کاربرد تصمیم‌گیری چند معیاره تعاملی در تخصیص بهینه منابع آب؛ مطالعه موردی شهرستان یزد

جواد شهرکی[۱]، سیمین محسنی[۲]

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۱/۲۱
تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۶/۲۰

چکیده

هدف از مطالعه حاضر، استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره تعاملی در تخصیص بهینه منابع آب در بخش‌های مختلف در شهرستان یزد می‌باشد. به این منظور، از روش مرحله‌ای استفاده شد و ماتریس بازده برای تعیین وزن دو هدف حداکثر کردن سود اقتصادی و زیست محیطی محاسبه گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزار اکسل به حل مدل برنامه‌ریزی پرداخته شد. داده‌های مورد نیاز از شرکت سهامی آب منطقه‌ای، سازمان آب و فاضلاب، جهاد کشاورزی و سازمان صنعت، معدن و تجارت استان یزد برای سال‌های ۱۳۸۹- ۱۳۸۱ جمع‌آوری گردید. با توجه به نتایج مشخص شد که با تغییرات در وزن‌های به دست آمده مدل برنامه‌ریزی، امکان بهبود همزمان دو هدف مذکور وجود دارد و اولویت با حداکثرکردن سود اقتصادی و سپس سود زیست محیطی است. بنابراین لازم است که در سیاست‌های مربوط به تخصیص بهینه منابع آب به بهبود در مقدار این اهداف بیشتر توجه شود.

واژه‌های کلیدی: تخصیص بهینه منابع آب، تصمیم‌گیری چند معیاره تعاملی، روش مرحله‌ای، شهرستان یزد.

Archive of SID

۱- عضو هیئت علمی و استادیار دانشگاه سیستان و بلوچستان؛ ۰۹۱۵۳۴۱۴۲۸۱؛ j.shahraki@eco.usb.ac.ir
۲- نویسنده مسئول و دانش آموخته کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی دانشگاه سیستان و بلوچستان؛ ۰۹۱۳۲۹۳۶۴۴۲؛ ohseni.simin@gmail.com

www.SID.ir

مقدمه

در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند اکثر نقاط ایران، آب مهم‌ترین عامل محدودکننده توسعه اقتصادی است. در این مناطق مهم‌ترین مسئله در مدیریت آب، ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب می‌باشد. از آنجایی که مقدار عرضه اقتصادی آب همیشه محدود بوده و مقدار تقاضا نیز با افزایش جمعیت دائماً بالا می‌رود، برنامه‌ریزی در جهت استفاده بهینه از منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. با کمیاب‌تر شدن آب در این مناطق، ضرورت استفاده از مکانیزم‌های کاراتر از مکانیزم‌های موجود جهت تخصیص و بهره‌برداری از منابع آب بیشتر احساس می‌شود. مشکل کم آبی در استان‌های کویری ایران از جمله کرمان و یزد محسوس‌تر می‌باشد. کمبود بارندگی، پراکندگی و نامنظم بودن آن باعث شده است که تأثیر نامطلوبی بر روی مخازن آب زیرزمینی داشته باشد. از طرفی همجوارشدن با کویر لوت و دشت کویر، میزان تبخیر در این مناطق بالا می‌باشد (عبدالهی و جوانشاه، ۱۳۸۶). یکی از چالش‌های موجود در مدیریت منابع آب، تخصیص بهینه‌ی آن بین بخش‌ها و مصارف مختلف است. این مسأله با افزایش جمعیت و تقاضا روز به روز حادتر می‌شود (شیرزادی لسکوکلایه و صبوحی صابونی، ۱۳۸۷).

تصمیم‌گیری چندمعیاره[3] یکی از شاخه‌های شناخته شده تحقیق در عملیات است که مسائل تصمیم‌گیری را تحت تعدادی از معیارهای تصمیم بررسی می‌کند. در این تصمیم‌گیری‌ها به جای یک معیار سنجش بهینگی، از چندین معیار برای سنجش استفاده می‌شود. تصمیم‌گیری چندمعیاره خود به دو دسته کلی تصمیم‌گیری چندهدفه[4] و تصمیم‌گیری چندشاخصه[5] تقسیم می‌شود (میان آبادی و افشار، ۱۳۸۷). هدف از مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه، بهینه کردن همزمان چندین تابع هدف، تحت مجموعه‌ای از قیودات است. به طور کلی مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه برای مسائل طراحی و بهینه‌سازی به کار می‌روند. اما تصمیم‌گیری چندشاخصه، برای انتخاب بهترین گزینه و یا گزینه‌ها، از بین گزینه‌های موجود با توجه به چندین شاخص تصمیم به کار می‌رود. این مدل‌ها به منظور انتخاب گزینه برتر مورد استفاده قرار می‌گیرند (اصغرپور، ۱۳۸۱ و میان آبادی و افشار، ۱۳۸۷).

اهداف تحقیق

۱. ارائه یک رویکرد تعاملی برای مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه (MOLP)[6] با استفاده از روش مرحله‌ای (STEM)[7]

۲. تخصیص بهینه آب بین مصرف‌کنندگان رقیب آب شهر یزد، یعنی مصرف‌کنندگان شهری و کشاورزی و صنعتی

۳. حداکثرکردن منافع اقتصادی و زیست محیطی

پیشینه تحقیق

الوانچی و صبوحی (۱۳۸۸)، از مدل تصمیم‌گیری چند معیاره تعاملی در برنامه زراعی مزارع استان فارس استفاده نمودند. در این مطالعه برنامه‌ریزی زراعی با سه هدف حداکثر کردن بازده ناخالص، حداقل کردن آب آبیاری و ریسک با استفاده از برنامه‌ریزی چند معیاره تعاملی مورد توجه قرار گرفت. نتایج نشان داد که الگوی کشت روش تعاملی نسبت به توافقی نزدیکی بیشتری به الگوی کشت فعلی زارعین دارد. علاوه بر آن مدل‌های تعاملی به دلیل مورد توجه قرار دادن ترجیحات زارعین در برنامه‌ریزی زراعی نسبت به مدل برنامه‌ریزی توافقی دارای نتایج بهتری است.

هان و همکاران[8] (۲۰۱۱)، در مطالعه‌ای به توسعه یک مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه با پارامترهای بازه‌ای پرداختند. مدل توسعه یافته، برای تخصیص منابع آب با کیفیت‌های متفاوت به مصرف‌کنندگان شهری، کشاورزی و صنعتی شهر دالیان چین اجرا شد. این مدل به دنبال حداکثر کردن منافع اقتصادی، اجتماعی و محیط زیست می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد نسبت آب مورد استفاده مجدد به کل مقدار آب به تدریج در حال افزایش است، همچنین نسبت مصرف آب کشاورزی به کل مصرف آب در حال کاهش است.

[3] Multi Criteria Decision Making (MDCM)
[4] Multi Objective Decision Making (MODM)
[5] Multi Attribute Decision Making (MADM)

[6] Multi Objective Linear Programming
[7] Step Method (STEM)
[8] Han et al.

Archive of SID
www.SID.ir

هیگینز و همکاران[9] (۲۰۰۸)، شبیه‌سازی مونت کارلو را برای برآورد تجارت مقادیر آب تخصیص داده شده با چند هدف به کار بردند. رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره برای حل مسائل چند هدفه با وزن‌های برابر به کار گرفته شد.

لی و همکاران[10] (۲۰۰۶)، مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای با پارامترهای بازه‌ای را برای مدیریت منابع آب در کانادا تحت سناریوهای متفاوت به کار گرفتند. آن‌ها در مطالعه خود علاوه بر تخصیص آب بین مصارف مختلف به بررسی مبادله بین اهداف محیط زیستی و اقتصادی پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها طی ۸۱ سناریو برای سه مصرف کننده شهری، کشاورزی و صنعتی و سه دوره آینده ارائه شد. اگر آب وعده داده شده به مصرف کننده در دوره مورد نظر رها شود، سود خالص سیستم افزایش می یابد و اگر رها نشود، مصرف کننده باید آب را از منبع گران‌تری تهیه کند و یا فعالیت‌های خود را کاهش دهد که در دو حالت مصرف‌کننده ضرر خواهد کرد.

ابریشم‌چی و همکاران (۲۰۰۵)، تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره برنامه‌ریزی توافقی را برای مدیریت منابع آب در شهرستان زاهدان اجرا کردند. از آنجایی که شهرستان زاهدان با مسائل جدی کمیت و کیفیت آب مواجه می‌باشد، برای تأمین تقاضای آب در آینده، پروژه انتقال آب اجرا شد. برنامه‌ریزی توافقی برای کمک به تصمیم‌گیرندگان در انتخاب بهترین گزیدارهای ممکن برای توزیع هر دو نوع آب قابل دسترس و آب انتقالی در این شهر حل شد. نتایج نشان داد این روش برای استفاده تصمیم‌گیرندگان برای مطالعات جامع مدیریت آب شهری مناسب می‌باشد.

ژو و خان[11] (۲۰۰۵)، در مطالعه‌ای به مدیریت منابع آب در استرالیا با استفاده از بهینه‌سازی چند هدفه پرداختند. در این تحقیق مسائل اقتصادی و زیست محیطی با استفاده از توابع هدف حداکثرسازی سود، حداقل کردن هزینه‌های متغیر تولید و همچنین حداقل سازی میزان آب پمپاژ شده از سفره آب زیرزمینی مد نظر قرارگرفت. به علت تضادهای میان اهداف چندگانه و رقابت تقاضای آب برای بخش‌های مختلف، تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره برای تحلیل اهداف تولید تحت محدودیت‌های فیزیکی، زیستی، اقتصادی و زیست محیطی استفاده شده بود.

مواد و روش‌ها

روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره تعاملی بر تعریف و ارزیابی ترجیحات تصمیم‌گیرنده از تعامل میان وی و نتایج بدست آمده از طریق مسیرهای مختلف، دلالت دارد. تعامل به این صورت است که مدل به مجموعه‌ای از ترجیحات یا روابط مبادله‌ای تصمیم‌گیرنده پاسخ می‌دهد. سپس این مجموعه از جواب‌ها ارزشیابی شده و مجموعه دیگری از جواب‌ها ارائه می‌گردد. بنابراین، روش در مسیر تعامل و تکرار پیش می‌رود تا زمانی که تصمیم‌گیرنده جوابی که رضایتش را جلب کند، پیدا کند. مسیرهای تعاملی برای مسائل تصمیم‌گیری که شامل اهداف[12] یا آرمان‌های[13] چندگانه می‌باشند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش تعاملی تلاش می‌کند که جواب بهینه (بهترین توافق) را زمانی که تصمیم‌گیرنده ترجیحات خاص خود را با توجه به مجموعه کارا ابراز می‌کند، پیدا کند. همچنین، ارزش پارامترهای مهم از قبیل مقدار هدف[14]، وزن‌ها و دیگر اولویت‌ها در مدل برنامه‌ریزی آرمانی، از تعامل تصمیم‌گیرنده و تحلیل‌گر به وسیله تعامل با مدل، استنباط می‌شود (الوانچی و صبوحی، ۱۳۸۸).

به طور کلی یک فرایند تعاملی شامل سه نهاد تصمیم‌گیرنده، تحلیل‌گر و مدل عملیاتی است. در این فرایند، تحلیل‌گر رابط میان مدل و تصمیم‌گیرنده است. فرایند تعاملی در هر مسیر می‌تواند به صورت زیر خلاصه شود (رومر و همکاران، ۱۹۸۸ و الوانچی و صبوحی، ۱۳۸۸).

تحلیل‌گر ابتدا جواب اولیه‌ای از مدل به تصمیم‌گیرنده نشان می‌دهد تا وی آن را با توجه به ترجیحات خود مورد ارزیابی قرار دهد. تصمیم‌گیرنده لازم نیست درباره ترجیحات مطلق خود از قبیل وزن‌های نهایی نسبی مربوط به هر هدف اطلاعاتی را بیان کند بلکه تنها ترجیحات خود را با توجه به جوابی که توسط تحلیل‌گر به او نشان داده شده، ابراز می‌کند. بعد از آشکار شدن ترجیحات تصمیم‌گیرنده،

[9] Higgins et al.
[10] Li et al.
[11] Xevi and Khan
[12] Objectives
[13] Goals
[14] Target

Archive of SID
www.SID.ir

تحلیل‌گر مدل را با استفاده از این ترجیحات تعدیل کرده و جواب جدیدی را ارائه می‌کند. این جواب دوباره مورد ارزیابی تصمیم‌گیرنده قرار گرفته و ترجیحات خود را درباره آن بیان می‌کند. این فرایند در مسیر تعامل و تکرار ادامه می‌یابد تا اینکه به جوابی رسید که از نظر تصمیم‌گیرنده به اندازه کافی مناسب است (رومر و همکاران، ۱۹۸۸ و الوانچی و صبوحی، ۱۳۸۸).

مزایای ممکن در استفاده از روش‌های تعاملی به قرار زیر است (رومر و رهمان، ۲۰۰۳ و صبوحی، ۱۳۹۱):

۱. نیازی به کسب اطلاعات از تصمیم‌گیرنده قبل از حل مسئله نیست.

۲. فرایند یادگیری از درک سیستم برای تصمیم‌گیرنده وجود دارد.

۳. فقط اطلاعات ترجیحی موضعی مورد نیاز است.

۴. چون تصمیم گیرنده در فرایند حل مسئله قرار دارد، به اجرا درآوردن آن ساده‌تر خواهد بود.

با این حال روش‌های تعاملی دارای نقاط ضعفی هستند که عبارتند از:

۱. راه حل به دست آمده بستگی به دقت تصمیم‌گیرنده در ارائه اطلاعات موضعی دارد.

۲. تضمینی وجود ندارد که راه حل مورد علاقه تصمیم‌گیرنده طی تعداد محدودی از سیکل‌های تعاملی متقابل به وجود آید.

۳. تلاش بیشتری از تصمیم‌گیرنده نسبت به روش برنامه‌ریزی چند منظوره و توافقی مورد انتظار است.

با توجه به مطالب فوق یکی از کاربردی‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، روش مرحله‌ای (STEM) است که در ادامه به اختصار توضیح داده شده است (رومر و رهمان، ۲۰۰۳ و صبوحی، ۱۳۹۱).

روش مرحله‌ای توسط بنایون و همکاران (۱۹۷۱) پیشنهاد شد و یکی از قدیمی‌ترین و همچنین رایج‌ترین روش‌هایی است که در تصمیم‌گیری چند معیاره تعاملی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش در حل مدل‌های برنامه‌ریزی چند منظوره به کار گرفته می‌شود و به تصمیم‌گیرنده در حین عملیات، فرصت یادگیری و تشخیص راه‌حل‌های مناسب را می‌دهد (صبوحی، ۱۳۹۱).

روش مرحله‌ای در دو فاز محاسباتی و تصمیم پیش می‌رود. تعامل بین تصمیم‌گیرنده و مدل تنها در فاز تصمیم صورت می‌گیرد (رومر و همکاران، ۱۹۸۸ و صبوحی، ۱۳۹۱). اولین مرحله در فاز محاسباتی تعیین ماتریس بازده به منظور به دست آوردن ارزش ایده‌آل Z_j^* و ضد ایده‌آل Z_{*j} برای هر هدف در مدل می‌باشد. سپس، از حل برنامه‌ریزی خطی زیر در فضای حداقل کردن حداکثر[15]، (مطابق به معیار L_∞) اولین تخمین که نزدیک‌ترین فاصله به نقطه ایده‌آل را دارد، به دست می‌آید (رومر و همکاران، ۱۹۸۸ و صبوحی، ۱۳۹۱، ۱۹۷):

$$\begin{aligned} &\text{Min } d \\ &\text{Subject to} \\ &W_j\left[Z_j^* - Z_j(x)\right] \le d \quad j=1,2,\ldots,q \\ &x \in F \end{aligned} \qquad [۱]$$

$Z_j(x)$ تابع هدف jام می‌باشد و نرمال کردن وزن‌های w_j در روش مرحله‌ای به صورت زیر است (رومر و همکاران، ۱۹۸۸ صبوحی، ۱۳۹۱، ۱۹۷):

$$W_j = \frac{V_J}{\sum_{J=1}^{q} V_J} \qquad [۲]$$

و V_j از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$v_j = \left[\frac{Z_j^* - Z_{*j}}{Z_j^*}\right] \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{\sum_{k=1}^{m} c_{kj}^2}}\right] \qquad [۳]$$

اگر تابع هدف j ام حداکثر کردن و

$$v_j = \left[\frac{Z_j^* - Z_{*j}}{Z_j^*}\right] \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{\sum_{k=1}^{m} c_{kj}^2}}\right] \qquad [۴]$$

اگر تابع هدف j ام حداقل کردن باشد.

[15] Minimax

Archive of SID
www.SID.ir

در روابط فوق c_{kj} نشان‌دهنده ضرایب تابع هدف j ام است. این نوع فرایند نرمال کردن دارای ویژگی‌هایی است. اول اینکه وزن‌های W_j نرمال شده هستند و ترجیحات واقعی تصمیم‌گیرنده را نشان نمی‌دهند. در ثانی، رابطه(۲) تضمین می‌کند که مجموع W_jها برابر با یک است و این یک ضرورت عملی برای مقایسه استراتژی‌های مختلف است. سوم آنکه، قسمت اول روابط (۳ و ۴) به طور نسبی وزن‌های بزرگ‌تری برای آن اهدافی که انحراف بیشتری از مقدار ایده‌آل خود دارند (تفاوت میان مقدار ایده‌آل و ضد ایده‌آل آن بزرگ‌تر است) در نظر می‌گیرد و بالاخره قسمت دوم روابط(۳ و ۴) نرمال کردن اهداف مطابق با فضای اقلیدسی است (رومر و رهمان، ۲۰۰۳ و صبوحی، ۱۳۹۱، ۱۹۷)

فاز تصمیم، با نشان دادن مجموعه کارا به تصمیم‌گیرنده شروع می‌شود. اگر تصمیم‌گیرنده این راه‌حل را بپذیرد، فرایند به پایان می‌رسد. اگر راه‌حل پذیرفته نشود تصمیم‌گیرنده باید بیان کند کدام نسبت یا نسبت‌های راه‌حل ارائه شده در فاز محاسباتی به طور نسبی پست‌تر است و باید قبل از دیگری اصلاح شوند. در این صورت، تصمیم‌گیرنده بایستی حداکثر مقدار ممکن کاهش را برای آن اهدافی که رضایت بخش است، بیان کند. این اطلاعات محدودیت‌های اضافی زیر را قبل از اینکه منطقه موجه جدیدی ایجاد شود به مدل تحمیل می‌کند (رومر و همکاران، ۱۹۸۸ و صبوحی، ۱۳۹۱، ۱۹۸):

$$z_k \geq z_k^1 - \Delta z_k \qquad [۵]$$
$$z_j(x) \geq z_j^1 \quad j=1, 2, \ldots, k-1, k+1, \ldots, q$$

z_k نشان دهنده اهدافی است که مقادیر آن‌ها رضایت‌بخش است. Δz_k حداکثر مقدار اصلاح شده هدف توسط تصمیم‌گیرنده و بردار و$[z_1^1, \ldots, z_q^1]$ راه‌حل در فضای اهداف می‌باشد برای تکرار بعد $v_k = 0$ و $W_k = 0$ است و وزن‌های نرمال دیگری باید محاسبه شود. با توجه به W_j و منطقه موجه جدید و محدودیت‌های اضافه شده، راه‌حل دیگری از حل مدل به دست می‌آید که توسط تصمیم‌گیرنده از مقدار اهداف مورد نظر رضایت دارد، ادامه می‌یابد (الوانچی و صبوحی، ۱۳۸۸ و صبوحی، ۱۳۹۱، ۱۹۹).

یکی از سودمندترین مزایای روش مرحله‌ای، سادگی محاسبات آن است. تنها لازم است که حداکثر تعداد q (تعداد اهداف) برنامه‌ریزی خطی حل شود. این روش احتیاج به ایجاد مجموعه کارا از قبل ندارد. در هر فاز محاسباتی تنها یک جواب کارا به دست می‌آید. به علاوه، عدم فرض‌های محدود کننده درباره ترجیحات مطلق مصرف‌کننده و شکل تابع مطلوبیت وی یک سودمندی کاربردی است. این روش تنها نیاز دارد که تصمیم‌گیرنده ترجیحات موضعی خود را به طور جزئی در هر فاز تصمیم برای به دست آوردن نقطه‌ای تقریبی از حداکثر مطلوبیت خود بیان کند (رومر و همکاران، ۱۹۸۸ و صبوحی، ۱۳۹۱، ۱۹۹).

یکی از ابزارهایی که به طور گسترده در حیطه کار برنامه‌ریزی چند منظوره مورد استفاده قرار می‌گیرد، ماتریس بازده[16] است. ماتریس بازده جهت بیان درجه تضاد بین اهداف مورد نظر بسیار مهم می‌باشد.

برای تشکیل ماتریس بازده:

الف) هرکدام از K هدف به صورت منفرد بهینه می‌شود. راه‌حل به دست آمده توسط هدف jام به صورت $x_j = (x_j^1, x_j^2, \ldots, x_j^n)$ نشان داده می‌شود.

ب) مقادیر هر هدف جداگانه بهینه می‌شود: $z_1(x_j), z_2(x_j), \ldots, z_k(x_j)$ $(j = 1,2, \ldots, k)$، بدین ترتیب k مقدار برای هر کدام از k هدف به دست می‌آید.

ج) K مقدار هر k هدف در یک ماتریس که ردیف آن $x_1, x_2, \ldots, x_k$ و ستون آن اهداف هستند، قرار داده می‌شود.

د) بزرگ‌ترین ارزش هر ستون ماتریس مبادله، m_j و کمترین ارزش هر ستون آن، n_j می‌باشد (صبوحی، ۱۳۹۱، ۱۶۹)

منطقه مورد مطالعه

استان یزد را می‌توان خشک‌ترین استان کشور از نظر منابع آبی دانست. مشکل اصلی استان کویری یزد کمبود آب است. متوسط بارندگی سالیانه شهر یزد طی سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۴۱، ۵۰ میلی‌متر است درحالی که این رقم در

[16]. Pay off Matrix

Archive of SID
www.SID.ir

کشور ۲۵۰ میلی‌متر است. در طول سال ۱۳ میلیارد متر مکعب آب از طریق نزولات جوی در استان وجود دارد، اما به دلیل کویری بودن، میزان تبخیر سالیانه به طور متوسط ۲۵۰۰ تا ۳۵۰۰ میلی‌متر می‌باشد. متوسط سالیانه رطوبت نسبی و درجه حرارت این شهر به ترتیب ۳۳ درصد و ۱۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (اداره کل هواشناسی استان یزد). سهم مصارف عمده از آب موجود در شهر یزد در سه بخش کشاورزی، صنعت و شرب به ترتیب ۸۹ درصد، ۴ درصد و ۷ درصد می‌باشد. در استان یزد با توجه به محدودیت شدید منابع آب و محوریت آب در برنامه‌های توسعه استان، تخصیص بهینه منابع آب برای بخش‌های مختلف مصرف مورد عنایت ویژه بوده است؛ تا با توجه به آن راهکارهای مناسب جهت بهینه‌یابی مصرف آب انتخاب گردند. جهت رسیدن به اهداف تحقیق، آمار و اطلاعات مورد نیاز از طریق مراجعه به شرکت سهامی آب منطقه‌ای، سازمان آب و فاضلاب، جهاد کشاورزی و سازمان صنعت، معدن و تجارت استان یزد برای سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۸۱ جمع‌آوری گردید.

در این مطالعه از روش برنامه‌ریزی چند هدفه با در نظر گرفتن دو هدف بیشینه کردن سود خالص (f_1) و بیشینه کردن آبیاری فضای سبز (f_2) استفاده شد. در رابطه زیر اهداف مورد نظر نشان داده شده است.

$$\text{Max } f_1 = b^i x^i + b^a x^a + b^d x^d \quad [۶]$$

$$\text{Max } f_2 = \frac{1}{m} x^e \quad [۷]$$

در این روابط:
b^d, b^a, b^i به ترتیب ضرائب سود خالص صنعت، کشاورزی و شرب است، x^i مقدار عرضه آب برای بخش صنعت، x^a مقدار عرضه آب برای بخش کشاورزی، x^d مقدار عرضه آب برای بخش شرب، x^e مقدار عرضه آب برای فضای سبز است، m ضریب مصرف آب آبیاری فضای سبز در هر هکتار است.

محدودیت های مدل به شرح زیر است:

1. $x^i + x^a + x^d + x^e \le Q_T$ [۸]
2. $x^i \ge Q_{En}$ [۹]
3. $x^a \ge Q_{Ag}$ [۱۰]
4. $x^d \ge Q_{Do}$ [۱۱]
5. $x^e \ge Q_{Gr}$ [۱۲]
6. $x_i \ge 0$ [۱۳]

در این رابطه:
Q_T ظرفیت آب قابل دسترس که از آب‌های زیرزمینی و آب منتقل شده می‌آید، Q_{En}، Q_{Ag}، Q_{Do} و Q_{Gr} به ترتیب متوسط مقدار مصرف آب برای بخش صنعت، کشاورزی، شرب و فضای سبز است.

$$\text{Max } f_1 = 11.39\, x^i + 0.035\, x^a + 107.035\, x^d \quad [۱۴]$$

$$\text{Max } f_2 = 0.000084\, x^e \quad [۱۵]$$

Subject to

1. $x^i + x^a + x^d + x^e \le 57140.125$ [۱۶]
2. $x^i \ge 2683.985$ [۱۷]
3. $x^a \ge 44828$ [۱۸]
4. $x^d \ge 6733.095$ [۱۹]
5. $x^e \ge 174.09$ [۲۰]
6. $x_i \ge 0$ [۲۱]

نتایج و بحث

ماتریس بازده برای نشان دادن مقدار اهداف در برنامه‌ریزی چند منظوره مورد استفاده قرار می‌گیرد. عناصر هر ردیف این ماتریس به وسیله بهینه‌سازی هر هدف و محاسبه مقدار اهداف دیگر تعیین می‌شود. ماتریس بازده جهت بیان درجه تضاد بین اهداف مورد نظر بسیار مهم می‌باشد (صبوحی و الوانچی، ۱۳۸۷، ۸). جدول ۱ ماتریس بازده برای دو هدف مورد نظر را نشان می‌دهد. عناصر موجود در اولین ردیف ماتریس به معنی جواب حداکثر سود اقتصادی (مربوط به بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت)، ۱۰۴۴۰۵۳۸۱۰۰ ریال بوده و حداکثر سود زیست محیطی (مربوط به آبیاری فضای سبز) ۱۵۰ ریال می‌باشد. در هر ردیف یک هدف بهینه و مقادیر هدف دیگر به صورت پارامتریک محاسبه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول(۱): ماتریس بازده اهداف مورد بررسی

	سود اقتصادی (10^4 ریال)	سود زیست محیطی (10^4 متر مکعب)
سود اقتصادی (سود بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت)	۱۰۴۴۰۵۳/۸۱	۰/۰۱۵
سود زیست محیطی (سود آبیاری فضای سبز)	۷۵۲۸۱۶/۳۹	۰/۲۴

مأخذ: یافته‌های تحقیق

درجه تقابل بین اهداف از طریق ماتریس بازده تعیین شده و همان طور که در جدول فوق مشاهده می‌شود بین دو هدف سود اقتصادی بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت و سود زیست محیطی (مربوط به آبیاری فضای سبز) تضادی وجود دارد. در برنامه‌ریزی چند منظوره عناصر قطر اصلی ماتریس بازده به عنوان نقاط ایده‌آل هستند، به این معنا که برای همه اهداف به دست آمده، بهینه هستند. در اینجا نقاط ایده‌آل شامل ۱۰۴۴۰۵۳۸۱۰۰ ریال سود اقتصادی و ۲۴۰۰ ریال سود زیست محیطی می‌باشد.

با استفاده از اطلاعات ماتریس بازده امکان به دست آوردن وزن‌های W_j نرمال شده به صورت زیر است:

$$V_1 = \left[\frac{1044053.81-752816.39}{1044053.81}\right]\left[\frac{1}{\sqrt{11.39^2+0.035^2+107.04^2}}\right] = 0.0026 \quad [۲۲]$$

$$V_2 = \left[\frac{0.24-0.015}{0.24}\right]\left[\frac{1}{\sqrt{0.000084^2}}\right] = 11190.4761 \quad [۲۳]$$

با استفاده از مقادیر V، وزن‌های نرمال شده را می‌توان به دست آورد.

$$W_1 = \frac{V_1}{\sum V_j} = \frac{0.0026}{11190.4787} = 2.32 \times 10^{-7} \cong 0 \quad [۲۴]$$

$$W_1 = \frac{11190.4761}{11190.4787} = 0.9999997 \cong 1 \quad [۲۵]$$

با استفاده از وزن‌های به دست آمده مدل برنامه‌ریزی مطابق رابطه زیر نوشته می‌شود:

$$\text{Min } d \quad [۲۶]$$

s.t.

$$0 \times \left[1044053.81 - 11.39\,x^i - 0.035\,x^a - 107.035\,x^d\right] \le d$$
$$1 \times \left[0.24 - 0.000084\,x^e\right] \le d$$
$$x^i + x^a + x^d + x^e \le 57140.125$$
$$x^i \ge 2683.985$$
$$x^a \ge 44828$$
$$x^d \ge 6733.095$$
$$x^e \ge 174.09$$
$$x_i \ge 0$$

با استفاده از اکسل مدل شده و جواب‌ها به قرار زیر است (بر حسب 10^4 متر مکعب):

$$x_1^i = 2683.985 \quad , \quad x_1^a = 44828 \quad ,$$
$$x_1^d = 6733.095 \quad , \quad x_1^e = 2857.1429$$

و مقادیر تابع هدف نیز به این شرح است (بر حسب 10^4 ریال):

$$f_{11} = 752816.39 \quad f_{21} = 0.24$$

هنگامی که مرحله محاسباتی *STEM* تمام شد، مرحله تصمیم شروع می‌شود. جواب این مرحله در بردار ایده‌آل، f^* به تصمیم‌گیرنده برای مقایسه نشان داده می‌شود. بعد از ارزیابی f^* و مقایسه آن با بردار ایده‌آل اهداف در مرحله قبل تصمیم‌گیرنده می‌بایستی بررسی نماید که سطح هدف ۱ رضایت بخش می‌باشد. اگر رضایت بخش نباشد می‌بایستی تکرار صورت گیرد. برای انجام این کار تصمیم‌گیرنده لازم است مشخص نماید که هدف سود اقتصادی یا سود زیست محیطی به سطح رضایت بخشی رسیده و حداکثر انحراف برای هر کدام از این اهداف را مشخص نماید. لازم به ذکر است که تعداد بیشمار جواب برای تصمیم‌گیرنده می‌باشد که در جدول زیر به چند نمونه آن اشاره شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول(۲). جواب‌های تصمیم‌گیرنده با توجه به وزن‌های اختصاص داده شده

	x^i (10^4 متر مکعب)	x^a (10^4 متر مکعب)	x^d (10^4 متر مکعب)	x^e (10^4 متر مکعب)	f_1 (10^4 ریال)	f_2 (10^4 ریال)
$if\ W_1 = 0 , W_2 = 1$	۲۶۸۳/۹۸۵	۴۴۸۲۸	۶۷۳۳/۰۹۵	۲۸۵۷/۱۴۲۹	۷۵۲۸۱۶/۳۹	۰/۲۴
$if\ W_1 = 0.1 , W_2 = 0.9$	۲۶۸۳/۹۸۵	۴۴۸۲۸	۹۴۵۴/۰۳	۱۷۴/۱۱	۱۰۴۴۰۵۱/۶۷	۰/۰۱۴۶
$if\ W_1 = 0.2 , W_2 = 0.8$	۲۶۸۳/۹۸۵	۴۴۸۲۸	۹۴۵۴/۰۴	۱۷۴/۱۰	۱۰۴۴۰۵۲/۷۴	۰/۰۱۴۶
$if\ W_1 = 0.5 , W_2 = 0.5$	۲۶۸۳/۹۸۵	۴۴۸۲۸	۹۴۵۴/۰۵	۱۷۴/۰۹	۱۰۴۴۰۵۳/۸۱	۰/۰۱۵
$if\ W_1 = 1 , W_2 = 0$	۲۶۸۳/۹۸۵	۴۴۸۲۸	۹۴۵۴/۰۵	۱۷۴/۰۹	۱۰۴۴۰۵۳/۸۱	۰/۰۱۵

مأخذ: یافته‌های تحقیق

با توجه به جدول(۲) مشاهده می‌گردد که با تغییر وزن‌ها جواب‌های متفاوتی به دست می‌آید. مجموع وزن‌ها در هر مرحله برابر یک است. تصمیم‌گیرنده باید جوابی را که بیشتر با منطقه سازگار است انتخاب نماید. جدول(۳) تخصیص پیشنهادی توسط برنامه‌ریزی تعاملی (روش مرحله‌ای)، تخصیص فعلی عرضه آب و متوسط تخصیص عرضه آب را طی سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۸۱ نشان می‌دهد.

جدول(۳). مقایسه یکی از مجموعه جواب‌های روش تعاملی با تخصیص عرضه آب موجود (متر مکعب) و سود خالص سیستم و آبیاری فضای سبز (ریال)

	مقدار عرضه آب بخش صنعت	مقدار عرضه آب بخش کشاورزی	مقدار عرضه آب بخش شرب	مقدار عرضه آب فضای سبز	سود اقتصادی (ریال)	سود زیست محیطی (ریال)
جواب تعاملی	۲۶۸۳۹۸۵۰	۴۴۸۲۸۰۰۰۰	۶۷۳۳۰۹۵۰	۲۸۵۷۱۴۲۹	۷۵۲۸۱۶۳۹۲۵	۲۴۰۰
تخصیص فعلی	۱۲۴۷۰۰۰۰	۳۰۵۹۳۰۰۰۰	۲۳۴۴۰۰۰۰	۲۶۱۸۹۹۴	۲۶۶۱۶۴۱۲۵۰	۲۲۰
متوسط تخصیص	۱۸۱۳۶۶۶۷	۴۱۱۵۶۶۲۲۲	۳۴۶۵۰۰۰۰	۲۳۹۳۴۲۶	۳۹۲۹۷۴۴۲۰۵	۲۰۱

مأخذ: یافته‌های تحقیق

با توجه به جدول(۳) سود اقتصادی سیستم (سود بخش شرب، کشاورزی و صنعت) و سود زیست محیطی (سود آبیاری فضای سبز) در تخصیص پیشنهادی توسط برنامه‌ریزی تعاملی به ترتیب ۷۵۲۸۱۶۳۹۲۵ ریال و ۲۴۰۰ ریال است. این ارقام در مورد تخصیص فعلی عرضه آب ۲۶۶۱۶۴۱۲۵۰ و ۲۲۰ ریال و در مورد متوسط تخصیص عرضه آب طی سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۸۱ به ترتیب ۳۹۲۹۷۴۴۲۰۵ و ۲۰۱ ریال می‌باشد. در جواب تعاملی سود اقتصادی سیستم نسبت به تخصیص فعلی و متوسط تخصیص عرضه آب طی سال‌های مذکور به ترتیب ۶۵ درصد و ۴۸ درصد افزایش داشته است. همچنین در جواب تعاملی سود زیست محیطی نسبت به تخصیص فعلی و متوسط تخصیص عرضه آب به ترتیب ۹۱ درصد و ۹۲ درصد افزایش داشته است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد در جواب تعاملی (روش مرحله‌ای) افزایش سود اقتصادی سیستم و سود زیست محیطی به طور همزمان وجود داشته است.

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به مطالعات انجام شده و مشاهدات محقق تخصیص بهینه منابع آب به روش‌های مختلفی از جمله برنامه‌ریزی فازی با و بدون پارامتر بازه‌ای، مدل تصمیم‌گیری چند معیاره تعاملی، برنامه‌ریزی خاکستری، مدل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی چند هدفه با و بدون پارامتر بازه‌ای و مدل برنامه‌ریزی پویا انجام شده است که از میان روش مرحله‌ای مدل تصمیم‌گیری چند معیاره تعاملی یکی از روش‌هایی است که دارای مزایایی زیادی بوده، که در پیش توضیح داده شده است، به همین علت در این مقاله از این روش برای تخصیص بهینه منابع آب شهر یزد استفاده شده است. چنین کاری تاکنون در ایران انجام نشده است و ضرورت انجام آن محسوس می‌باشد.

هدف‌های اقتصادی ظاهراً در تقابل با هدف‌های حفاظت محیط زیست و منابع طبیعی است و یا هدف دستیابی به سطح خاصی از تولید یک محصول زراعی ممکن است در تضاد با توسعه و افزایش تولید محصول زراعی دیگر باشد. تمامی این پدیده‌ها ناشی از محدودیت منابع تولید و نامحدود بودن نسبی نیازهاست. در چنین وضعیتی روش‌های سنتی برنامه‌ریزی نمی‌تواند جوابگوی خواسته‌های تصمیم‌گیرندگان و سیاست‌گذاران باشد. با پیشرفت‌های علمی و تلاش محققان در دهه‌های اخیر، روش‌های نوینی در برنامه‌ریزی به وجود آمده که با به‌کارگیری آن‌ها در شرایط تضاد داشتن هدف‌های مدیران و محدود بودن منابع تولید می‌توان بهترین جواب‌ها را برای دستیابی به این هدف‌ها پیدا کرد. در این زمینه کاربرد مدل‌های چندهدفه بسیار مفید است (اسدپور و همکاران، ۱۳۸۴).

در این تحقیق با توجه به اهداف چندگانه از رهیافت برنامه‌ریزی چند هدفی استفاده شد. این رهیافت امکان بهینه‌سازی چند هدف را به طور همزمان مشروط بر محدودیت منابع فراهم می‌کند. البته اغلب به جای جوابی بهینه، مجموعه‌ای از جواب‌ها به دست می‌آید که این شرایط نیز امکان مبادله میان جواب‌ها را ممکن می‌سازد.

با استفاده از یک برنامه‌ریزی تعاملی (روش مرحله‌ای) می‌توان مقدار هر دو هدف سود اقتصادی سیستم (سود بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت) و سود زیست محیطی (مربوط به منافع آبیاری فضای سبز) را نسبت به تخصیص فعلی منابع آب ارتقا داد. با توجه به نتایج به دست آمده، پیشنهاد می‌گردد به دلیل واقعی‌تر بودن نتایج مدل تصمیم‌گیری چند معیاره در آینده برای تخصیص منابع آب به این روش بیشتر توجه گردد. همان گونه که مشاهده شد با استفاده از برنامه‌ریزی تعاملی مقدار عرضه آب برای بخش کشاورزی، صنعت، شرب و فضای سبز به ترتیب ۲۶۸۳۹۸۵۰، ۴۴۸۲۸۰۰۰۰، ۶۷۳۳۰۹۵۰ و ۲۸۵۷۱۴۲۹ متر مکعب و سود اقتصادی سیستم و سود زیست محیطی به ترتیب ۷۵۲۸۱۶۳۹۲۵ ریال و ۲۴۰۰ ریال برآورد گردیده است. در جواب تعاملی سود اقتصادی و سود زیست محیطی نسبت به تخصیص فعلی عرضه آب در سال ۱۳۸۹ به ترتیب ۶۵ و ۹۱ درصد افزایش داشته است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد در جواب تعاملی (روش مرحله‌ای) افزایش سود اقتصادی و سود زیست محیطی را به طور همزمان وجود داشته است. با توجه به مقادیر سود به دست آمده از حل روش مرحله‌ای، اولویت با حداکثر کردن سود اقتصادی و سپس سود زیست محیطی است.

به علت کمبود منابع آب در شهر کویری یزد و همچنین هزینه بالای انتقال آب از زاینده رود به یزد، باید نهایت دقت و مراقبت از منابع آب موجود به عمل آید و در مصرف آن بسیار صرفه‌جویی گردد و اولویت‌های مصرف تعیین گردد تا از حداقل آب، حداکثر استفاده به عمل آید و این جز با برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح در منابع آب میسر نیست. بنابراین لازم است که در سیاست‌های مربوط به تخصیص بهینه منابع آب به بهبود در مقدار این اهداف بیشتر توجه شود.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

۱. اسدپور، ح.، ص. خلیلیان و غ. پیکانی. ۱۳۸۴. نظریه و کاربرد مدل برنامه‌ریزی خطی آرمانی فازی در بهینه‌سازی الگوی کشت. اقتصاد کشاورزی و توسعه. ویژه‌نامه بهره‌وری و کارایی. ۳۲۸-۳۰۷.

۲. اصغرپور، م.ج. ۱۳۸۱. تصمیم‌گیری چندمعیاره. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه تهران.

۳. الوانچی، م. ۱۳۸۶. کاربرد مدل تصمیم‌گیری چند معیاره تعاملی برای برنامه‌ریزی زراعی. دانشگاه زابل. دانشکده کشاورزی. پایان نامه کارشناسی ارشد.

۴. الوانچی، م. و م. صبوحی. ۱۳۸۸. کاربرد تصمیم‌گیری چند معیاره تعاملی در برنامه‌ریزی زراعی مطالعه موردی: استان فارس. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. (۴۷)۱۳. ۸۰۱-۷۸۷.

۵. شیرزادی لسکوکلایه، س. و م. صبوحی صابونی. ۱۳۸۷. کاربرد برنامه‌ریزی چندهدفه در مدیریت منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه‌ی ساوجبلاغ. *اقتصاد کشاورزی*. (۲)۳. ۸۹-۸۳.

۶. صبوحی، م. ۱۳۹۱. کاربرد برنامه‌ریزی در اقتصاد کشاورزی با تأکید بر استفاده از نرم‌افزار اکسل. انتشارات نور علم تهران. دانشگاه زابل.

۷. صبوحی، م. و م. الوانچی. ۱۳۸۷. کاربرد برنامه‌ریزی چند منظوره و توافقی در برنامه‌ریزی زراعی: مطالعه موردی خراسان رضوی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. (۳)۱۵. ۱۵-۱.

۸. عبدالهی عزت‌آبادی، م. و ا. جوانشاه. ۱۳۸۶. بررسی اقتصادی امکان استفاده از روش‌های نوین عرضه و تقاضای آب در بخش کشاورزی: مطالعه موردی مناطق پسته کاری شهرستان رفسنجان. *پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی*. (۷۵)۲۰، ۱۲۶-۱۱۳.

۹. میان آبادی، ح. و ع. افشار. ۱۳۸۷. تصمیم‌گیری چندشاخصه در رتبه‌بندی طرح‌های تأمین آب شهری. *آب و فاضلاب*. ۶۶. ۴۵-۳۴.

10. Abrishamchi, A., A. Ebrahimian, M. Tajrishi and M.A. Marino. 2005. Case study: application of multi criteria decision making to urban water supply. Journal of Water Resources Plant Management. 131(4): 326-335.

11. Benayoun, R., J. Montgolfier, J. Tergny and O. Laritchev. 1971. Linear programming with multiple objective function: step method (STEM). Math Program. 1(1): 366–375.

12. Han Y., S.G. Xu and X.Z. Xu. 2008. Modelling multisource multiuser water resources allocation. Water Resour Manag. 22(7): 911-923.

13. Han, Y., Y.F. Huang, G.Q. Wang and I. Maqsood. 2011. A multi-objective linear programming model with interval parameters for water resources allocation in Dalian city. Water Resour Manage. 25:449–463.

14. Higgins, A.J., A. Archer and S. Hajkowicz. 2008. A stochastic non-linear programming model for a multi period water resource allocation with multiple objectives. Water Resour Manag. 22(10):1445–1460.

15. Li, Y.P., G.H. Huang and S.L. Nie. 2006. An interval-parameter multi-stage stochastic programming model for water resources management under uncertainty. Advances in Water Resources. 29:776–789.

16. Romero, C. and T. Rehman. 2003. Multiple criteria analysis for agricultural decisions, second edition, amsterdam: Elesvier Science B. V.

17. Romero, C., F. Amador and J. Domingo. 1988. Compromise risk programming for agricultural resource allocation problem: an illustration. Journal of Agricultural Economic. 39: 271-276.

18. Xevi, E. and S. Khan. 2005. A multi-objective optimization approach to water management. Journal of Environmental Management.77: 269–277.

19. www.yazdmet.ir اداره کل هواشناسی استان یزد

Archive of SID

www.SID.ir

Compromise multi criteria decision making application in water resources optimal allocation case study Yazd city

Abstract
The purpose of this study is using compromise multi criteria decision making for water resources optimal allocation in different districts in Yazd city. Step method (STEM) is used and payoff matrix is calculated to determine weights of two objectives maximum benefits of economy and the environment and then using excel software, programming model is solved. Data were collected from the regional water corporation, the organization of water and sewage, agriculture Jahad, the organization of industry, mine and trade of Yazd from 2001 to 2010. The results indicated that there is a possibility to improve mentioned objectives simultaneously by changing in the weights of programming model and priority is with maximum benefits of economy and then environment. Therefore, it is imperative to consider some policies in order to optimum allocation of water resources.

Keywords: water resources optimal allocation, compromise multi criteria decision making, step method (STEM), Yazd city.

Archive of SID

www.SID.ir