷] در مدل OWA استقرایی مطابق معادله‌ی ۶ هر

جدول ۲. مقایسه‌ی کاربرد عملگر OWA در تصمیم‌گیری با سایر روش‌های تصمیم‌گیری.

معیارهای ارزیابی	امکان مشارکت ذینفعان	تنوع داده‌های مورد قبول	سهولت یادگیری	نیاز به تصمیم‌گیر	گسترش ادبیات موضوع	زمان مورد نیاز	قبول خوش‌بینی و ریسک	وجود ابزار لازم	گسترش کاربرد روش	پایداری جواب
وزن معیار / نام روش	نسبتاً زیاد	زیاد	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد (منفی)	نسبتاً کم	نسبتاً زیاد (منفی)	زیاد	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد	متوسط
AHP	متوسط	نسبتاً کم	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	خیر	متوسط	نسبتاً زیاد	زیاد
ELECTRE	کم	کم	نسبتاً کم	زیاد	نسبتاً کم	زیاد	بلی	نسبتاً زیاد	نسبتاً کم	زیاد
MAUT	نسبتاً کم	نسبتاً کم	کم	خیلی زیاد	کم	خیلی زیاد	خیر	نسبتاً کم	کم	متوسط
TOPSIS	نسبتاً کم	نسبتاً زیاد	متوسط	نسبتاً کم	متوسط	متوسط	خیر	خیلی کم	متوسط	متوسط
برنامه‌ریزی سازشی	متوسط	نسبتاً زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	نسبتاً زیاد	بلی	نسبتاً زیاد	متوسط	نسبتاً زیاد
میانگین وزنی ساده	زیاد	زیاد	زیاد	کم	زیاد	کم	خیر	خیلی کم	زیاد	متوسط
میانگین وزنی مرتب OWA	زیاد	زیاد	نسبتاً زیاد	نسبتاً کم	نسبتاً زیاد	نسبتاً کم	بلی	خیلی زیاد	نسبتاً زیاد	زیاد
روش کمینه ــ بیشینه	نسبتاً کم	زیاد	زیاد	خیلی کم	متوسط	خیلی کم	خیر	خیلی کم	نسبتاً زیاد	کم

مقداری از عملکرد یک گزینه از نقطه‌نظر یک معیار، یک زوج برای رتبه‌بندی به همراه دارد. در واقع وزن نسبی هر معیار، عامل رتبه‌بندی اولیه‌ی آن معیار خواهد بود نه بزرگی عددی آن. در حالت تصمیم‌گیری گروهی نیز، این زوج میزان نفوذ یک عضو محسوب می‌شود.

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1 و w_i \in [0 - 1]$$

$$f((u_1, a_1); (u_2 a_2); \ldots; (u_n, a_n)) =$$

$$\sum_{j=1}^{n} w_j b_j = w_1 b_1 + w_2 b_2 + \cdots + w_n b_n \qquad (6)$$

b_j عبارت است از jامین مقدار در مجموعه داده‌های ورودی $a_1; a_2; \ldots; a_n$. البته بردار b مرتب شده نزولی بردار a برحسب مقادیر زوج متناظر آن در بردار U است. یک مزیت عمده‌ی این توسعه آن است که لزومی به استخراج وزن معیارها به‌صورت عددی و کمّی نیست بلکه اطلاع از ترتیب اهمیت معیارها کفایت می‌کند.

مثال: اگر خصوصیات یک سد از جنبه‌ی چهار معیار به‌صورت (۰٫۶ و ۰٫۲ و ۱٫۰ و ۰٫۷) باشد، بردار وزن متناظر با معیارها از منظر تصمیم‌گیرنده برابر (۰٫۳ و ۰٫۴ و ۰٫۱ و ۰٫۲) است. در واقع اهمیت معیارها عبارت است از (دوم، اول، چهارم، سوم). اگر بردار وزن مدل OWA بر حسب میزان خوش‌بینی تصمیم‌گیرنده برابر (۰٫۱ و ۰٫۲ و ۰٫۳ و ۰٫۴) استخراج شده باشد، مقدار ارزش کل این طرح به روش OWA برابر خواهد بود با:

$$f((0/6\ 0/3)و(0/2\ 0/4)و(0/0\ 1/0)و(0/7\ 0/2)) =$$
$$(0/4\times 0/2+0/3\times 0/6+0/2\times 0/7+0/1\times 1/0) = 0/5$$

قبل از تشریح مسئله‌ی تصمیم‌گیری در زمینه‌ی طرح‌های انتقال آب، لازم است نحوه‌ی استخراج وزن‌رتبه‌ها در مدل OWA توضیح داده شود.

۲.۲. استخراج بردار وزن‌رتبه‌ها در مدل OWA

با توجه به آنچه در بخش‌های قبلی ذکر شد، اهمیت استخراج بردار وزن‌رتبه‌ها (w) در مدل OWA آشکار می‌شود. بردار وزن‌رتبه‌ها که منعکس‌کننده‌ی روحیه‌ی خوش‌بینی یا بدبینی تصمیم‌گیرنده است، ممکن است اثر زیادی در تغییر نتایج تجمیع داشته باشد. لازم به ذکر است که بردار وزن رتبه‌ها نشان‌دهنده‌ی وزن‌های نسبی معیارها یا افراد نسبت به هم نیست. با توسعه‌ی مدل OWA وزن نسبی معیارها نیز قابل اعمال در مدل است. اما آنچه در این بخش به آن می‌پردازیم استخراج بردار وزن نوع اول است. برای استخراج وزن‌رتبه‌ها سه روش اصلی وجود دارد: روش افزایش آنتروپی، روش استفاده از کمیت سنج‌ها، و روش استفاده از داده‌های قبلی. در این مطالعه از روش افزایش آنتروپی استفاده خواهد شد. دلیل استفاده از این روش این است که از مبنای ریاضی و شهودی قوی‌تری نسبت به روش‌های دیگر برخوردار است. دلیل دیگر این است که نیاز کم‌تری به اطلاعات و پرسش از تصمیم‌گیرنده دارد.

۱.۲.۲. روش افزایش پراکندگی[۳۲]

بیگر در ارائه‌ی عملگر OWA دو سنجه‌ی مهم را به‌کار برد.[۱] سنجه‌ی اول برای اندازه‌گیری یکی از خصوصیات ذهنی تصمیم‌گیرنده، یعنی «خوش‌بینی» است که در بند ۲ به آن اشاره شد. سنجه‌ی دوم برای اندازه‌گیری میزان پراکندگی در بردار وزن‌رتبه‌هاست. بیگر برای اندازه‌گیری پراکندگی از سنجه‌ی آنتروپی[۳۳] استفاده کرد. برای اندازه‌گیری آنتروپی روش‌های مختلفی ارائه شده ولی روش شانون[۲۳] بهترین سنجه برای اندازه‌گیری آن است.[۲۴] برای این کار از معادله‌ی ۷ استفاده می‌شود که در آن w بردار وزن‌رتبه‌ها است.

$$\text{آنتروپی}(w) = -\sum_{i=1}^{n} w_i.Ln(w_i) \qquad (7)$$

اوهاگان در مقاله‌ی مهم خود نشان داد که یک تصمیم‌گیرنده در درجه‌ی معینی از خوش‌بینی، به افزایش آنتروپی در وزن‌رتبه‌ها تمایل دارد.[۲۵] به‌عبارت دیگر، او سعی می‌کند تا حد امکان همه‌ی معیارهای مدنظر خود را به یک مقدار دخالت بدهد و از توجه خاص به یک معیار و عدم توجه به بقیه دوری کند. با این دیدگاه به مسئله‌ی بهینه‌سازی غیرخطی زیر می‌رسیم:

تابع هدف:

$$Maximizing, Entropy(w) = -\sum_{i=1}^{n} w_i.Ln(w_i) \qquad (8)$$

مقید به محدودیت‌های زیر:

$$\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(n-i)w_i = \theta$$

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$$

$$0 \le w_i \le 1 \qquad (9)$$

حل این مسئله به‌ازاء هر مقدار معین خوش‌بینی (θ) یک بردار وزن برای رتبه‌های عملگر OWA را معرفی می‌کند. روش افزایش پراکندگی (آنتروپی) اوهاگان نمونه‌یی از روش‌های پارامتریک است. در این دسته مدل‌های دیگری به غیر از روش فوق ارائه شده و مطالعات مختلفی برای حل مسئله‌ی اوهاگان با سنجه‌های دیگر اندازه‌گیری آنتروپی (به غیر از سنجه‌ی شانون) صورت گرفته است. مثلاً محققان سنجه‌یی به نام «آنتروپی کم‌تر» پیشنهاد داده و خصوصیات آن را با مدل

شانون مقایسه کرده‌اند.[۲۶] روش آنتروپی شانون دارای خصوصیات بسط‌پذیری، جمع‌پذیری و زیرجمعی است. اگرچه این روش برای اندازه‌گیری آنتروپی یک سنجه روش کاملی است، در اکثر مسائل نیازی به ارضای خصوصیات فوق نیست. لذا با توجه به دلایل مختلف (از جمله سهولت محاسبات)، تابع هدف مسئله‌ی بهینه‌سازی اوهاگان تغییر یافته است. دانشمندان استدلال کرده‌اند که ایجاد «کم‌ترین تغییرات» در بردار وزن‌رتبه‌ها می‌تواند به‌جای آنتروپی، در تابع هدف مسئله‌ی اوهاگان، قرار بگیرد[۲۷]:

$$MinimizingD^{۲}(w) = \sum_{i=۱}^{n} \frac{۱}{n}(w_i - E(w))^{۲} =$$

$$\frac{۱}{n}\sum_{i=۱}^{n} w_i^{۲} - (\frac{۱}{n}\sum_{i=۱}^{n} w_i)^{۲} = \frac{۱}{n}\sum_{i=۱}^{n} w_i^{۲} - \frac{۱}{n^{۲}} \qquad (۱۰)$$

در مطالعه‌ی موردیِ بخش ۳ از این تابع هدف در مسئله‌ی اوهاگان استفاده خواهد شد. به کمک روش ضرایب لاگرانژ مسئله‌ی بهینه‌سازی اوهاگان حل شده و یک جواب عمومی به دست آورده‌اند.[۲۸] در واقع حل مسئله‌ی بهینه‌سازی با تابع هدف (۸) و قیود (۹) جواب عمومی زیر را دارد:

$$w_۱ = \frac{۶\theta(n-۱) - ۲(n-۲)}{n(n+۱)}$$

$$wj = \frac{n-۲j+۱}{n-۱}w_۱ + \frac{۲(j-۱)}{n(n-۱)}$$

$$w_n = \frac{۲}{n} - w_۱ \qquad (۱۱)$$

θ درجه‌ی خوش‌بینی است که به‌عنوان یک ورودی بایستی معلوم باشد. n تعداد ورودی‌ها به مدل است.

۳. اولویت‌بندی طرح‌های انتقال بین‌حوضه‌یی از زاگرس جنوب‌غربی به زاینده‌رود

در این مطالعه‌ی موردی اولویت‌بندی چهار طرح انتقال بین‌حوضه‌یی آب از حوضه‌ی زاگرس جنوب‌غربی به حوضه‌ی زاینده‌رود در زاگرس شرقی مطرح است. این چهار طرح عبارت‌اند از انتقال از رودخانه‌ی گوکان به زاینده‌رود، چشمه‌لنگان به زاینده‌رود، کوهرنگ ۳ به زاینده‌رود، و بهشت‌آباد به زاینده‌رود. برای این مسئله تصمیم‌گیری، ماتریس اطلاعات عملکرد هر گزینه از نقطه‌نظر معیارهای مختلف تکمیل شده است. البته در این مطالعه با توجه به میزان و وضعیت اطلاعات، ۸ معیار قابل بررسی بوده است. این ماتریس با توجه به اطلاعات ارسالی شرکت آب منطقه‌یی اصفهان در جدول ۳ ارائه شده است. جواب به هر عملکرد با متغیرهایی از نوع قطعی، بیانی و فازی صورت گرفته است. به‌عنوان مثال، در جدول ۳ طرح چشمه لنگان از دید مشارکت عمومی عملکردی متوسط دارد. مقادیر بیانی بازه‌یی به‌صورت زیر دارند: (خیلی کم، کم، نسبتاً کم، متوسط، نسبتاً زیاد، زیاد، خیلی‌زیاد) طرح کوهرنگ ۳ از لحاظ جابه‌جایی مردم عدد ۲۰۰ نفر با بازه‌ی تغییرات ۵۰ نفر و به‌صورت فازی مثلثی بیان شده است.

برای اولویت‌بندی طرح‌ها براساس روش OWA ابتدا استخراج بردار وزن‌ها مورد نیاز است. در این مطالعه براساس روش ارائه شده در بخش ۱.۲.۲ از روش «کم‌ترین تغییرات»[۲۸] استفاده کرده و مسئله‌ی بهینه‌سازی زیر را حل می‌کنیم:

$$Minimizing, D^{۲}(w) = \frac{۱}{۸}(w_۱^{۲} + w_۲^{۲} + w_۳^{۲} + w_۴^{۲} +$$

$$w_۵^{۲} + w_۶^{۲} + w_۷^{۲} + w_۸^{۲}) - \frac{۱}{۶۴} \qquad (۱۲)$$

مقید به محدودیت‌های زیر:

$$\frac{۱}{۷}[(۷w_۱ + ۶w_۲ + ۵w_۳ + ۴w_۴ + ۳w_۵ + ۲w_۶ + w_۷] = \theta$$

$$\sum_{i=۱}^{۸} w_i = ۱$$

$$۰ \le w_i \le ۱, i = ۱, \ldots, ۸ \qquad (۱۳)$$

برای حل مسئله، مدل غیر خطی فوق در محیط نرم‌افزار GAMS تهیه شد.[۲۹] و سپس به کمک ابزار MINOS مدل اجرا شده و نتایج آن با یک ابزار دیگر (CONOPT) ارزیابی و تأیید شد. در جدول ۴

جدول ۳. ماتریس تصمیم‌گیری (اطلاعات عملکرد گزینه‌ها از دید معیارها).

نام معیار	اثرات زیست‌محیطی	نسبت سود به‌هزینه	سازگاری با سیاست‌ها	مشارکت عمومی	پیشرفت طرح	جابه‌جایی مردم	تنوع منابع مالی	اولویت مصرف
وزن معیار	نسبتاً کم (منفی)	نسبتاً زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	نسبتاً زیاد (منفی)	متوسط	نسبتاً زیاد
نوع داده معیار	بیانی	فازی مثلثی	بیانی	بیانی	قطعی	فازی مثلثی	فازی مثلثی	بیانی
گوکان به زاینده‌رود	کم	(۱٫۵، ۰٫۱، ۰٫۱)	زیاد	نسبتاً زیاد	۲ (فاز ۲)	(۱٫۰، ۰٫۰، ۰٫۰)	(۵،۱،۱)	نسبتاً زیاد
چشمه لنگان به زاینده‌رود	متوسط	(۰٫۳،۰٫۳،۱٫۴)	خیلی زیاد	متوسط	۴ (بهره‌برداری)	(۱٫۰، ۰٫۰،۰٫۰)	(۲، ۰٫۰، ۰٫۰)	خیلی زیاد
کوهرنگ ۳ به زاینده‌رود	نسبتاً کم	(۰٫۱، ۰٫۱، ۱٫۱)	خیلی زیاد	زیاد	۳ (اجرا)	(۵۰، ۵۰، ۲۰۰)	(۳،۲،۱)	خیلی زیاد
بهشت‌آباد به زاینده‌رود	نسبتاً زیاد	(۰٫۳، ۰٫۳، ۱٫۶)	زیاد	خیلی زیاد	۲ (فاز ۲)	(۵۰، ۵۰، ۴۰۰۰)	(۴،۱،۱)	خیلی زیاد

جدول ۴. مقادیر وزن‌رتبه‌ها در روش OWA بعد از حل مدل بهینه‌سازی.

درجه خوش‌بینی، θ	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱
۰/۱	۰	۰	۰	۰	۰/۰۱	۰/۱۷	۰/۳۳	۰/۴۹
۰/۲	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۷۲	۰/۱۳۵	۰/۱۹۸	۰/۲۶۱	۰/۳۲۴
۰/۳	۰/۰۰۸	۰/۰۴۲	۰/۰۷۵	۰/۱۰۸	۰/۱۴۲	۰/۱۷۵	۰/۲۰۸	۰/۲۴۲
۰/۴	۰/۰۶۷	۰/۰۸۳	۰/۱	۰/۱۱۷	۰/۱۳۳	۰/۱۵	۰/۱۶۷	۰/۱۸۳
۰/۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵
۰/۶	۰/۱۸۳	۰/۱۶۷	۰/۱۵	۰/۱۳۳	۰/۱۱۷	۰/۱	۰/۰۸۳	۰/۰۶۷
۰/۷	۰/۲۴۲	۰/۲۰۸	۰/۱۷۵	۰/۱۴۲	۰/۱۰۸	۰/۰۷۵	۰/۰۴۲	۰/۰۰۸
۰/۸	۰/۳۲۴	۰/۲۶۱	۰/۱۹۸	۰/۱۳۵	۰/۰۷۲	۰/۰۱	۰	۰
۰/۹	۰/۴۹	۰/۳۳	۰/۱۷	۰/۰۱	۰	۰	۰	۰
۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

نتایج اجرای مدل برای استخراج بردار وزن‌رتبه‌ها برای ده مقدار مختلف درجه‌ی خوش‌بینی به‌عنوان یک متغیر اسکالر ارائه شده است.

در روش OWA بردار وزن‌معیارها (نه وزن‌رتبه‌ها) یکسان فرض می‌شود. در این مطالعه‌ی موردی، معیارها وزن‌های مختلفی از نقطه‌نظر تصمیم‌گیرنده دارند. مثلاً به معیار تنوع منابع مالی امتیاز متوسط، و به معیار سازگاری با سیاست‌ها امتیاز بالا داده شده است. لذا طبق توضیح بند ۱.۲ این مطالعه، اولویت‌بندی براساس روش OWA استقرایی صورت می‌گیرد. در این روش ورودی‌ها براساس اهمیت‌شان مرتب می‌شوند نه براساس اندازه‌شان. لذا ابتدا به‌کمک بردار وزن ارائه شده توسط شرکت آب‌منطقه‌یی اصفهان (ردیف دوم در جدول ۳ - شهریور ۱۳۸۴) مقادیر نرمال شده‌ی عملکرد هر گزینه در جدول ۳ را براساس وزن آن معیار به‌صورت نزولی مرتب می‌کنیم. از آنجا که بعضی از معیارها وزن یکسانی دارند، وزن رتبه‌یی مربوط به رتبه‌های آنها به‌صورت میانگین ضرب می‌شود. مثلاً برای حالت خوش‌بینی با درجه‌ی ۰/۶ ابتدا بردار وزن رتبه‌ها را از طریق معادلات بهینه‌سازی ۱۲ و ۱۳ به‌دست می‌آوریم. سپس امتیاز گزینه‌ی کوهرنگ ۳ به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

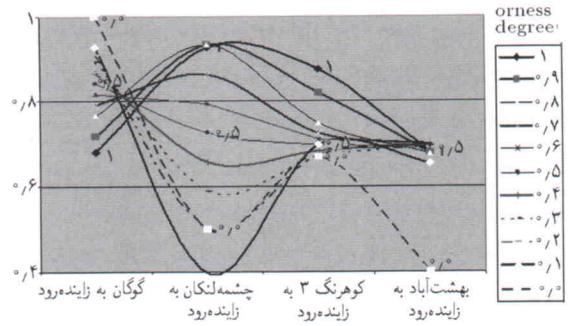
$$f((u_1,a_1)\ ;\ (u_2\ ,a_2);\ \ldots;\ (u_n,a_n)) =$$

$$\sum_{j=1}^{n} w_j\, b_j = w_1\, b_1 + w_2\, b_2 + \cdots + w_n\, b_n$$

$$w_{0/6} = (0/183, 0/167, 0/150, 0/133, 0/117,$$

$$0/100, 0/083, 0/067)$$

کوهرنگ -۳ = [(پیشرفت طرح + سازگاری با سیاستها)* $(w_1 + w_2)/2$ +(اولویت مصرف + میزان جابه‌جایی مردم + نسبت سود به هزینه)* $(w_3 + w_4 + w_5)/3$ +(تنوع منابع مالی + مشارکت مردمی)* $(w_6 + w_7)/2$ +اثرات زیست‌محیطی * w_8]



نمودار ۴. تغییر امتیاز طرح‌های انتقال بین حوضه‌یی آب به زاینده رود به روش OWA استقرایی برای درجات مختلف خوش‌بینی.

لازم به ذکر است که برای انجام محاسبه‌ی فوق دو کار باید در مورد ورودی‌ها صورت بگیرد: ابتدا با استفاده از روش مرکز ثقل اعداد فازی‌زدایی شوند؛ و سپس نرمال شوند یعنی هم بدون بعد شده و هم در داخل بازه‌ی صفر تا یک قرار بگیرند. در این مطالعه برای نرمال‌سازی داده‌های یک بردار چنانچه $\bar{A} = (A_1; A_2; \ldots; A_n)$ مربوط به معیار مثبت باشد از معادله‌ی ۱۴، و در صورتی که مربوط به معیار منفی باشد از معادله‌ی ۱۵ استفاده می‌کنیم:

$$a_i = \frac{A_i}{Max(\bar{A})} \qquad (14)$$

$$a_i = \frac{Min(\bar{A})}{A_i} \qquad (15)$$

در نمودار ۴ نتیجه‌ی نهایی انجام محاسبات فوق برای استخراج امتیاز چهار طرح انتقال بین حوضه‌یی ارائه شده است.

جدول ۵. مقایسه‌ی نتیجه‌ی اولویت‌بندی چهار طرح انتقال بین‌حوضه‌یی به زاینده‌رود به روش OWA استقرایی.

نام طرح انتقال آب	اولویت طرح‌ها در فضای تصمیم‌گیری واقعی	درجه خوش‌بینی									
		۱٫۰	۰٫۹	۰٫۸	۰٫۷	۰٫۶	۰٫۵	۰٫۴	۰٫۳	۰٫۲	۰٫۱	۰٫۰
گوکان	سوم (در حال مطالعه)	سوم	سوم	سوم	دوم	اول	اول	اول	اول	اول	اول	اول
چشمه‌لنگان	اول (بهره‌برداری)	اول	اول	اول	اول	دوم	دوم	چهارم	چهارم	چهارم	چهارم	سوم
کوهرنگ ۳	دوم (درحال اجرا)	دوم	دوم	دوم	سوم	سوم	سوم	سوم	سوم	سوم	دوم	دوم
بهشت‌آباد	چهارم (در حال مطالعه)	سوم	چهارم	چهارم	چهارم	چهارم	چهارم	دوم	دوم	دوم	سوم	چهارم

در جدول ۵ نیز نتایج علاوه بر وضعیت فعلی هر چهار طرح در فضای واقعی تصمیم‌گیری در کشور، اولویت‌بندی چهار طرح انتقال آب به زاینده‌رود مبتنی بر روش OWAاستقرایی با مقادیر مختلف خوش‌بینی ارائه شده است.

از مقایسه‌ی نتایج مدل با آنچه اتفاق افتاده است می‌توان به نکات جالبی دست یافت. نتیجه‌ی اول اینکه ستون مربوط به درجه‌ی خوش‌بینی ۰٫۸ و ۰٫۹ مطابق با ستون اولویت طرح‌ها در فضای تصمیم‌گیری واقعی است. اگر در زمان تصمیم‌گیری برای طرح‌ها مقایسه‌یی بین آنها صورت بگیرد و معیارهای مطرح و وزن آنها مطابق ماتریس تصمیم‌گیری در جدول ۳ بوده باشد، فضای تصمیم‌گیری مبتنی بر خوش‌بینی بالا (ریسک‌پذیری) بوده است. در سال ۱۳۸۵ طرح چشمه‌لنگان به بهره‌برداری رسید و طرح کوهرنگ ۳ در دست اجرابوده است (جدول ۵، ستون مربوط به پیشرفت طرح). در حالی که در یک شرایط متعادل از نظر درجه‌ی خوش‌بینی، طرح گوکان اولویت اول را دارد ولی هنوز در مرحله‌ی مطالعات است؟ با توجه به نتایج جدول ۵، در می‌یابیم که جایگاه و رتبه‌ی بعضی از طرح‌ها وابستگی شدیدی به درجه‌ی خوش‌بینی دارد. از آنجا که درجه‌ی خوش‌بینی افراد مختلف تصمیم‌گیرنده با هم فرق دارند، با تغییر تصمیم‌گیرندگان در طول زمان ارزش و اهمیت آن طرح‌ها فرق خواهد کرد و ممکن است تصمیم مدیر قبلی روی آن طرح از طرف مدیر بعدی به شدت نقد شود. برای بررسی بهتر این مسئله ساخت مدل تحلیل حساسیت ضروری است.

۴. ساخت مدل تحلیل حساسیت برای روش OWAاستقرایی

با توجه به جدول ۵، طرح گوکان تنها در حالت بدبینی و ریسک‌گریزی تصمیم‌گیرنده اولویت اول را دارد. اگر تصمیم‌گیرنده فردی با خوش‌بینی بالا (ریسک‌پذیر) باشد اولویت اول با طرح چشمه‌لنگان است در حالی که در حالت بدبینی این طرح رتبه‌ی پایین‌تری می‌گیرد. لذا رتبه‌ی طرح چشمه‌لنگان وابستگی زیادی به حالت خوش‌بینی تصمیم‌گیرنده دارد.

اما طرح کوهرنگ ۳ اولویت دوم را در اکثر حالات خوش‌بینی پیدا کرده است لذا وابستگی کم‌تری به درجه‌ی خوش‌بینی تصمیم‌گیرنده دارد. با توجه به این تغییرات، تهیه‌ی یک مدل تحلیل حساسیت ضروری است. به‌کمک این تحلیل حساسیت، امتیاز هر طرح نسبت به تغییر درجه‌ی خوش‌بینی به‌دست خواهد آمد. در واقع با این کار می‌توان گزینه‌هایی را که به درجه‌ی خوش‌بینی تصمیم‌گیرنده‌ی فعلی یا آینده حساس‌اند تشخیص داد. حساسیت زیاد به درجه‌ی خوش‌بینی نوعی نقص و ایراد برای آن گزینه محسوب می‌شود، زیرا میزان اعتماد به نتیجه و امتیاز آن طرح کم‌تر است. برای محاسبه‌ی تحلیل حساسیت محاسبات زیر صورت گرفته است و در رابطه‌ی ۱۶ مدل به دست آمده است. در مدل اولیه‌ی OWA داریم:

$$F = f(a_1\,;\, a_2;\ \ldots;\, a_n) = \sum_{j=1}^{n} w_j\, b_j =$$

$$w_1\, b_1 + w_2\, b_2 + \cdots + w_n b_n$$

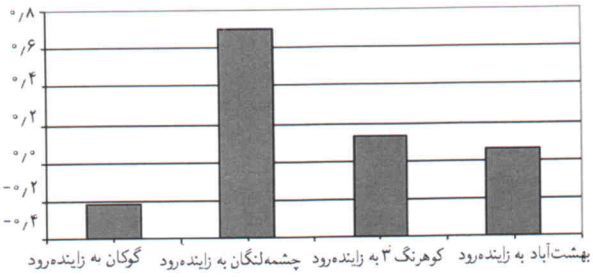
حال از مقدار امتیاز یک گزینه (یعنی F) نسبت به درجه‌ی خوش‌بینی (یعنی θ) مشتق می‌گیریم. از آنجا که در مدل اولیه‌ی OWA مقادیر بردار وزن‌رتبه‌ها وابسته به درجه‌ی خوش‌بینی‌اند لذا لازم است معادلات آنها (روابط ۱۱) ضرورت یافته و با جاگذاری آنها در مدل اولیه‌ی OWA و مشتق گیری نسبت به θ، داریم:

$$S = \frac{\partial F}{\partial \theta}$$

$$S = \frac{6}{n(n+1)} \sum_{j=1}^{n} (n - 2j + 1) b_j \qquad (16)$$

F امتیاز یک گزینه با بردار خصوصیات و عملکرد $(a_1; a_2; \ldots; a_n)$ با کمک عملگر OWA است. لازم به ذکر است که مقادیر بردار $(a_1; a_2; \ldots; a_n)$ نرمال شده است. برای نرمال‌سازی از روش مذکور در معادلات ۱۴ و ۱۵ استفاده شده است.

b بردار مرتب شده $(a_1; a_2; \ldots; a_n)$ است. البته در این مسئله



نمودار۵. میزان حساسیت امتیاز هرگزینه(S) به‌تغییر درجه‌ی‌خوش‌بینی θ.

چون هر معیاری وزن نسبی دارد، با استفاده از عملگر OWA مرتب‌سازی ذکر شده براساس اهمیت آن معیار است نه براساس بزرگی آن.

S درجه‌ی حساسیت آن گزینه با بردار خصوصیات و عملکرد $(a_1; a_2; ...; a_n)$ است.

θ همان درجه‌ی خوش‌بینی است که به‌عنوان یک ورودی بایستی معلوم باشد.

n تعداد ورودی‌ها به مدل است.

مدل به دست آمده در معادله‌ی ۱۶ برای چهار طرح انتقال آب مذکور به کار رفته و میزان حساسیت آنها در نمودار ۵ ارائه شده است. با توجه به نمودار ۵ مشخص می‌شود که طرح چشمه لنگان نسبت به سایر طرح‌ها از بیشترین حساسیت به تغییر درجه‌ی خوش‌بینی برخوردار است. در واقع ارزش و رتبه‌ی این طرح برای تصمیم‌گیرندگان دیگر (به دلیل تغییر درجه‌ی خوش‌بینی) تفاوت زیادی خواهد داشت و از این‌رو نقطه ضعفی برای این طرح، در مقایسه با سایر طرح‌هاست. لازم به یادآوری است که ممکن است در بعضی درجات خوش‌بینی امتیاز این طرح به‌صورت کلی بالاتر باشد.

برای کنترل صحت نتایج نمودار ۵ که مربوط به مدل ۱۶ است می‌توان به نمودار تغییر امتیاز طرح‌ها در برابر تغییر درجه‌ی خوش‌بینی مراجعه کرد. همان طور که در نمودار ۴ ملاحظه می‌شود طرح چشمه لنگان تغییرات زیادی را از خود نشان می‌دهد. از طرف دیگر امتیاز طرح گوکان بر عکس سه طرح دیگر با افزایش درجه خوش‌بینی کاهش می‌یابد. این مسئله با مقدار منفی برای درجه‌ی حساسیت در نمودار ۵ برای این طرح تطابق دارد.

همان‌طورکه ملاحظه می‌شود معادله‌ی به دست آمده در این نوشتار برای تحلیل حساسیت مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر عملگر OWA امکان تحلیل بیشتری را برای بررسی جایگاه هر طرح نسبت به دیدگاه خوش‌بینانه/ بدبینانه‌ی تصمیم‌گیرنده ارائه می‌کند.

۵. نتیجه‌گیری

برای تأمین تقاضای روزافزون آب طرح‌های متعدد انتقال بین‌حوضه‌یی آب در حال بهره‌برداری، اجرا و یا مطالعه‌اند. اما با توجه به تبعات گسترده‌ی این طرح‌ها، مدیران نیازمند تصمیم‌گیری‌های دقیق و جامع‌اند.

در این نوشتار ضمن بیان خصوصیات عملگر میانگین وزنی مرتب (OWA) برتری آن در مقایسه با سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مدیریت منابع آب نشان داده شده است. این توانایی بیشتر در انعکاس بهتر و دقیق‌تر تمایلات، به‌خصوص درجه‌ی خوش‌بینی تصمیم‌گیرنده است. با ارائه‌ی یک مطالعه موردی در اولویت‌بندی طرح‌های انتقال آب به حوضه‌ی‌زاینده رود، لزوم بهبود مدل اولیه نشان داده شده و در نتیجه از مدل OWA استقرایی برای این کار استفاده شد. در مطالعه‌ی موردی با ساخت یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی وزن‌های رتبه‌یی برای این عملگر به روش افزایش تغییرات استخراج شده است. به‌علاوه، در مطالعه‌ی موردی نشان داده شده است که تصمیم‌گیری‌های قبلی مدیران در حالت خوش‌بینی بالا (ریسک‌پذیری) صورت گرفته است.

مدل تحلیل حساسیت تهیه شده نشان می‌دهد که طرح چشمه‌لنگان حساسیت زیادی به درجه‌ی خوش‌بینی تصمیم‌گیرندگان دارد. توانایی این مدل در این مطالعه‌ی موردی نشان می‌دهد که به‌کار بستن آن قبل از اجرای طرح‌های توسعه‌ی منابع آب نقش شایانی در اولویت‌بندی صحیح آنها خواهد داشت.

پانوشت

1. Ordered Weighted Averaging (OWA)
2. fusion
3. aggregation
4. Multi Criteria Decision Making (MCDM)
5. Multi Attribute Decision Making (MADM)
6. vulnerability
7. simple additive weights
8. multi objective optimization
9. Spatial Ordered Weighted Averaging (SOWA)
10. climate change
11. MULti-sectoral, INtegrated and Operational decision support system
12. monotonicity
13. stability
14. associativity
15. idem potency
16. identity
17. neutrality
18. order weights
19. criteria weights
20. compensatory
21. measure

22. risk prone
23. risk aversion
24. risk neutrality
25. linguistic OWA
26. weighted OWA
27. heavy OWA
28. generalized OWA
29. extended OWA
30. intuitionistic OWA
31. linguistic uncertain OWA
32. dispersion
33. entropy

منابع

1. Yager, R. R. On Ordered Weighted Averaging Aggregation Operators in Multi-Criteria Decision, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics,* **18**, pp.183-190 (1988).
2. Despic, O., Simonovic, S.P. Aggregation operators for soft decision making in water resources, *Fuzzy Sets and Systems,* **115**, pp.11-33 (2000).
3. Yalcin G., Akyurek, Z. Multiple Criteria Analysis for Flood Vulnerable Areas, in proceeding of 24th Annual ESRI International User Conference, (August 9-13 2004): http://gis.esri.com/library/userconf/proc04 /abstracts/a1097.html
4. IDRISI, Clark Lab: http: //www.clarklabs.org/ (2005)
5. McPhee, J., Yeh, W. W-G., Multiobjective Optimization for Sustainable Groundwater Management in Semiarid Regions, *Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE,* **130**(6), pp. 490-497, (November/December 2004).
6. Makropoulos C.K. and Butler, D. Spatial ordered weighted averaging: incorporating spatially variable attitude towards risk in spatial multi-criteria decision-making, *Environmental Modeling & Software*, **21**(1), pp. 69-84 (2006).
7. Fu, G., Hall, J. Lawry, J. , Beyond Probability: New Methods for representing Uncertainty in projections of Future climate. Tyndall Centre for Climate Change Research Working Paper 75:http:// www.tyndall.ac.uk(2005).
8. Mulino: MULti-sectoral, INtegrated and Operational decision support system, http://www.feem.it/mulino/
9. Fodor, J. J.L. Marichal, M. Roubens, Characteristics of Ordered Weighted Averaging Operators, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems,* **3**(2), pp. 236-240 (1995).
10. Grabisch,M., S.A. Orlovski and R.R. Yager, Fuzzy Aggregation of Numerical Preferences. In The Handbook of Fuzzy Sets Series, Vol. 4: Fuzzy Sets in Decision Analysis, Operations Research and Statistics, R. Slowinski (ed), Kluwer Academic, pp. 31-68 (1998).
11. Carlsson, C. Full'er, F. and Full'er, S. OWA operators for doctoral student selection problem, in: R.R.Yager and J.Kacprzyk eds., The ordered weighted averaging operators: Theory, Methodology, and Applications, Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 197-178 (1977).
12. Smolikova, R., M. P. Wachowiak, Aggregation operators for selection problems, *Fuzzy Sets and Systems,* 131, pp. 23-34 (2002).
13. Yager, R. R. On Application and Extensions of OWA Aggregations, *Int. J. Man-Machine Studies* **37**, pp. 103-122 (1992).
14. Fan, T., D.A. Ralescu, On the Comparisons of OWA Operators and Ordinal OWA Operators, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems,* **5** (1), pp. 1-13 (1997).
15. Herrera,F., E. Herrera-Viedma and J.L.Verdegay, A Model of Consensus in Group Decision Making Under Linguistic Assessments, *Fuzzy Sets and Systems*, 78, pp. 73-87 (1996).
16. Torra, V., The Weighted OWA operator, *Int. J. of Intelligent. Systems*, **12**, pp. 153-166 (1999).
17. Yager, R. R. and Filev, D. P., Induced Ordered Weighted Averaging Operators, *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics,* 29, pp. 141-150 (1999).
18. Yager, R. R., Heavy OWA Operators, *j. of Fuzzy Optimization and Decision Making,* **1**, pp. 379-397, Kluwer Academic Publishers, Netherlands (2002).
19. Yager, R. R., Generalized OWA Operator, *Fuzzy Optimization and Decision Making,* **3**, pp. 93-107 (2004).
20. Xu, Z.S., EOWA and EOWG Operators for Aggregating Linguistic Labels Based on Linguistic Preference Relations, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, **12**(6), pp. 791-810 (2004).
21. Mitchell, H.B. An Intuitionistic OWA Operator, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, **12**(6), pp. 843-860 (2004).
22. Xu, Z.S., An Overview of Methods for Determining OWA Weights, *International Journal of Intelligent Systems,* **20**, pp. 843-865 (2005).
23. Shannon, C.E. A Mathematical Theory of Communication, *Bell System Tech. J.* **27**, pp. 379-423, 623-656 (1948).
24. Acz'el J. and Z. Dar'oczy, On Measures of Information and Their Characterizations, Academic Press, New York–San Francisco–London (1975).
25. O'Hagan, M. Using maximum entropy-ordered weighted averaging to construct a fuzzy neuron.

24th Annual IEEE Asilomar Conf. on Signals, Systems and Computers, pp. 618-623, Paci_c Grove, CA (1990).

26. Marichal J.-L. and M. Roubens, Entropy of Discrete Fuzzy Measures, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems,* **8**(6), pp. 625-640 (2000).

27. Fulle'r, R. P. Majlender, An analytic approach for obtaining maximal entropy OWA operator weights, *Fuzzy Sets and Systems,* **124**, pp. 53-57 (2001).

28. Fulle'r,R., P. Majlender, On obtaining minimal variability OWA operator weights, *Fuzzy Sets and Systems,* 136, pp. 203-215 (2003).

29. GAMS Development Corporation , Washington, DC, http://www.gams.com/ (1986).