



Hybrid Model for Strategic Management of Agricultural Water Demand in Arid Regions

M.E. Banihabib^{1*}, M.H. Shabestari²
and M. Hosseinzadeh³

Abstract

Water management in arid regions such as Iran's central desert is possible solely by applying strategic management of water demand of agricultural sector as the largest water user. In this study, the hybrid group decision-making model (MTAHP) of Analytical Hierarchy Process (AHP) and Modified Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (MTOPSIS) methods (MTAHP) were used to rank agricultural water demand management strategies in arid regions. Then, a more detailed study was performed for the best strategy. For this purpose, a non-linear programming model was used to optimize irrigation cropping pattern by applying deficit irrigation. The results indicated that the strategy of "changing the cropping pattern" is the best strategy for water demand management in arid regions and using optimization model of land-water allocation will increase the area of the economically high-efficient crops. Four scenarios of different amount of available water were considered in optimization and then the optimum amount of cultivated area and allocated water for each product were determined. The results showed that the cropping area reduction was based on the net profit per unit of water consumption. Also the results showed that by reducing the available water to 40%, the net profit can increase by 19% compared to the current status. In this study, the use of a multi-criteria decision-making model along with an optimization model was proposed to recognize and evaluate the best alternative. The proposed model can be used to enhance agricultural water demand management in arid zones.

Keywords: Multi-criteria Decision Making, Strategic planning, Optimization of cropping pattern.

Received: November 2, 2016

Accepted: January 14, 2017

مدل هیبریدی برای مدیریت استراتژیک تقاضای آب کشاورزی مناطق خشک

محمدابراهیم بنی حبیب^{۱*}، محمدهادی شبستری^۲
و مرضیه حسین زاده^۳

چکیده

مدیریت آب در مناطق خشک نظیر کویر مرکزی ایران تنها با مدیریت استراتژیک تقاضای آب در پر مصرف‌ترین بخش مصرف‌کنندگان یعنی (بخش) کشاورزی ممکن خواهد شد. در این مطالعه، از مدل تصمیم‌گیری هیبریدی فرایند تحلیل سلسله مراتبی و شباهت به گزینه ایده‌آل اصلاح شده (MTAHP) برای رتبه‌بندی راهبردهای مدیریت تقاضای آب کشاورزی مناطق خشک استفاده شد. در ادامه به بررسی دقیق‌تر این راهبرد پرداخته شد. برای این منظور یک مدل برنامه ریزی غیر خطی برای بهینه سازی الگوی کشت در شرایط کم آبیاری استفاده گردید. نتایج مدل تصمیم‌گیری نشان داد که مهم‌ترین راهبرد برای مدیریت تقاضای آب کشاورزی مناطق خشک کشور راهبرد تغییر الگوی کشت بوده و استفاده از مدل بهینه‌سازی تخصیص آب-زمین و شیوه کم‌آبیاری، موجب افزایش سطح زیرکشت محصولاتی با راندمان اقتصادی بالاتر خواهد شد. همچنین با در نظر گرفتن ۴ سناریو مختلف در میزان آب قابل دسترس، مقادیر بهینه سطح زیرکشت و آب اختصاص یافته هر یک از محصولات تعیین شد. نتایج نشان داد که کاهش سطح زیرکشت در محصولات، براساس میزان سود خالص در واحد مصرف آب آن‌ها می‌باشد. همچنین نتایج مدل نشان داد که سودخالص اقتصادی با کاهش ۴۰ درصدی آب در دسترس، می‌تواند تا ۱۹ درصد در مقایسه با شرایط کنونی افزایش یابد. در این تحقیق استفاده از یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره در کنار یک مدل بهینه‌سازی برای شناخت و ارزیابی گزینه برتر پیشنهاد شد. این روش پیشنهادی می‌تواند برای بهبود مدیریت تقاضای آب کشاورزی در مناطق خشک استفاده گردد.

کلمات کلیدی: تصمیم‌گیری چند معیاره، برنامه‌ریزی استراتژیک، بهینه‌سازی الگوی کشت.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۸/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۰/۲۵

1-Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran, Email: banihabib@ut.ac.ir
2-Graduated (MSc), Water Resources Engineering, Department of Irrigation and Drainage Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran.
3-Graduated (MSc), Water Resources Engineering, Department of Irrigation and Drainage Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran.

*- Corresponding Author

۱- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان.

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان.

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان.

*- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

تا در یک افق برنامه‌ریزی راهبردی بتوانیم با مدیریت تقاضا در پر مصرف‌ترین بخش مصرف کننده، به تعادل منابع و مصارف برسیم. در این تحقیق ما بعد از تعیین راهبرد برتر برای این راهبرد، بهینه سازی انجام دادیم. به طوری که بعد از معرفی راهبرد برتر، با استفاده از یک مدل مجزا جزئیات آن مشخص شده است.

در این تحقیق از مدل تصمیم‌گیری چند معیاره هیبریدی (MTAHP⁸) برای رتبه بندی راهبردهای مدیریت تقاضای آب کشاورزی استفاده شده است که این مدل از نقاط قوت مدل‌های AHP و M-TOPSIS استفاده و از نقاط ضعف آنها اجتناب می‌کند. برای این منظور ابتدا از مدل SWOT برای تدوین راهبردهای مدیریت تقاضای آب کشاورزی مناطق خشک استفاده شده است و سپس با در نظر گرفتن معیارهای توسعه پایدار مدل تصمیم‌گیری اجرا شد. در نهایت با توجه به اینکه رتبه برتر راهبرد "تغییر الگوی کشت و تسطیح اراضی" به دست آمد، برای این استراتژی برنامه‌ریزی دقیق‌تری انجام شد.

تحقیقات زیادی برای بهینه‌سازی الگوی کشت انجام گرفته است که در بیشتر آنها هدف اقتصادی مدنظر بوده است (Al-Weshah, 2000; Toosi et al, 2003; Ghahraman and Sepaskhah, 2002; Mansori and Kohansal, 2008; Moghaddasi et al., 2009; García-Vila and Fereres, 2012).

در این پژوهش، تخصیص آب بین محصولات و تعیین الگوی کشت بهینه بر مبنای حداکثرسازی درآمدخالص حاصل از کشت محصولات کشاورزی (زراعی و باغی) در نظر گرفته شده است. برای این منظور از یک مدل برنامه‌ریزی غیر خطی برای بهینه‌سازی الگوی کشت در شرایط کم‌آبایی استفاده شده و با در نظر گرفتن ۴ سناریو مختلف در میزان آب در دسترس، مقادیر بهینه سطح زیرکشت و آب اختصاص یافته به هر یک از محصولات تعیین گردیدند.

۲- مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر، حوضه آبریز کویر مرکزی ایران، به عنوان یکی از وسیع‌ترین حوضه‌های خشک کشور بررسی شده است (شکل ۱). این حوضه بخشی از حوضه آبریز درجه یک فلات مرکزی با کد چهار است و با کد ۴۷ شناخته می‌شود. از نظر موقعیت جغرافیایی، این حوضه بین ۴۵° ۵۱' تا ۳۴° ۵۹' طول شرقی و ۳۵° ۳۲' تا ۲۶° ۳۷' عرض شمالی واقع شده است. این حوضه یکی از حوضه‌های با اقلیم خشک کشور است که میزان مصارف آب در آن در حدود

در مناطق خشک ایران تقریباً تمامی آب‌های قابل استفاده در حال بهره‌برداری هستند و افزایش میزان عرضه آب در این مناطق غیر ممکن و یا بسیار پرهزینه است، لذا تمرکز بر مدیریت تقاضای آب در مناطق خشک می‌تواند برای حل بحران آب راه حل مناسبی باشد. در کشور ایران بخش کشاورزی بیش از ۹۰ درصد کل منابع آب قابل استفاده را مصرف می‌کند، بنابراین مدیریت تقاضای آب در بخش کشاورزی مهمترین اهرم برای مدیریت منابع آب این مناطق است. مصرف زیاد آب کشاورزی ناشی از عوامل مختلف اقتصادی، اجتماعی و فنی در بلند مدت می‌باشد، بنابراین مدیریت تقاضای آب کشاورزی باید در یک برنامه درازمدت راهبردی (استراتژیک) انجام شود و این برنامه راهبردی باید با در نظر گرفتن معیارهای توسعه پایدار برنامه‌ریزی و اجرا شود.

یکی از مدل‌هایی که برای مدیریت راهبردی استفاده می‌شود مدل SWOT است (David, 2011). واژه SWOT سر واژه عبارات قوت^۱، ضعف^۲، فرصت^۳ و تهدید^۴ است. این مدل عوامل داخلی و خارجی را شناسایی می‌کند و چهار نوع راهبرد با رویکردهای تهاجمی، تغییر تدریجی، بهبود مستمر و تدافعی معرفی می‌کند. بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد در گذشته در مدیریت منابع آب، برای رتبه‌بندی عوامل راهبردی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM^۵) استفاده شده است. (Gallego-Ayala and Juizo (2011) از روش SWOT در تلفیق با مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP^۶) برای تحلیل و رتبه‌بندی عوامل اساسی در موفقیت راهبردهای مدیریت یکپارچه منابع آب موزامبیک استفاده کردند. (Ren et al. (2007) برای رفع نقص موجود در رتبه‌بندی در روش شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS)، روش شباهت به گزینه ایده‌آل اصلاح شده (M-TOPSIS^۷) را پیشنهاد می‌کنند.

مطالعات انجام شده در گذشته نشان می‌دهد مدل‌های AHP و TOPSIS هر دو مدل‌های قدرتمند و کاربردی برای رتبه بندی گزینه‌ها هستند. این مدل‌ها از جمله مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره هستند که در مباحث مربوط به کشاورزی و محیط زیست بکار رفته‌اند اما به ندرت برای رتبه بندی راهبردهای مدیریت تقاضای آب کشاورزی بکار رفته‌اند. همچنین در تحقیقاتی که در گذشته با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره انجام شده است تنها به معرفی راهبرد یا گزینه برتر اکتفا شده و لذا ضرورت دارد که برنامه‌ریزی راهبردی برای مدیریت تقاضای آب کشاورزی انجام شود

۷/۲۵۸ میلیارد مترمکعب در سال است. حدود ۸۵/۵ درصد مصارف آب از آب‌های زیرزمینی (چاه و قنات) و ۱۴/۵ درصد از آب‌های سطحی و چشمه‌ها تأمین می‌شود. با پیشرفت تکنولوژی و استفاده از دستگاه‌های مدرن حفاری، از سال ۱۳۳۰ برداشت آب زیرزمینی در کشور و البته در این حوضه رو به افزایش بوده است تا جایی که در اثر برداشت بی‌رویه، سطح آب زیرزمینی در اکثر دشت‌های این حوضه هر ساله افت می‌کند و خطری جدی برای آینده می‌باشد (Anonymous, 2010).

- اثرگذاری: اجرای راهبرد در تأمین کمبود آب حوضه یا حفاظت از منابع آب موجود در حوضه اثر گذار باشد؛
- امکان‌پذیری: اجرای راهبرد با توجه به محدودیت‌های فنی، مطالعاتی، مالی، حقوقی و ... امکان پذیر باشد؛
- انعطاف‌پذیری: راهبرد نسبت به تغییرات طبیعی، تحمیلی یا ناگهانی انعطاف‌پذیر باشد.

روشی تدوین راهبردها

در این تحقیق، برای به‌دست آوردن راهبردهای اصلی از تحلیل SWOT استفاده شده است (Duarte et al., 2006). برای در نظر گرفتن تمام نظرات جلسات طوفان فکری با حضور کارشناسان مختلف و جمع بندی نظرات ایشان برگزار گردید. در این روش ابتدا تمام نقاط قوت، ضعف، تهدیدها و فرصت‌ها شناسایی شد، سپس از تلاقی نقاط قوت و ضعف با نقاط فرصت و تهدید، استراتژی‌های ممکن و در نهایت راهبردهای اصلی تدوین شدند. جدول ۱ روش به دست آوردن راهبردها را با استفاده از ماتریس SWOT را نشان می‌دهد.

مراحل تصمیم‌گیری گروهی با استفاده از مدل هیبریدی تحلیل سلسله مراتبی و شباهت به گزینه ایده‌آل اصلاح شده

در این تحقیق از مدل هیبریدی فرایند تحلیل سلسله مراتبی و شباهت به گزینه ایده‌آل اصلاح شده (MTAHP) برای رتبه‌بندی راهبردها استفاده شده است.

معیارهای توسعه پایدار برای ارزیابی راهبردهای مدیریت تقاضای آب کشاورزی مناطق خشک

با توجه به اینکه در این تحقیق برنامه‌ریزی راهبردی برای مدیریت تقاضای آب کشاورزی بکار رفته است توجه به معیارهای توسعه پایدار امری اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین در این تحقیق از معیارهای توسعه پایدار برای ارزیابی و نمره‌دهی به راهبردها در مدل تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شده است. با مرور تحقیقات علمی انجام شده در زمینه مدیریت منابع آب در سطح دنیا، شش معیار توسعه پایدار معرفی شده است (Banihabib et al., 2015)، در تحقیق حاضر از این معیارها استفاده شده است. این معیارها به شرح زیر هستند:

- اقتصادی بودن: اجرای راهبرد اقتصادی باشد؛
- مقبولیت و مشارکت اجتماعی- فرهنگی ذی‌نفعان: اجرای راهبرد مقبولیت اجتماعی داشته باشد و ذی‌نفعان تمایل به همکاری داشته باشند؛
- حفاظت از منابع طبیعی و تعادل زیست‌محیطی: اجرای راهبرد در جهت حفاظت از منابع طبیعی و تعادل زیست‌محیطی باشد؛



شکل ۱- موقعیت حوضه کویر مرکزی

جدول ۱- روش به دست آمدن راهبرد با استفاده از ماتریس SWOT

عوامل درونی		ماتریس SWOT	
نقاط ضعف W	نقاط قوت S		
راهبردهای WO (راهبردهای بهبود مستمر یا محافظه کارانه)	راهبردهای SO (راهبردهای تهاجمی یا توسعه)	فرصت‌ها O	عوامل بیرونی
راهبردهای WT (راهبردهای تدافعی یا کاهش)	راهبردهای ST (راهبردهای تغییر تدریجی یا رقابتی)	تهدیدها T	

در رابطه ۲، λ_{max} برابر است با بزرگترین مقدار ویژه^{۱۲} ماتریس و n بعد ماتریس می‌باشد. (Saaty (1977) مقدار شاخص ناسازگاری تصادفی (RI) را برای ماتریس‌های مربعی محاسبه کرده است، جدول ۲ مقدار این شاخص را تا ماتریس با بعد ۸ نشان می‌دهد. (Saaty (1990) برای قبول سازگاری پیشنهاد کردند میزان نرخ سازگاری (CR) کمتر از ۰/۱ باشد.

جدول ۲- مقادیر شاخص سازگاری تصادفی RI (Saaty 1990)

N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
RI	۰	۰	۰/۵۲	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱

گام چهارم: مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره معمولاً به صورت گروهی به کار می‌روند. برای تجمیع قضاوت‌های فردی در فرایند تحلیل سلسله مراتبی می‌توان از میانگین هندسی استفاده کرد (Aczel and Saaty, 1983).

گام پنجم: در این مرحله وزن نسبی راهبردها و معیارها محاسبه می‌شود. یکی از روش‌های که برای محاسبه وزن نسبی پیشنهاد شده است و دقت قابل قبولی دارد، روش میانگین هندسی است (Saaty and Vargas, 1984). در این روش از روابط ۳ و ۴ استفاده می‌شود.

$$r_i = \left(\prod_{j=1}^m a_{ij} \right)^{1/m} \quad (3)$$

$$w_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^m r_i} \quad (4)$$

در این روابط، a_{ij} عناصر ماتریس، r_i میانگین هندسی عناصر هر سطح و w_i مقدار وزن نسبی است.

گام ششم: در این مرحله ماتریس تصمیم و ماتریس وزن معیارها به مدل M-TOPSIS وارد می‌شوند. در ابتدا ماتریس تصمیم بی

این مدل از ترکیب مدل AHP و TOPSIS اصلاح شده حاصل شده است. در این روش برای به دست آوردن وزن‌های نسبی، از مقایسات زوجی مدل AHP و برای بررسی نرخ سازگاری از روش مطرح در مدل AHP استفاده شد (Saaty, 1990) و در نهایت برای رتبه‌بندی راهبردها مدل M-TOPSIS به کار رفت (Ren et al., 2007). در ادامه مراحل اجرای مدل به طور خلاصه بیان می‌شود.

گام اول: در اولین مرحله ساختار سلسله مراتبی مدل تصمیم‌گیری تبیین می‌شود. این ساختار دارای یک هدف در بالاترین مرتبه سلسله مراتب است، در درجه بعدی معیارها و در انتهای سلسله مراتب گزینه‌ها (راهبردها) قرار دارند.

گام دوم: در این مرحله با آماده‌سازی و ارائه فرم‌های نظر سنجی به کارشناسان ماتریس‌های مقایسه زوجی بدست آیند. در این مرحله هر کدام از عناصر سلسله مراتب با عنصر موجود در رتبه بالاتر به صورت زوجی مقایسه می‌شود. بنابر پیشنهاد (Saaty (1990) این مقایسه زوجی می‌تواند در مقیاس بین ۱ تا ۹ انجام شود، که عدد ۱ بیان کننده اهمیت برابر و عدد ۹ نشان دهنده بیشترین اهمیت (برتری) است.

گام سوم: با توجه به اینکه نظرات یک کارشناس ممکن است دارای تناقض باشد، مدل AHP امکان بررسی نرخ سازگاری را فراهم می‌کند تا اطمینان به جواب حاصل از مدل افزایش یابد. نرخ سازگاری (CR^9) از طریق رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Saaty, 1990).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

که در آن، CI^{10} نسبت شاخص سازگاری و RI^{11} شاخص ناسازگاری تصادفی است. مقدار CI از رابطه (۲) بدست می‌آید.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

است که با استفاده از مراجع مختلف تعیین می‌شود (Arabzadeh and Tavakoli, 2006; Doorenbos and Kassam, 1979; Fardad and Golkar, 2002; Farshi et al., 1997; Ghahraman and Sepaskhah, 1997).

$w_{i,c}^p$ نیازآبی واقعی محصول c در مرحله i (میلی‌متر) و g تعداد مراحل رشد گیاه است. روابط ۱۲ و ۱۳ محدودیت‌های بهینه‌سازی این مدل را نشان می‌دهند.

$$0 \leq w_{i,c}^{al} \leq w_{i,c}^p \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^g w_{ai,c} \leq w_{al,c} \quad (13)$$

با اعمال کم‌آبیری (نسبت‌های مختلفی از عمق پتانسیل آب آبیاری)، مقادیر مختلف برای عملکرد نسبی و تخصیص آب درون فصلی محصولات بدست می‌آید، با استفاده از این مقادیر، مقدار سود خالص هر محصول برای مقادیر مختلف آب آبیاری تعیین شد و به این ترتیب رابطه بین سود خالص و آب آبیاری هر محصول بدست آمد. برای محاسبه سود خالص هر محصول در زیرمدل دوم، از رابطه ۱۴ استفاده شد.

$$NB_c = Y_{ac} \times B_c \quad (14)$$

که در آن، NB_c سود خالص هر محصول (میلیون ریال بر هکتار)، B_c سود بر حسب میلیون ریال بر تن می‌باشد. با داشتن رابطه بین آب آبیاری و سودخالص، تابع هدف در زیرمدل دوم (تخصیص تلفیقی آب و سطح زیرکشت) بصورت رابطه ۱۵ نوشته شد:

$$\begin{aligned} \text{Max: } NB_{ag} \\ = \sum_{c=1}^{ct} NB_c(w_c) A_c \end{aligned} \quad (15)$$

در این رابطه، $NB_c(w_c)$ تابع سود هر محصول و A_c سطح زیرکشت (هکتار) است. روابط ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۱۹ محدودیت‌های زیرمدل دوم را نشان می‌دهند:

$$\sum_{c=1}^{ct} (W_c \times A_c) / E \leq Q_{ag} \quad (16)$$

$$0 \leq W_c \leq W_{al,c} \quad (17)$$

$$\sum_{c=1}^{ct} A_c \leq A_T \quad (18)$$

$$A_{cmin} \leq A_c \leq A_{cmax} \quad (19)$$

در این روابط، E راندمان بخش کشاورزی، Q_{ag} آب در دسترس بخش کشاورزی، A_T کل سطح زیرکشت می‌باشد. با توجه به اینکه مطلوب است تمامی محصولات غالب در منطقه تولید شوند، در این بهینه‌سازی حداقل سطح زیرکشت برای محصولات باقی برابر با سطح زیرکشت فعلی و حداکثر با ۵۰ درصد افزایش درمقایسه با

مقیاس وزن‌دار (V) از ضرب ماتریس تصمیم (X) در بردار وزن معیارها (W) به دست می‌آید (رابطه ۵).

$$V_{ij} = w_j x_{ij} \quad (5)$$

$$j = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m$$

گام هفتم: از رابطه ۶ و ۷ برای بدست آوردن حل ایده‌آل A^+ و حل ضد ایده‌آل با A^- استفاده می‌شود.

$$\begin{aligned} A^+ &= \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} \\ &= \{(\max_i v_{ij} | i = 1, 2, \dots, m), j = 1, 2, \dots, n\} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} A^- &= \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \\ &= \{(\min_i v_{ij} | i = 1, 2, \dots, m), j = 1, 2, \dots, n\} \end{aligned} \quad (7)$$

گام هشتم: در این گام، فاصله هر راهبرد از حل ایده‌آل (d_i^+) و فاصله تا حل ضد ایده‌آل (d_i^-) توسط روابط ۸ و ۹ محاسبه می‌شود.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (8)$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (9)$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

گام نهم: در نهایت رتبه‌بندی راهبردها بر اساس شاخص شباهت اصلاح شده R_i و به صورت صعودی انجام می‌شود (Ren et al., 2007). رابطه ۱۰ شاخص شباهت اصلاح شده را نشان می‌دهد.

$$R_i = \sqrt{[d_i^+ - \min(d_i^+)]^2 + [d_i^- - \max(d_i^-)]^2} \quad (10)$$

ساختار مدل بهینه‌سازی

مدل اصلی بکار رفته در این پژوهش شامل دو زیرمدل است. در زیرمدل اول، حداکثر کردن عملکرد نسبی محصولات مدنظر می‌باشد:

$$\text{MAX: } \frac{Y_{a,c}}{Y_{\max,c}} = 1 - \sum_{i=1}^g k_{i,c}^y \left(1 - \frac{w_{i,c}^{al}}{w_{i,c}^p}\right) \quad (11)$$

در این رابطه، $Y_{a,c}$ میزان عملکرد واقعی محصول c (تن بر هکتار)، $Y_{\max,c}$ حداکثر عملکرد محصول c (تن بر هکتار)، $k_{i,c}^y$ ضریب حساسیت گیاه نسبت به کم‌آبی در مرحله i محصول c ، $w_{i,c}^{al}$ مقدار آب تخصیص یافته به محصول c در مرحله i (میلی‌متر)

شرایط فعلی و برای محصولات زراعی تغییرات ۵۰ درصدی سطح زیرکشت در نظر گرفته شد. در این تحقیقات محصولات گندم، جو، لوبیا، چغندر قند، کلزا، سیب زمینی، گوجه فرنگی، پنبه، پیاز، زرد آلو، گلابی، سیب، گردو، گیلاس و هندوانه در مدل بهینه‌سازی بکار رفت. همچنین چهار سناریو در شرایطی که ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد آب موجود در دسترس باشد، در نظر گرفته شد و بر این اساس مقادیر بهینه سطح زیرکشت و عمق آب آبیاری اختصاص یافته به هر محصول تعیین شد. در این پژوهش برای حل مدل، از بسته نرم‌افزاری LINGO13.0 استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج اولویت‌بندی راهبردها

با برگزاری جلسات طوفان فکری و اجرای روش SWOT ابتدا نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها شناسایی شد و در نهایت راهبردهای اصلی به دست آمد. با توجه به حجم بالای نتایج از ارائه عوامل درونی و بیرونی ماتریس SWOT صرف نظر شد. خروجی ماتریس یعنی راهبردهای اصلی بدست آمده به شرح زیر هستند:

راهبرد ۱: تغییر الگوی کشت

راهبرد ۲: استفاده از آب‌های بازیافتی

راهبرد ۳: به‌روز رسانی سامانه‌های آبیاری

راهبرد ۴: افزایش قیمت آب کشاورزی

راهبرد ۵: واردات آب مجازی

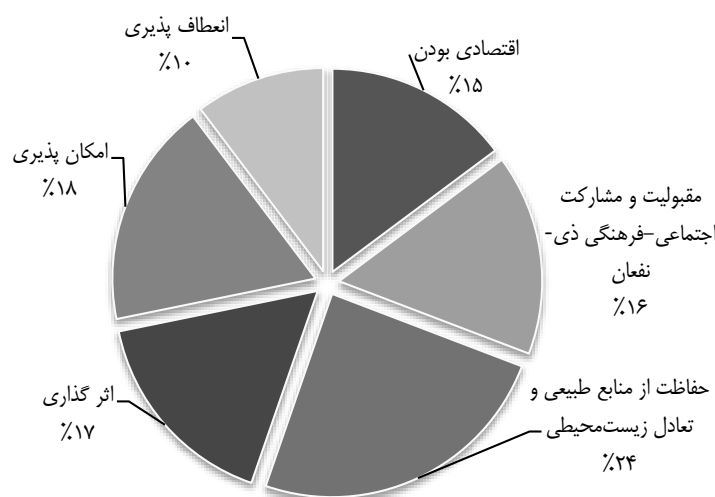
راهبرد ۶: آموزش کشاورزان

راهبرد ۷: اصلاح مقررات

راهبرد ۸: داد و ستد آب
با اجرای مدل تصمیم‌گیری چند معیاره هیبریدی MTAHP، مقادیر وزن معیارهای توسعه پایدار بدست آمد و در شکل ۲ به صورت گرافیکی نمایش داده شده است.

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، مهمترین معیار از نظر کارشناسان معیار حفاظت از منابع طبیعی و تعادل زیست‌محیطی است که ۲۴ درصد از کل وزن موجود را به خود اختصاص داده است. این امر نشان می‌دهد کارشناسان منابع آب بیشترین اهمیت را برای حفاظت از محیط زیست قائل هستند. جدول ۳ رتبه بندی راهبردها را با استفاده از مدل هیبریدی نشان می‌دهد. با توجه به اینکه راهبرد آموزش کشاورزان و اصلاح مقررات راهبردهایی هستند که باید در اجرای تمامی راهبردها به طور همزمان انجام شوند، رتبه بندی این دو راهبرد از سایر راهبردها مجزا شد و این دو راهبرد نسبت به یکدیگر اولویت بندی شدند.

نتایج مدل نشان داد که بین آموزش کشاورزان و اصلاح مقررات که بایستی در تمامی راهبردها همراه شوند، راهبرد آموزش کشاورزان مؤثرتر و مهمتر می‌باشد. از طرفی بهترین راهبرد برای مدیریت تقاضای آب کشاورزی مناطق خشک راهبرد تغییر الگوی کشت بدست آمد. کمترین رتبه‌ها نیز به راهبردهای داد و ستد آب و واردات آب مجازی تعلق گرفت. همانطور که در روش شناسی مطالعه بیان شد، در این تحقیق برای راهبرد برتر یعنی "تغییر الگوی کشت" برنامه‌ریزی دقیق تری انجام شده است و در ادامه نتایج مربوطه ارائه می‌گردد.



شکل ۲- وزن معیارهای توسعه پایدار

جدول ۳- رتبه‌بندی راهبردها

رتبه	راهبرد
۱	تغییر الگوی کشت
۲	به‌روز رسانی سامانه‌های آبیاری
۳	استفاده از آب‌های بازیافتی
۴	افزایش قیمت آب کشاورزی
۵	داد و ستد آب
۶	واردات آب مجازی
۱	آموزش کشاورزان
۲	اصلاح مقررات

به‌ازای هر مترمکعب آب مصرفی را دارا هستند. بنابراین کاهش سطح زیرکشت در محصولات، براساس میزان سود خالص درواحد مصرف آب آن‌ها می‌باشد.

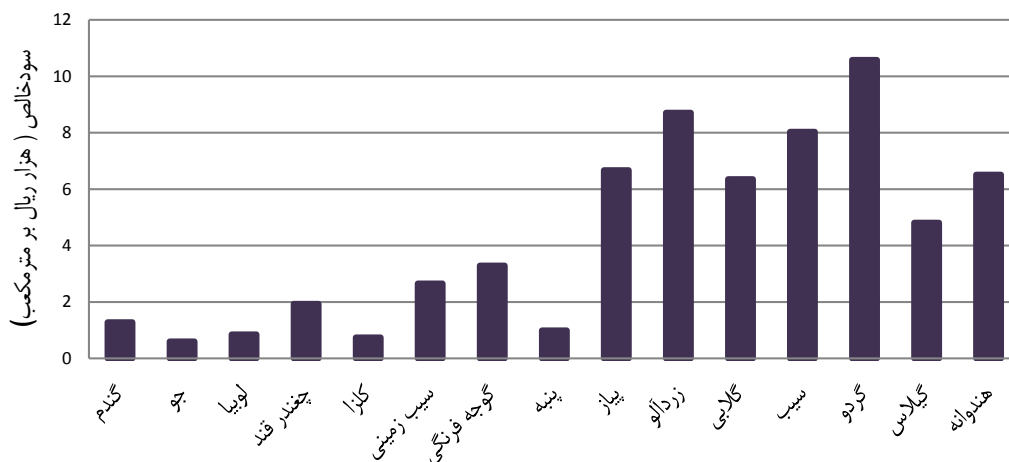
در سناریوهای بعدی مشاهده می‌شود با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی آب در دسترس، کاهش سطح زیرکشت علاوه بر محصولات یاد شده، در گندم نیز ایجاد شده است. با توجه به شکل ۳ بعد از محصولات یاد شده، این محصول کمترین راندمان اقتصادی آب را دارد.

جدول ۵ مقادیر بهینه سطح زیر کشت و سود خالص را در سناریوهای مختلف نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۵ مشاهده می‌شود که در جریان بهینه‌سازی با کاهش آب در دسترس، مجموع سطح زیرکشت نیز کاهش یافته است. این درحالی است که سود خالص اقتصادی با کاهش ۴۰ درصدی آب در دسترس، ۱۹ درصد در مقایسه با شرایط کنونی افزایش یافته است. نتایج حاصل از تحقیق حاضر مطابق با تحقیقات پیشین نشان دهنده تاثیر استفاده از الگوی کشت بهینه بر کاهش سطح زیر کشت و افزایش سود خالص می‌باشد، چنانچه (Toosi et al. (2003 با بهینه‌سازی الگوی کشت در دشت قوچان- شیروان نشان دادند سطح زیر کشت در الگوی بهینه ۴۸/۵٪ نسبت به وضع موجود کاهش و سود به دست آمده ۵۸٪ افزایش خواهد داشت، همچنین (Moghaddasi et al. (2009 نشان دادند با استفاده از رویکرد بهینه سازی مدیریت تخصیص آب کشاورزی در شبکه سد چادگان تا ۳۶ درصد امکان افزایش درآمد نسبت به حالت مدیریت سنتی وجود دارد.

۳-۲- نتایج مدل بهینه سازی الگوی کشت

با اجرای مدل بهینه‌سازی الگوی کشت، مقادیر خالص سود حاصل به ازای هر مترمکعب آب مصرفی در محصولات مختلف به دست آمد، شکل ۳ این نتایج را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود محصولات گردو، زردآلو، سیب، پیاز و هندوانه به ترتیب بیشترین مقدار سود خالص در واحد آب مصرفی را دارا می‌باشند.

جدول ۴ درصد سطح زیر کشت محصولات مختلف را در ۴ سناریو مختلف میزان آبیاری نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۴ مشاهده می‌شود، در سناریوی ۱۰۰٪ یعنی در شرایطی که کل آب موجود در دسترس باشد، در محصولات جو، لوبیا، کلزا و پنبه، در مقایسه با شرایط کنونی مقدار سطح زیرکشت کاهش یافته و در سایر محصولات این مقدار افزایش یافته است. اگر دوباره به شکل ۳ مراجعه شود، مشاهده می‌شود این محصولات، کمترین سودخالص



شکل ۳- سود خالص محصولات در شرایط آبیاری کامل

جدول ۴- درصد سطح زیر کشت محصولات در سناریوهای مختلف

سناریو	شرایط کنونی	%۱۰۰	%۸۰	%۶۰	%۴۰
محصولات	سطح زیر کشت (درصد)				
گندم	۴۸/۳۷	۵۰/۲۵	۳۴/۷۲	۲۴/۱۸	۲۴/۱۸
جو	۲۵/۲۸	۱۲/۶۴	۱۲/۶۴	۱۲/۶۴	۱۲/۶۴
لوبیا	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴
چغندر قند	۰/۰۰۸	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲
کلزا	۰/۹۶	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۴۸
سیب زمینی	۰/۷۸	۱/۱۸	۱/۱۸	۱/۱۸	۰/۳۹
گوچه فرنگی	۳/۸۱	۵/۷۱	۵/۷۱	۵/۷۱	۱/۹۰
پنبه	۱/۳۷	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۶۸
پیاز	۰/۳۱	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۱۶
زردآلو	۲/۷۸	۴/۱۷	۴/۱۷	۴/۱۷	۲/۷۸
گلابی	۰/۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۵
سیب	۴/۴۱	۶/۶۳	۶/۶۳	۶/۶۳	۴/۴۱
گردو	۶/۵۴	۹/۸۱	۹/۸۱	۹/۸۱	۸/۹۱
گیلاس	۴/۵۸	۶/۸۷	۶/۸۷	۶/۸۷	۴/۵۸
هندوانه	۰/۱۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۰۹
مجموع	۱۰۰	۱۰۰	۸۴/۴۶	۷۹/۹۳	۶۱/۷۹

جدول ۵- مقادیر بهینه سطح زیر کشت و سود خالص و تغییرات آن

سناریو	شرایط فعلی	%۱۰۰	%۸۰	%۶۰	%۴۰
سطح زیر کشت (هکتار)	۱۴۳۱۱۲/۲	۱۴۳۱۱۲/۲	۱۲۰۸۷۸/۳۷	۱۰۵۷۹۰/۹۵	۸۸۴۲۲/۵۹
تغییرات سطح زیر کشت در مقایسه با شرایط کنونی (درصد)	-	۰	-۱۶	-۲۶	-۳۸
سود خالص	۳۱۳۶۴۶۹/۲	۴۲۷۵۹۹۳	۴۰۵۰۴۳۶	۳۷۳۱۰۶۷	۲۶۴۰۴۹۱
تغییرات سود خالص در مقایسه با شرایط کنونی	-	۳۶	۲۹	۱۹	-۱۶

در ادامه تحقیق به بررسی بهترین راهبرد یعنی تغییر الگوی کشت پرداخته شده است. برای این منظور یک مدل برنامه ریزی غیر خطی برای بهینه‌سازی الگوی کشت در شرایط کم آبیاری استفاده شد. همچنین ۴ سناریو مختلف در میزان آب در دسترس در نظر گرفته شدند و به این ترتیب مقادیر بهینه سطح زیر کشت و آب اختصاص یافته به هر یک از محصولات تعیین شدند. نتایج این مدل مقادیر سود خالص هر یک از محصولات و همچنین کاهش یا افزایش سطح زیر کشت محصولات را در هر یک از سناریوهای کم آبیاری نشان داد. نتایج نشان داد کاهش سطح زیر کشت در محصولات، براساس میزان سود خالص در واحد مصرف آب آن‌ها می‌باشد. همچنین مقادیر بهینه سطح زیر کشت و سود خالص مورد ارزیابی قرار گرفت و مدل نشان داد سود خالص اقتصادی تا کاهش ۴۰ درصدی آب در دسترس، می‌تواند تا ۱۹ درصد در مقایسه با شرایط کنونی افزایش یابد. در نهایت نتایج این تحقیق نشان داد مهمترین راهبرد برای مدیریت تقاضای آب کشاورزی مناطق خشک کشور راهبرد تغییر الگوی کشت است و برای این منظور ارائه مدل

نتایج تحقیق حاضر نیز نتایج نشان داد، با استفاده از الگوی کشت بهینه میزان سود خالص نسبت به شرایط فعلی تا ۳۶ درصد افزایش خواهد داشت، همچنین سطح زیر کشت الگوی بهینه با کاهش آب در دسترس تا ۳۸ درصد کاهش خواهد یافت.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه، با استفاده از مدل SWOT، ۸ راهبرد اصلی برای مدیریت تقاضای آب کشاورزی مناطق خشک با تأکید بر حوضه مرکزی ایران تدوین شد. سپس این راهبردها با استفاده از مدل هیبریدی MTAHP که حاصل ترکیب نقاط قوت مدل‌های AHP و TOPSIS اصلاح شده است رتبه‌بندی شدند. با توجه به اینکه راهبرد آموزش کشاورزان و راهبرد اصلاح مقررات جزو راهبردهایی هستند که باید در اجرای تمامی راهبردها دخالت داده شوند، این دو راهبرد از سایر راهبردها مجزا شدند و نسبت به هم اولویت بندی شدند. نتایج نشان داد راهبرد تغییر الگوی کشت برترین راهبرد برای مدیریت تقاضای آب کشاورزی مناطق خشک می‌باشد.

David FR (2011) Strategic management: concepts and cases. Prentice Hall, 13th edition, 685P

Doorenbos J, Kassam A (1979) Yield response to water Irrigation and Drainage. FAO, Rome, 145P

Duarte C, Ettkin L, Helms M, Anderson, M (2006) The challenge of Venezuela: a SWOT analysis. Competitiveness Review: An International Business Journal 16(3/4):233-247

Fardad H, Golkar R (2002) Economic analysis of deficit irrigation for wheat at Karaj condition. Iranian Journal of Agricultural Sciences 23(2):305-312

Farshi A, Shariati M, Jarollahi R, Ghaemi M, Shahabifar M, Tavallaei M (1997) An estimate of water requirement of main field crops and orchards in Iran. Ministry of Agriculture, Agricultural and Natural Resource Organization, Water and Soil Research Institute Press, Karaj, Iran (in Persian)

Gallego-Ayala J, Juárez D (2011) Strategic implementation of integrated water resources management in Mozambique: An A'WOT analysis. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C 36(14):1103-1111

García-Vila M, Fereres E (2012) Combining the simulation crop model AquaCrop with an economic model for the optimization of irrigation management at farm level. European Journal of Agronomy 36(1):21-31

Ghahraman B, Sepaskhah AR (1997) Optimum water deficit in irrigation management at a semi-arid region of Iran. Iranian Journal of Science and Technology 21(1):395-405

Ghahraman B, Sepaskhah AR (2002) Optimal allocation of water from a single purpose reservoir to an irrigation project with pre-determined multiple cropping patterns. Irrigation Science 21(3):127-137

Mansori H, Kohansal MR (2008) Determining the optimal cropping pattern based on economic and environmental perspectives. Agricultural Economics and Development 1(3):13-20 (In Persian)

Moghaddasi M, Morid S, Araghinezhad SH (2009) Optimization of water allocation during water scarcity condition using non-linear programming, Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization (Case Study). Iran-Water Resources Research 4(3):1-13 (In Persian)

Ren L, Zhang Y, Wang Y, Sun Z (2007) Comparative analysis of a novel M-TOPSIS method and TOPSIS. Applied Mathematics Research eXpress 2007:abm005

تخصیص آب و زمین، استفاده از شیوه بسیار مؤثر کم‌آبیاری و افزایش سطح زیرکشت محصولاتی با راندمان اقتصادی بالاتر مؤثر خواهد بود. در این تحقیق استفاده از یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره در کنار یک مدل بهینه‌سازی برای شناخت و ارزیابی گزینه برتر پیشنهاد شده است، این روش پیشنهادی می‌تواند برای بهبود مدیریت تقاضای آب کشاورزی در مناطق خشک استفاده گردد.

۵- تشکر و قدردانی

این مقاله نسخه تکمیل و داوری شده مقاله‌ی ارائه شده در ششمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران می‌باشد. این کنفرانس در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۵ در شهر سمنان برگزار شد.

پی‌نوشت‌ها

- 1-Strength
- 2-Weakness
- 3-Opportunity
- 4-Threat
- 5-Multi criteria decision-making
- 6-Analytic hierarchy process
- 7-Modified Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
- 8-Modified TOPSIS & AHP
- 9-Consistency Ratio
- 10-Consistency Index
- 11-Random Inconsistency
- 12-Eigenvalue

۶- مراجع

Aczél, J, Saaty T (1983) Procedures for synthesizing ratio judgments. Journal of Mathematical Psychology 27(1):93-102

Al-Weshah RA (2000) Optimal use of irrigation water in the Jordan Valley: a case study. Water Resources Management 14(5):327-338

Anonymous (2010) Report of integrated water resources management, Iran central desert basin. Iran Water Resource Management Company (In Persian)

Arabzadeh, B, Tavakoli A (2006) Economic analysis of deficit irrigation management for rice in direct dry seeded farming. Journal of Agricultural Engineering Research 7(26):99-110

Banihabib ME, Azarnivand A, Peralta RC (2015) A new framework for strategic planning to stabilize a shrinking lake. Lake and Reservoir Management 31(1):31-43

Saaty TL, Vargas LG (1984) Inconsistency and rank preservation. *Journal of Mathematical Psychology* 28(2):205-214

Toosi SH, Alizade A, Taghizade H (2003) Optimization of cropping pattern in drought conditions. *Journal of Drought and Agricultural Drought* 3(10):12-29

Saaty TL (1977) A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology* 15(3):234-281

Saaty TL (1990) How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research* 48(1):9-26