2021, Vol.8, No.1, Pages 97 to 106
Journal of Water and Sustainable Development

۱۴۰۰، سال هشتم، شماره ۱، صفحات ۹۷ تا ۱۰۶
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Case Study

نوع مقاله: مطالعه موردی

Investigation of crop cultivation pattern of Semnan and Ilam provinces by emphasizing the role of virtual water in water productivity

R. Pouran[1*], H. Raghfar[2]

1, 2- Ph.D. and Professor, Economics Department, Al-Zahra University, Iran.

*(Corresponding Author Email: pouran.roghaye@gmail.com)

Received: 26-09-2020
Accepted: 31-01-2021

بررسی الگوی کشت محصولات زراعی استان‌های سمنان و ایلام با تأکید بر نقش آب مجازی در بهره‌وری آب

رقیه پوران[1*]، حسین راغفر[2]

۱، ۲- به‌ترتیب دکتری اقتصاد توسعه و استاد گروه اقتصاد، دانشگاه الزهرا، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: pouran.roghaye@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۲

Abstract

Along with global warming and declining freshwater resources, a new approach to improving the water productivity of agricultural products focuses on the role of virtual water in agricultural products; So that the production pattern based on the goal of maximizing water productivity gradually replaces the traditional patterns based on the goal of maximizing production and performance. In this study, using TOPSIS algorithm, the cultivation pattern obtained from optimization with the aim of maximizing the water productivity of selected crops was compared with the common cultivation pattern obtained from the goal of maximizing profits in Semnan and Ilam provinces. The results of reviewing and ranking the crops in the above two cultivation patterns show that in both provinces, the values of crop proximity coefficient in the optimal cultivation pattern are relatively higher than the current cultivation pattern. In other words, under the same conditions (i.e., planting area stable, crop prices and average cost of production), the cultivation pattern obtained from the goal of maximum water productivity in the studied provinces is in a better situation compared to the cultivation pattern obtained from profit maximization.

Keywords: TOPSIS Algorithm, Virtual Water, Water Productivity.

چکیده

به موازات گرمتر شدن کره زمین و کاهش منابع آب شیرین، رویکرد نوین برای ارتقاء بهره‌وری آب محصولات کشاورزی معطوف به نقش آب مجازی نهفته در محصولات کشاورزی است؛ به‌طوری‌که الگوی تولید مبتنی بر هدف حداکثرسازی بهره‌وری آب به تدریج جایگزین الگوهای سنتی مبتنی بر هدف حداکثرسازی بر مبنای تولید و عملکرد می‌شوند. در این مطالعه با استفاده از الگوریتم تاپسیس، الگوی کشت حاصل از بهینه‌سازی با هدف حداکثرسازی بهره‌وری آب محصولات زراعی منتخب با الگوی کشت رایج حاصل از هدف حداکثرسازی سود در استان‌های سمنان و ایلام مقایسه شد. نتایج حاصل از بررسی و رتبه‌بندی محصولات در دو الگوی کشت فوق نشان می‌دهد، در هر دو استان مقادیر ضریب نزدیکی محصولات در الگوی کشت بهینه نسبتاً بالاتر از الگوی کشت فعلی است. به‌عبارت دیگر، تحت شرایط یکسان (یعنی ثابت ماندن سطح زیرکشت، قیمت محصولات و هزینه متوسط تولید) الگوی کشت حاصل از هدف حدکثر بهره‌وری آب در استان‌های مورد بررسی، در مقایسه با الگوی کشت حاصل از حداکثرسازی سود وضعیت بهتری دارد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم تاپسیس، آب مجازی، بهره‌وری آب.

DOI: 10.22067/jwsd.v8i1.88854

مقدمه

تخمین زده شده است که در ۴۰ سال آینده، تولید مواد غذایی در کشورهای توسعه‌یافته ۶۰ درصد و کشورهای در حال توسعه ۱۰۰درصد افزایش می‌یابد (Alexandratos و Bruinsma، ۲۰۱۲). در این راستا، استراتژی‌های اساسی برای تأمین نیازهای غذایی آینده عبارتند از: کاهش شکاف عملکرد موجود، افزایش بهره‌وری آب و استفاده کارآمد از منابع‌طبیعی دیگر؛ جلوگیری از تخریب زمین، کاهش ضایعات و اتلاف موادغذایی، و اتخاذ رژیم‌های غذایی پایدارتر. باتوجه‌به روند افزایش جمعیت و تلاش برای تأمین نیازهای غذایی رو به افزایش آنها، مطالعات مختلفی در جهان روند افزایش مصرف آب‌های شیرین و کاهش حجم آب‌های زیرزمینی نشان داده است (Steduto و همکاران، ۲۰۱۲؛ Foley و همکاران، ۲۰۱۱).

عواملی نظیر پایین بودن متوسط بارندگی کشور نسبت به متوسط جهانی (نظری‌پور و همکاران، ۱۳۹۱)، بالاتر بودن متوسط پتانسیل تبخیر سالیانه کشور نسبت به متوسط جهانی، اقلیم خشک و رشد سریع جمعیت (حسینی و همکاران، ۱۳۸۷) از عوامل مهم اثرگذار بر کاهش سرانه آب تجدیدشونده کشور در طول چند دهه اخیر بوده است. به‌طوری‌که سرانه منابع آب تجدیدپذیر کشور در سال ۱۳۹۸ حدود ۱۳۰۰ مترمکعب است (دفتر مطالعات پایه منابع آب کشور، ۱۳۹۹) و براساس شاخص فالکن‌مارک (Falkenmark Index) کشور ایران به مرحله تنش آبی رسیده است (شاهدی و طالبی، ۱۳۹۲). براساس آخرین آمار و اطلاعات بخش کشاورزی ایران، ۹۰/۹ درصد تولیدات زراعی کشور تولیدات آبی است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷).

از طرف دیگر، در سال‌های اخیر در کنار مدیریت عرضه (تأمین منابع آب)، مسئولان و برنامه‌ریزان حوزه آب، مدیریت تقاضا و حفظ منابع آبی را در دستور کار قرار داده‌اند. به‌نحوی‌که در حوزه مدیریت جدید (تقاضای آب) مفاهیم جدیدی نظیر «ردپای آب» (water footprint) و «آب مجازی» (virtual water) ارائه شده است. در داخل کشور نیز، مطالعات مختلفی در این خصوص انجام شده است. پوران و همکاران (۱۳۹۶) ضمن در نظر گرفتن بحث «آب مجازی» و محتوی آب محصولات به اشکال «آب سبز»، «آب آبی» و «آب خاکستری»، ارزش اقتصادی آب مجازی محصولات کشاورزی با رویکرد حداکثرسازی بهره‌وری آب را محاسبه کردند و الگوی کشت بهینه محصولات مورد مطالعه را براساس دو هدف حداکثرسازی سود (آنچه در حال حاضر در میان کشاورزان مرسوم است) و حداکثرسازی بهره‌وری آب استخراج نمودند.

با عنایت به مباحث فوق، این سئوال در ذهن ایجاد می‌شود که آیا الگوی کشت محصولات زراعی هم‌راستا با هدف حداکثرسازی بهره‌وری آب و اولویت‌بخشی به تولید محصولات دارای آب‌بری کمتر است؟ هدف مطالعه حاضر مقایسه و اولویت‌بندی الگوی کشت حاصل از حداکثرسازی بهره‌وری آب متأثر از محتوی آب محصولات و الگوی کشت فعلی و سنتی کشاورزان، با استفاده از الگوریتم تاپسیس است.

ادبیات موضوع

۱- ادبیات نظری

مفهوم بهره‌وری آب (Water Productivity) اولین بار توسط مولدن (Molden) ارائه شد، عبارت است از نسبت عملکرد و یا سود خالص حاصل از زراعت، جنگلداری، آبزی‌پروری، دامپروری و یا یک سیستم ترکیبی کشاورزی، به میزان آب به‌کار رفته برای رسیدن به سود خالص (کشاورز و دهقانی سانیج، ۱۳۹۱). براساس اینکه کدام جنبه از بهره‌وری مورد مطالعه است، روش‌های متفاوتی برای سنجش بهره‌وری در ادبیات نظری مطرح شده است. در مطالعه Molen و همکاران (۱۹۹۸)، از نظر کمی و فیزیکی محصولات، شاخص بهره‌وری فیزیکی منابع به‌صورت تولید به‌ازای یک واحد (CPD)[1] تعریف شده است. بااستفاده از رابطه (۱)، این شاخص از تقسیم مقدار محصول (Q) برحسب کیلوگرم به میزان آب مصرفی (W) بر حسب مترمکعب به‌دست می‌آید، نشان می‌دهد با مصرف هر مترمکعب آب، چند کیلوگرم محصول به‌دست می‌آید.

$$CPD=Q/W \quad (۱)$$

کاربرد این شاخص در مقایسه بیرونی یا بین‌منطقه‌ای (بین مزارع) و مقایسه درونی (روند زمانی) منابع آبی است (احسانی و خالدی، ۱۳۸۱). نوع دیگری از شاخص‌ها به جنبه اقتصادی و پولی بهره‌وری توجه دارند. بر این اساس، شاخص بهره‌وری اقتصادی (BPD)[2] عبارت است از ارزش یا سود ناخالص به ازای هر واحد آب و با استفاده از رابطه (۲) از تقسیم ارزش پولی تولید ناخالص (GR) بر میزان آب مصرفی برحسب مترمکعب (W) به‌دست می‌آید.

$$BPD=GR/W \quad (۲)$$

این شاخص نشان می‌دهد، هر واحد آبی که مصرف شده در نهایت، پس از کسر هزینه‌های عملیاتی چه میزان ارزش پولی ایجاد کرده است. بنابراین، در تحلیل‌های اقتصادی بر شاخص بهره‌وری فیزیکی برتری دارد (اشراقی و قاسمیان، ۱۳۹۱).

در راستای افزایش بهره‌وری آب محصولات کشاورزی، مفاهیم جدیدی در ادبیات اخیر مطالعات اقتصاد دانش‌بنیان مطرح شده است. Allan (۲۰۰۳) مبادله «آب مجازی» را به‌عنوان راهکاری جهت مدیریت کم‌آبی در کشورهای خشک و نیمه‌خشک خاورمیانه پیشنهاد کرد. به پیروی از آن، مفهوم «ردپای آب» ارائه‌دهنده چارچوبی برای تجزیه و تحلیل ارتباط میان مصرف و تخصیص انسانی از آب شیرین کره زمین ارائه می‌دهد (برای مطالعه بیشتر به پوران و همکاران (۱۳۹۶) رجوع شود). «ردپای آب» یک محصول عبارت است از حجم کل آب شیرینی که برای تولید محصول به‌کار می‌رود و همان حاصلضرب محتوی آب مجازی هریک از محصولات کشاورزی و مقدار تولید همان محصول در منطقه موردنظر است. شامل سه جزء ردپای آب آبی (blue water footprint)، سبز (green water footprint) و خاکستری (grey water footprint) است؛ ردپای آب آبی به حجم آب‌های سطحی و زیرزمینی صرف شده در فرآیند تولید محصول اشاره دارد؛ ردپای آب سبز آب‌های حاصل از بارش‌های جوی صرف شده در تولید محصول است. ردپای آب خاکستری حجم آب شیرین لازم برای تصفیه آلودگی‌ها براساس استانداردهای کیفی موجود می‌باشد که پس از تصفیه در تولید محصول به‌کار می‌رود (Mekonnen و Hoekstra، ۲۰۱۰). براساس این طبقه‌بندی، محتوی آب محصولات کشاورزی به سه نوع سبز، آبی و خاکستری طبقه‌بندی شده است. Mekonnen و Hoekstra (۲۰۱۰ و ۲۰۱۱) ردپای آب و آب مجازی گروهی از محصولات کشاورزی در مناطق مختلف کشورهای جهان را محاسبه کردند که مبنای اطلاعات آماری در خصوص آب مجازی و ردپای آب محصولات کشاورزی در عمده مطالعات مرتبط، از جمله مطالعه حاضر می‌باشد.

۲- ادبیات تجربی

مطالعات مختلفی در خارج و داخل کشور با رویکرد محاسبه بهره‌وری آب محصولات کشاورزی در سطح ملی، منطقه‌ای استانی و شهری (روستایی) انجام شده است. Oweis (۱۹۹۷) متناسب با میزان بارندگی، دامنه تغییرات بهره‌وری فیزیکی گندم را برای کشور سوریه بین ۰/۵ تا ۲ تن در هر هکتار محاسبه نموده است. Zwart و Bastiaanssen (۲۰۰۴) بهره‌وری فیزیکی آب محصولات گندم، برنج، پنبه و ذرت را برای گروهی از کشورهای جهان، به‌طور متوسط و به‌ترتیب، برابر ۱/۰۹، ۱/۰۹، ۰/۶۵ و ۰/۲۳ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه نمودند. موسسه تحقیقاتی Water watch (۲۰۰۴) بهره‌وری اقتصادی آب گندم، برنج و پنبه را به‌ترتیب ۵/۸، ۶/۴ و ۲۱/۵ روپیه به ازای هر کیلوگرم برای کشور هند ارزیابی نمود. Singh و همکاران (۲۰۰۶) بهره‌وری فیزیکی آب این محصولات را برای هند به‌ترتیب ۱/۰۴، ۰/۸۴ و ۰/۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب ارزیابی نمودند. Liu و همکاران (۲۰۰۸) برای ۱۲۴ کشور جهان نتیجه گرفتند، کشورهای آمریکا و چین با بیش از ۱/۵ کیلوگرم بر مترمکعب بالاترین بهره‌وری فیزیکی آب برای محصول ذرت و کشورهای آفریقایی با کمتر از ۱ کیلوگرم بر مترمکعب، کمترین بهره‌وری فیزیکی را میان کشورهای مورد مطالعه دارند. همچنین، Foley و همکاران (۲۰۱۹) براساس متاآنالیز جامعی پیرامون بهره‌وری آب غلات سه محصول برتر جهان (گندم، ذرت و برنج) در ۳۱ کشور دنیا، به این نتیجه دست یافتند که بالاترین مصرف‌کنندگان آب برای تولید محصولات زراعی، از بیشترین پتانسیل پس‌انداز آب نیز برخوردارند؛ کشورهای ایالات متحده آمریکا، هند و چین برای گندم؛ ایالات متحده آمریکا، چین، و برزیل برای ذرت؛ هند، چین و پاکستان برای برنج چنین ویژگی‌هایی دارند.

در داخل کشور نیز، پورمحمد و همکاران (۱۳۹۶) بهره‌وری اقتصادی ذرت، گوجه‌فرنگی، گندم و جو را به‌ترتیب ۹۷، ۶، ۴۱ و ۴۱ سنت بر مترمکعب برای دشت نیشابور محاسبه نمودند. کریم‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) نشان دادند تعیین الگوی کشت با استفاده از برنامه‌ریزی خطی با هدف بهره‌وری آب باعث کاهش ۲۷ درصدی تقاضای آب کشاورزی در محدوده مزارع کوچک چناران شده است. اشراقی و قاسمیان (۱۳۹۱) بالاترین رتبه میزان بهره‌وری اقتصادی آب را به‌ترتیب به مناطق مینودشت، کلاله و علی‌آباد و کمترین آن به مناطق گنبدکاووس، کردکوی و آزادشهر استان گلستان اختصاص دادند. سپه‌وند (۱۳۸۸) در منطقه غرب کشور میانگین بهره‌وری آب فیزیکی گندم و کلزا را به‌ترتیب ۱/۶۴ و ۰/۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب و بهره‌وری اقتصادی مصرف آب آنها به‌ترتیب ۲۱۲۸ و ۱۵۰۸ ریال بر مترمکعب ارزیابی نمودند. علیزاده و خلیلی (۱۳۸۸) نیز با رویکرد واردات آب مجازی، نشان دادند در صورت واردات شکر از کشور دیگر (مانند برزیل)، به‌جای کشت آن در استان خراسان رضوی، حدود ۶۶۵ تا ۷۵۰ میلیون مترمکعب در مصرف آب ایران صرفه‌جویی می‌شود.

وجه تمایز مطالعه حاضر با مطالعات فوق، مقایسه دو الگوی کشت متأثر از هدف حداکثرسازی سود (الگوی کشت رایج و سنتی) و الگوی کشت متأثر از هدف حداکثرسازی بهره‌وری آب محصولات کشاورزی (الگوی کشت بهینه) و نیز، رتبه‌بندی ۱۲ محصول زراعی استان‌های منتخب با این رویکرد است. در این تحقیق سعی شده است، دراولویت‌بندی کشت محصولات کشاورزی زراعی منتخب، هدف حداکثرشدن بهره‌وری آب محصولات کشاورزی با رویکرد محتوی آب مجازی آنها به اشکال سبز، آبی و خاکستری مدنظر قرار گیرد.

روش تحقیق

۱- مراحل تجزیه و تحلیل آماری

در راستای دستیابی به هدف مطالعه، تجزیه و تحلیل در سه مرحله انجام شد. مرحله اول، انتخاب جامعه آماری است. در انتخاب جامعه آماری مطالعه به دو مسئله توجه شده است: ۱- وضعیت برخورداری آب استان‌ها. ۲- وجود یا عدم‌وجود اطلاعات آب مجازی محصولات مورد بررسی آنها. بررسی‌ها نشان داد وضعیت استان‌های کشور براساس شاخص پایش منابع آب به‌گونه‌ای است که ۴ استان در شرایط کمبود آبی[۳]، ۱۷ استان[۴] در شرایط تنش آبی شدید و ۱۰ استان در شرایط تنش آبی[۵] قرار داشته‌اند. در این سال هیچ یک از استان‌ها در شرایط قابل تحمل، نرمال و مرطوب قرار نداشتند که این موضوع نشان‌دهنده آسیب‌پذیری بالای منابع آب کشور است (سالنامه آماری آب کشور، ۱۳۹۷). در مطالعه حاضر استان‌های سمنان و ایلام از گروه استان‌های دارای تنش آبی هستند و با توجه به اینکه اطلاعات آب مجازی محصولات آنها نیز موجود است، به‌عنوان جامعه آماری انتخاب شدند. به‌علاوه، طبق اطلاعات سالنامه آماری آب کشور استان‌های سمنان و ایلام هریک حدود ۸۵ درصد از مجموع منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی استان خود را به تولیدات کشاورزی اختصاص می‌دهند (محاسبه براساس اطلاعات سالنامه آماری آب کشور، ۱۳۹۷). به عبارت‌دیگر، استان‌های فوق برخلاف وضعیت تنش آبی، بخش قابل‌توجهی از منابع آب خود را به تولیدات کشاورزی اختصاص می‌دهند و نقش مهمی در تولیدات زراعی کشور دارند. بنابراین، برنامه‌ریزی کشاورزی این استان‌ها باید معطوف به تولید محصولاتی با محتوی آب کمتر و بهره‌وری آب بالاتر شود.

در مرحله دوم، بهره‌وری آب محصولات کشاورزی باتوجه‌به مقادیر تولید بهینه حاصل از الگوی حداکثرسازی بهره‌وری آب و محتوی آب این محصولات، محاسبه شد. در این مرحله از یافته‌های مطالعه پوران و همکارانش (۱۳۹۶) استفاده شد. آنها جهت ارزش‌گذاری اقتصادی آب مجازی محصولات، ۱۲ محصول زراعی منتخب را در قالب پنج گروه (غلات، حبوبات، محصولات صنعتی، سبزیجات و محصولات جالیزی) انتخاب نمودند. حاصل این مطالعه ارزش‌گذاری اقتصادی آب مجازی محصولات زراعی منتخب به کمک الگوی برنامه‌ریزی خطی فازی (FLP)، در استان‌های منتخب و محاسبه مقدار تولید بهینه این محصولات با دو هدف حداکثرنمودن بهره‌وری آب و حداکثر شدن سود است. به دنبال یافته‌های این مطالعه، بهره‌وری آب محصولات برای دو الگوی کشت بهینه و فعلی از رابطه (۳) محاسبه شد. رابطه بهره‌وری مصرف آب برابر با نسبت عملکرد محصول به مقدار آب مصرفی است.

$$\text{بهره‌وری مصرف آب}\ (\text{کیلوگرم بر مترمکعب}) = \frac{\text{عملکرد}\ (\text{کیلوگرم بر هکتار})}{\text{مقدار آب مصرفی}\ (\text{مترمکعب بر هکتار})} \quad (۳)$$

عملکرد هر محصول نیز از رابطه (۴) قابل محاسبه است.

$$\text{عملکرد}\ (\text{کیلوگرم بر هکتار}) = \frac{\text{تولید}\ (\text{کیلوگرم})}{\text{سطح زیرکشت}\ (\text{هکتار})} \quad (۴)$$

نتایج محاسبه بهره‌وری مصرف آب برای هر محصول زراعی در قالب دو الگوی کشت بهینه و الگوی کشت فعلی در جداول (۱) و (۲)، به‌ترتیب برای استان‌های سمنان و ایلام ارائه شده است. نکته قابل‌توجه اینکه اطلاعات دقیق و مشخصی برای میزان آب آبیاری کاربردی در کشاورزی استان‌ها وجود ندارد و تنها اطلاعاتی که موجود و قابل‌استناد است، کل منابع آب تخصیص یافته به بخش کشاورزی هر استان می‌باشد؛ براین‌اساس، طبق اطلاعات سالنامه آب وزارت نیرو (۱۳۹۷) کل منابع آب تخصیص یافته به بخش کشاورزی استان‌های سمنان و ایلام به‌ترتیب ۸۹۷ و ۹۰۷ میلیون مترمکعب است. بنابراین، در هنگام محاسبه بهره‌وری آب براساس رابطه (۳) مقدار آب مصرفی هر محصول، برابر حاصلضرب نسبت سطح زیرکشت هر محصول به کل سطح زیرکشت محصولات کشاورزی استان و مقدار آب تخصیص‌یافته به بخش کشاورزی آن استان، درنظرگرفته شده است.

جدول ۱- نتایج محاسبه بهره‌وری مصرف آب استان سمنان

محصولات	سطح زیرکشت (هکتار)	الگوی کشت فعلی			الگوی کشت بهینه		
		بهره‌وری آب (کیلوگرم/مترمکعب)	عملکرد (کیلوگرم/هکتار)	تولید بهینه (تن)	بهره‌وری آب (کیلوگرم/مترمکعب)	عملکرد (کیلوگرم/هکتار)	تولید بهینه (تن)
لوبیا	۹۷	۱/۸۵	۱۶۶۳	۱۶۲	۲/۴	۲۱۵۲	۲۰۸
نخود	۷	۱/۲۷	۱۱۴۳	۸	۱/۲۱	۱۰۸۵	۷/۵
عدس	۱۷۹۵	۰/۶۴	۸۷۵	۱۵۷۰	۰/۵۱	۴۵۷	۸۲۰
چغندرقند	۲۸۶۷	۶/۴	۵۷۷۶۱	۱۶۵۶۰۰	۷/۵	۶۷۲۷۵	۱۹۲۸۷۷
گندم	۲۰۸۲۰	۱/۰۱	۹۰۷۲۶	۴۳۵۸	۱/۸	۱۶۱۴۶	۳۳۶۱۵۹
شلتوک	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
جو	۱۴۹۵۰	۳/۶	۳۲۶۹	۴۸۸۷۳	۱/۵	۱۳۴۵	۲۰۱۰۷
ذرت	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
سیب‌زمینی	۲۳۱۷	۲/۷	۲۵۰۰۰	۵۷۹۱۲	۲/۸	۲۵۱۱۶	۵۸۱۹۳
پیاز	۳۴۰	۷/۶	۶۹۰۰۰	۲۳۴۶۰	۷/۹	۷۰۸۶۳	۲۴۰۹۳
هندوانه	۱۳۶۰	۲/۴	۲۲۰۰۰	۲۹۹۲۰	۳/۰۲	۲۷۰۸۹	۳۶۸۴۱
خیار	۸۶۴	۱/۳	۱۲۰۰۰	۱۰۳۶۲	۱/۸	۱۶۱۴۶	۱۳۹۵۰

* منبع اطلاعات سطح زیرکشت محصولات و میزان تولید فعلی، احمدی و همکاران (۱۳۹۷) است.

**کل منابع آب بخش کشاورزی استان از سالنامه آماری آب وزارت کشور (۱۳۹۷) اقتباس شده است.

***میزان تولید بهینه از نتایج مطالعه پوران و همکاران (۱۳۹۶) اقتباس شده است.

جدول (۲)- نتایج محاسبه بهره‌وری مصرف آب استان ایلام

محصولات	سطح زیرکشت (هکتار)	الگوی کشت فعلی			الگوی کشت بهینه		
		بهره‌وری آب (کیلوگرم/مترمکعب)	عملکرد (کیلوگرم/هکتار)	تولید بهینه (تن)	بهره‌وری آب (کیلوگرم/مترمکعب)	عملکرد (کیلوگرم/هکتار)	تولید بهینه (تن)
لوبیا	۲۲۰	۱/۲۶	۱۱۵۰	۲۵۳	۱/۷	۱۵۴۱	۳۳۹
نخود	۴۱۱۷	۰/۶	۵۴۵	۸۲۲۴۳	۰/۹۳	۸۴۳	۳۴۷۱
عدس	۴۲۷۰	۰/۵۶	۵۰۸	۲۱۶۹	۰/۶	۵۴۴	۲۳۲۳
چغندرقند	۱۵۰	۶/۹	۶۳۳۳۳	۹۵۰۰	۸/۲	۷۴۳۷	۱۱۱۶
گندم	۵۷۰۱۰	۰/۴	۳۶۸۶	۲۱۰۱۱۴	۰/۳۷	۳۳۵۵	۱۹۱۲۶۹
شلتوک	۲۷۴۰	۰/۵	۴۶۹۳	۱۲۸۵۹	۰/۹۸	۸۸۸۸	۲۴۳۵۳
جو	۱۴۰۰	۰/۳۳	۳۰۶۱	۴۲۸۶	۰/۹۵	۸۶۱۶	۱۲۰۶۲
ذرت	۶۷۹۷	۰/۸	۷۸۱۶	۵۳۱۲۵	۲/۳	۲۰۸۶۱	۱۴۱۷۹۲
سیب‌زمینی	۱۲۰	۱/۹	۱۷۶۷۷	۲۱۲۱	۲/۰۲	۱۸۳۲۱	۲۱۹۹
پیاز	۴۴	۱/۸	۱۶۵۴	۳۷۵۰۰	۲/۳۷	۲۱۴۹	۹۵۵۵۶
هندوانه	۲۴۰۵	۱/۵	۳۸۱۰۵	۹۱۶۴۶	۲/۵	۲۲۶۷۵	۵۴۵۳۳
خیار	۳۶۲۵	۲/۱	۱۹۹۲۰	۷۲۲۰۴	۲/۱۵	۱۹۵۰۰	۷۰۶۸۸

* منبع اطلاعات سطح زیرکشت محصولات و میزان تولید فعلی، احمدی و همکاران (۱۳۹۷) است.

** کل منابع آب بخش کشاورزی استان از سالنامه آماری آب وزارت کشور (۱۳۹۷) اقتباس شده است.

***میزان تولید بهینه از نتایج مطالعه پوران و همکاران (۱۳۹۶) اقتباس شده است.

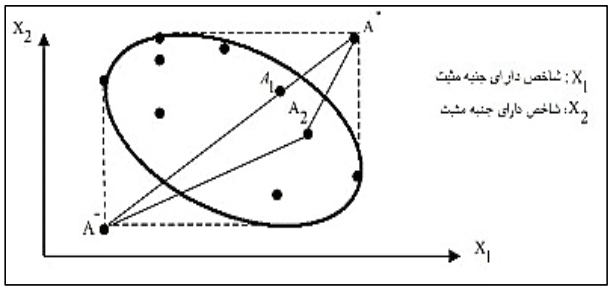
مرحله سوم، به اولویت‌بندی و مقایسه دو الگوی کشت بهینه و فعلی پرداخته شده است. در این مرحله، معیارهای مورد بررسی برای تکنیک تاپسیس، براساس مدل ریاضی مطالعه پوران و همکاران (۱۳۹۶) انتخاب شده و عبارتند از: ۱- محتوی آب سبز، ۲- محتوی آب آبی و ۳- محتوی آب خاکستری محصولات کشاورزی، ۴- بهره‌وری آب محصولات، ۵- سطح زیرکشت محصولات، ۶- قیمت محصولات و ۷- متوسط هزینه تولید محصولات در مراحل سه‌گانه کاشت، داشت و برداشت.

در نهایت، به‌منظور مقایسه اولویت‌بندی محصولات در چارچوب الگوی کشت بهینه و الگوی کشت فعلی، فرآیند اولویت‌بندی یکبار از طریق بهره‌وری آب متناسب با الگوی کشت فعلی و یکبار از طریق بهره‌وری آب متناسب با الگوی کشت بهینه انجام شد. به‌عبارت‌دیگر، با فرض ثابت ماندن سایر عوامل، دو الگوی کشت از لحاظ معیار بهره‌وری آب مقایسه شدند.

۲- تکنیک تصمیم‌گیری تاپسیس (TOPSIS)[۶]

تا به امروز یکی از کاربردی‌ترین روش‌های مدیریت و برنامه‌ریزی، استفاده از تکنیک‌هایی است که بتوان از طریق آنها باتوجه‌به معیارهای کمی و کیفی متعدد، بهترین گزینه را انتخاب کرد. از مشهورترین این تکنیک‌ها می‌توان به مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)[۷] اشاره نمود که خود به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: ۱- مدل‌های چندهدفه ۲- مدل‌های چندشاخصه. مدل «تاپسیس» نوعی تکنیک تصمیم‌گیری چند شاخصه جبرانی بسیار قوی برای اولویت‌بندی گزینه‌ها از طریق شبیه نمودن آنها به جواب ایده‌آل است. این مدل اولین بار توسط Hwang و Yoon (۱۹۸۱) پیشنهاد شد و به تکنیک وزن‌دهی، حساسیت بسیار کمی دارد (برای اطلاعات بیشتر به مطالعه Olson (۲۰۰۴) مراجعه شود). شانیان (۱۳۸۵) مهمترین مزایای روش تاپسیس را در نظر گرفتن تضاد و مطابقت بین گزینه‌ها و نیز پذیرش ضرایب وزنی اولیه توسط معیارها و شاخص‌های مدل، می‌دانند. به‌علاوه، در این مدل معیارهای کمی و کیفی هر دو در مباحث اولویت‌بندی و تصمیم‌گیری به‌کار می‌رود. خروجی مدل می‌تواند ترتیب اولویت‌ها را مشخص سازد و علاوه‌بر سادگی مدل، نتایج حاصل از آن با روش‌های تجربی کاملاً منطبق است.

در این روش، m گزینه به‌وسیله n شاخص ارزیابی می‌شود. منطق اصولی این مدل راه‌حل ایده‌آل (مثبت) و راه‌حل ایده‌آل منفی را تعریف می‌کند. راه‌حل ایده‌آل (مثبت) راه‌حلی است که معیار سود را افزایش و معیار هزینه را کاهش می‌دهد. گزینه بهینه، گزینه‌ای است که کمترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل و در عین حال دورترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل منفی دارد. به عبارتی در رتبه‌بندی گزینه‌ها به روش تاپسیس، گزینه‌هایی که بیشترین تشابه را با راه‌حل ایده‌آل داشته باشند، رتبه بالاتری کسب می‌کنند. فضای هدف بین دو معیار، به‌عنوان نمونه در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱)- فضای هدف بین راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی در تکنیک تاپسیس (Opricovic و Hshiung Tzeng ، ۲۰۰۴)

در شکل (۱) A^+ و A^- به‌ترتیب، راه‌حل ایده‌آل مثبت و راه‌حل ایده‌آل منفی است. گزینه A_1 به نسبت گزینه A_2، فاصله کمتری تا راه‌حل ایده‌آل مثبت و فاصله بیشتری تا راه‌حل ایده‌آل منفی دارد. بنابراین، مراحل الگوریتم تاپسیس را به‌طور خلاصه می‌توان چنین معرفی نمود: ۱- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری، ۲- نرمال کردن ماتریس تصمیم، ۳- تشکیل ماتریس تصمیم نرمال موزون، ۴- محاسبه ایده‌آل‌های مثبت و منفی، ۵-محاسبه فاصله از ایده‌آل‌های مثبت و منفی و در نهایت، ۶- محاسبه راه‌حل ایده‌آل (برای اطلاعات بیشتر در این زمینه به مطالعه موسوی و همکاران (۱۳۸۹) رجوع شود). در پژوهش حاضر، کلیه مراحل فوق به کمک نرم‌افزار TOPSIS انجام شده است.

نتایج و بحث

به‌منظور ایجاد زمینه مقایسه و اولویت‌بندی محصولات در چارچوب الگوی کشت بهینه و الگوی کشت فعلی، فرآیند اولویت‌بندی یکبار از طریق بهره‌وری آب متناسب با الگوی کشت فعلی و بار دیگر، از طریق بهره‌وری آب متناسب با الگوی کشت بهینه انجام شده است. به عبارت دیگر، با فرض ثابت ماندن سایر عوامل، دو الگوی کشت از لحاظ معیار بهره‌وری آب مقایسه شدند.

• اولویت‌بندی کشت محصولات در استان سمنان

پس از تشکیل ماتریس تصمیم (متشکل از ۱۲ گزینه و ۷ معیار) و نرمال‌سازی، ماتریس وزنی رابطه (۶) به کمک نرم‌افزار TOPSIS و با انتخاب تکنیک آنتروپی شانون انجام شده است. قسمتی از اطلاعات ماتریس تصمیم در جدول (۳) آمده است.

جدول ۳- تعدادی از معیارهای تصمیم در اولویت‌بندی محصولات استان سمنان

محصولات	محتوی آب سبز	محتوی آب آبی	محتوی آب خاکستری	بهره‌وری آب بهینه	بهره‌وری آب فعلی
	(مترمکعب/تن)			(کیلوگرم/مترمکعب)	
لوبیا	۶۲۴	۱۱۲۹	۴۸۲	۲/۴	۱/۸۵
نخود	۲۱۲۷	۲۴۱۳	۱۴۰۴	۱/۲۱	۱/۲۷
عدس	۳۱۴۲	۶۰۲۷	۱۹۹۳	۰/۵۱	۰/۶۴
چغندرقند	۵۱	۲۵۲	۴۵	۷/۵	۶/۴
گندم	۱۲۵۶	۹۶۵	۲۲۶	۱/۸	۱/۰۱
شلتوک	۱۷۲۴	۱۰۷۳۲	۱۱۳۲	۰	۰
جو	۲۷۵۵	۴۷۹۰	۱۷۷۹	۱/۵	۱/۶
ذرت	۱۷۶	۱۱	۴۸	۰	۰
سیب‌زمینی	۳۱	۲۱۳	۳۴	۲/۸	۲/۷
پیاز	۵۸	۱۸۷	۲۲	۷/۹	۷/۶
هندوانه	۹۵	۲۶	۳۴	۳/۰۲	۲/۴
خیار	۸۲	۲۵۲	۳۷	۱/۸	۱/۳

در مرحله بعد، براساس آنتروپی، وزن مناسب به هر یک از معیارها به‌طور سیستمی داده شد. به‌علاوه، بر طبق ماتریس اوزان الگوی کشت بهینه، محتوی آب سبز، آبی و خاکستری به‌ترتیب دارای وزن‌های ۰/۱۷، ۰/۱۷۳۱ و ۰/۲۲۳۸ هستند. به‌علاوه، وزن سطح زیر کشت ۰/۱۸۱۳، قیمت محصولات ۰/۰۸۹۸، متوسط هزینه تولید ۰/۰۵۱۲ و بهره‌وری آب ۰/۱۱۰۹ تعیین شده است. براساس وزن‌های تعیین شده توسط آنتروپی شانون، نرم‌افزار به طور خودکار مراحل نرمال‌سازی ماتریس تصمیم، وزن‌دهی به ماتریس نرمال شده، تعیین راه‌های ایده‌آل مثبت و منفی و محاسبه اندازه فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی را انجام داد.

در نهایت، خروجی نرم‌افزار به‌صورت ضریب نزدیکی هر گزینه (محصول) به راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی نشان داده شد که همزمان، گزینه‌ها نیز براساس همین ضرایب رتبه‌بندی شده است. به‌طوری‌که گزینه‌ها (محصولات) به‌ترتیب از بزرگترین ضریب نزدیکی تا کوچکترین مقدار آن رتبه‌بندی شدند. نتایج این خروجی در دو حال الگوی کشت بهینه و الگوی کشت فعلی، برای استان سمنان در جدول (۴) مشاهده می‌شود. از طرف دیگر، طبق ماتریس اوزان الگوی کشت فعلی، محتوی آب سبز، آبی و خاکستری به‌ترتیب دارای وزن‌های ۰/۱۴۷۸، ۰/۱۳۶۷ و ۰/۱۳۰۵ هستند. به‌علاوه، وزن سطح زیر کشت ۰/۲۹۱۵، قیمت محصولات ۰/۰۷۲۵، متوسط هزینه تولید ۰/۰۴۱۳ و بهره‌وری آب ۰/۱۷۹۸ تعیین شده است.

جدول ۴- مقایسه اولویت محصولات استان سمنان در شرایط حداکثر بهره‌وری و شرایط فعلی

شرایط حداکثر بهره‌وری		شرایط فعلی	
اولویت‌ها	ضریب نزدیکی	اولویت‌ها	ضریب نزدیکی
چغندرقند	۰/۷۲۵۲	عدس	۰/۷۷۱۴
پیاز	۰/۷۲۳۹	شلتوک	۰/۵۶۹۸
هندوانه	۰/۷۱۷۵	ذرت	۰/۵۰۷۵
خیار	۰/۷۱۶۲	لوبیا	۰/۴۸۷۶
لوبیا	۰/۷۱۲۷	نخود	۰/۴۸۳۱
نخود	۰/۷۱۲۶	خیار	۰/۴۸۱۷
سیب‌زمینی	۰/۷۱۰۶	هندوانه	۰/۴۷۶۳
ذرت	۰/۶۹۳۹	پیاز	۰/۴۷۵۲
عدس	۰/۶۵۱۵	چغندرقند	۰/۴۷۰۰
شلتوک	۰/۵۷۸۸	سیب‌زمینی	۰/۴۶۴۰
جو	۰/۴۴۸۹	جو	۰/۳۱۴۱
گندم	۰/۳۴۸۷	گندم	۰/۲۷۱۵

براین‌اساس، رتبه‌بندی محصولات استان سمنان در دو الگوی کشت بهینه و فعلی در جدول (۳) ارائه است. طبق این جدول برای الگوی کشت بهینه محصولات چغندرقند، شلتوک، پیاز، هندوانه، خیار و سیب‌زمینی به‌ترتیب از اولویت‌های اول تا ششم در تولید محصولات کشاورزی استان سمنان به شمار می‌روند. به این ترتیب، محصولاتی از اولویت‌های بالاتر برخوردارند که دارای محتوی آب کمتری نسبت به سایر محصولات هستند. در رتبه‌بندی الگوی کشت فعلی، ترتیب محصولات تقریباً متفاوت از الگوی کشت بهینه شده است. در این الگو محصولات چغندرقند، لوبیا، شلتوک، پیاز، خیار و ذرت به ترتیب از اولویت‌های اول تا ششم محسوب می‌شوند.

نکته قابل توجه اینکه در اولویت‌بندی محصولات طبق این الگو، محصولاتی در رتبه‌های اول قرار دارند که نسبت به سایر محصولات محتوی آب بیشتری دارند. ضریب نزدیکی این گروه نسبت به محصولات الگوی کشت بهینه، نسبتاً پائین‌تر است. به عبارت دیگر، این محصولات از راه‌حل ایده‌ال نسبتاً دورتر هستند.

• اولویت‌بندی کشت محصولات در استان ایلام

بخشی از اطلاعات ماتریس تصمیم استان ایلام در جدول (۵) ارائه شده است. بر طبق ماتریس اوزان الگوی کشت بهینه، محتوی آب سبز، آبی و خاکستری به‌ترتیب وزن‌های ۰/۱۳۰۸، ۰/۱۷۴۱ و ۰/۱۵۱ دارند. وزن سطح زیر کشت ۰/۲۶۲۳، قیمت محصولات ۰/۰۸۱۶، متوسط هزینه تولید ۰/۰۵۶۵ و بهره‌وری آب ۰/۱۵۳۷ تعیین شده است.

جدول ۵- تعدادی از معیارهای تصمیم در اولویت‌بندی محصولات استان ایلام

محصولات	محتوی آب سبز	محتوی آب آبی	محتوی آب خاکستری	بهره‌وری آب بهینه	بهره‌وری آب فعلی
	(مترمکعب/تن)			(کیلوگرم/مترمکعب)	
لوبیا	۸۸۹	۱۷۰۷	۵۱۳	۱/۷	۱/۲۶
نخود	۶۷۸۸	۳۷۸۷	۳۰۸۹	۰/۹۳	۰/۶
عدس	۲۹۱۷	۱۳۰۲۲	۱۴۳۹	۰/۶	۰/۵۶
چغندرقند	۵۴۴	۵۵۹۶	۳۶۴	۸/۲	۶/۹
گندم	۴۲۹۵	۴۹۱	۴۱۲	۰/۳۷	۰/۴
شلتوک	۳۰۱	۲۵۳۴	۲۳۸	۰/۹۸	۰/۵
جو	۲۴۷۳	۳۹۸۱	۳۷۳	۰/۹۵	۰/۳۳
ذرت	۳۶۲	۴	۵۱	۲/۳	۰/۸
سیب‌زمینی	۸۹	۲۴۶	۷۲	۲/۰۲	۱/۹
پیاز	۴۶	۳۵۱	۲۳	۲/۳۷	۱/۸
هندوانه	۱۷۳	۳۹	۳۴	۲/۵	۱/۵
خیار	۹۰	۴۷۶	۳۷	۲/۱۵	۲/۱

از طرف دیگر، طبق ماتریس اوزان الگوی کشت فعلی، محتوی آب سبز، آبی و خاکستری به‌ترتیب دارای وزن‌های ۰/۱۱۴۳، ۰/۱۵۲۱ و ۰/۱۳۱۹ هستند. وزن سطح زیر کشت ۰/۲۲۹۱، قیمت محصولات ۰/۰۷۱۳، متوسط هزینه تولید ۰/۰۴۰۶ و بهره‌وری آب ۰/۲۶۰۷ تعیین شده است. براین‌اساس، رتبه‌بندی محصولات استان ایلام در دو الگوی کشت بهینه و فعلی در جدول (۶) ارائه شده است. برای الگوی کشت بهینه محصولات چغندرقند، پیاز، هندوانه، خیار، لوبیا و نخود به‌ترتیب از اولویت‌های اول تا ششم در تولید محصولات کشاورزی استان ایلام به شمار می‌روند. یعنی، محصولاتی اولویت‌های اول را دارند که دارای محتوی آب کمتری نسبت به سایر محصولات هستند. همان‌طورکه در جدول (۶) مشاهده می‌شود، اولویت‌بندی بیانگر این است محصولاتی اولویت‌های اول را دارند که عمدتاً محتوی آب آنها نسبت به سایر محصولات کمتر است.

براساس جدول (۶) برای الگوی کشت فعلی، محصولات متناسب با بهره‌وری آب کمتری نسبت به الگوی کشت بهینه رتبه‌بندی شدند. بنابراین ترتیب محصولات به نوعی متفاوت از الگوی کشت بهینه شده است. در الگوی کشت فعلی، محصولات هندوانه، شلتوک، خیار، ذرت ، نخود و لوبیا به‌ترتیب اولویت‌های اول تا ششم را دارند. نکته قابل توجه اینکه در اولویت‌بندی محصولات طبق این الگو، دیده می‌شود عمدتاً محصولاتی در رتبه‌های اول قرار دارند که نسبت به سایر محصولات محتوی آب بیشتری دارند. ضریب نزدیکی این گروه نسبت به محصولات الگوی کشت بهینه، نسبتاً پایین‌تر است. یعنی این محصولات از راه‌حل ایده‌ال نسبتاً دورتر هستند.

جدول ۶- مقایسه اولویت محصولات استان ایلام در شرایط حداکثر بهره‌وری و شرایط فعلی

شرایط حداکثر بهره‌وری		شرایط فعلی	
اولویت‌ها	ضریب نزدیکی	اولویت‌ها	ضریب نزدیکی
چغندرقند	۰/۶۸۸۱	هندوانه	۰/۷۸۳۹
پیاز	۰/۶۶۳۳	شلتوک	۰/۶۰۰۵
هندوانه	۰/۶۵۰۵	خیار	۰/۵۰۸۵
خیار	۰/۶۴۸۷	ذرت	۰/۵۰۲۶
لوبیا	۰/۶۴۵۰	نخود	۰/۴۹۹۹
نخود	۰/۶۴۲۸	لوبیا	۰/۴۹۸۹
شلتوک	۰/۶۳۷۹	پیاز	۰/۴۸۹۵
ذرت	۰/۶۳۶۲	عدس	۰/۴۸۵۰
سیب‌زمینی	۰/۶۳۱۸	چغندرقند	۰/۴۸۴۳
عدس	۰/۶۰۰۹	سیب‌زمینی	۰/۴۷۹۷
جو	۰/۴۱۳۸	جو	۰/۳۲۴۷
گندم	۰/۳۳۳۶	گندم	۰/۲۷۹۱

نتایج حاصل از اولویت‌بندی محصولات مطالعه در قالب دو الگوی کشت فعلی و الگوی کشت متأثر از هدف حداکثرسازی بهره‌وری آب، نشان می‌دهد تحت شرایط یکسان (یعنی ثابت ماندن سطح زیرکشت، قیمت محصولات و هزینه متوسط تولید) الگوی کشت بهینه استان‌های فوق وضعیت بهتری نسبت به الگوی کشت فعلی آنها دارد. مقایسه محتوی آب محصولات در هر استان باتوجه‌به جداول (۳) و (۵) و نتایج رتبه‌بندی آنها باتوجه‌به جداول (۴) و (۶) نشان می‌دهد، محصولاتی که در اولویت‌های بالاتر استان‌های مورد مطالعه قرار گرفتند، عمدتاً محصولاتی هستند که محتوی آب مجازی آنها به نسبت محصولاتی که در اولویت‌های پایین‌تر هستند، کمتر است و در عین‌حال، بهره‌وری آب بیشتری دارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتایج حاصل از برآوردها نشان داد، عمدتاً در هر دو استان، مقادیر ضریب نزدیکی در الگوی کشت بهینه نسبتاً بالاتر از الگوی کشت فعلی است. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت، تحت شرایط یکسان (یعنی ثابت ماندن سطح زیرکشت، قیمت محصولات و هزینه متوسط تولید) الگوی کشت بهینه محصولات زراعی منتخب استان‌های سمنان و ایلام، وضعیت بهتری نسبت به الگوی کشت فعلی آنها دارد. زیراضمن برخورداری از بهره‌وری آب بالاتر نسبت به الگوی کشت فعلی، تولید محصولاتی اهمیت دارد که محتوی آب کمتری نیاز دارند. بنابراین، قادر است با صرف منابع آب کمتر، به هدف حداکثر بهره‌وری آب نزدیک خواهد شد.

ازآنجایی‌که عمده منابع آبی کشور در بخش کشاورزی صرف می‌شود و باتوجه‌به روند نوسانی رو به کاهش منابع آب، توصیه می‌شود؛ سیاست تولید محصولات کشاورزی در راستای حفظ و ذخیره منابع آبی، متمرکز بر کشت محصولاتی باشد که ضمن افزایش بهره‌وری آب، همسو با محتوی آب مجازی محصولات کشاورزی باشد. بنابراین توصیه می‌شود در راستای هدف حداکثرسازی بهره‌وری محتوی آب محصولات، اولویت‌بندی کشت مناطق نیز بر این اساس صورت گیرد. یعنی در هر منطقه و متناسب با شرایط اقلیمی آن، از میان محصولات مختلف آنهایی که نیاز آبی کمتر و بهره‌وری آب بالاتر دارند، در اولویت قرار گیرند تا از این طریق هم هدف حداکثرسازی سود تأمین شود و هم از هدر رفت منابع آبی در شرایط تنش جلوگیری شود.

تشکر و قدردانی

به این وسیله از جناب آقای دکتر محمد جُلینی، عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، که با نظرات کارشناسی و ارزشمند خود موجب ارتقاء سطح کیفی این مطالعه شدند، تشکر و قدردانی می‌شود.

پی‌نوشت

1-Crop Per Drop

2-Benefit Per Drop

۳- بوشهر، فارس، گلستان و هرمزگان

۴- آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل، البرز، تهران، خراسان شمالی، خوزستان، زنجان، قزوین، قم، کردستان، کرمان، کرمانشاه، گیلان، مرکزی، همدان و یزد

۵- اصفهان، ایلام، چهارمحال و بختیاری، خراسان رضوی، خراسان جنوبی، سمنان، سیستان و بلوچستان، کهکیلویه و بویراحمد، لرستان و مازندران.

6-Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

7-Multiple Criteria Decision Making

منابع

احسانی، م. و خالدی، ه. ۱۳۸۱. شناخت و ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی به منظور تأمین امنیت آبی و غذایی کشور. یازدهمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی. تهران، ایران.

احمدی، ک.، عبادزاده، ح.، عبدالشاه، ه.، کاظمیان آ. و رفیعی، م. ۱۳۹۷. آمارنامه کشاورزی. محصولات زراعی، سال زراعی ۹۷- ۱۳۹۶. جلد اول. انتشارات وزارت جهاد کشاورزی. تهران. ایران.

اشراقی، ف. و قاسمیان، س.د. ۱۳۹۱. بررسی بهره‌وری اقتصادی مصرف آب در استان گلستان. مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۲۶(۳): ۳۱۷-۳۲۶.

پوران، ر.، راغفر، ح.، قاسمی، ع. ر. و بزازان، ف. ۱۳۹۶. محاسبه ارزش اقتصادی آب مجازی با رویکرد حداکثرسازی بهره‌وری آب آبیاری. فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، ۶(۲۱): ۱۸۹-۲۱۲.

پورمحمد، ی.، موسوی بایگی، س. م.، علیزاده، ا.، ضیائی ع. ن. و بنایان اول، م. ۱۳۹۶. برآورد بهره‌وری آب محصولات عمده نیشابور و بهینه‌سازی سطح زیرکشت محصولات. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۱(۱): ۱۱۲-۱۲۶.

حسینی، س. ا.، ارشدی، م. و بابایی، ح. ۱۳۸۷. آب مجازی: مفاهیم و کاربردها. مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب. دانشگاه زابل، پژوهشکده تالاب بین‌المللی هامون، زابل، ایران.

سپه‌وند، مراد. ۱۳۸۸. مقایسه نیاز آبی، بهره‌وری آب و بهره‌وری اقتصادی آن در تولید گندم و کلزا در غرب کشور در سال‌های پرباران. مجله پژوهش آب ایران، ۳(۴): ۶۳-۶۸.

سالنامه آماری آب کشور ۹۴-۱۳۹۳. ۱۳۹۷. وزارت نیرو، دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا. تهران، ایران.

شاهدی، م. و طالبی حسین‌آباد، ف. ۱۳۹۲. ارائه چند شاخص کاربردی به منظور بررسی تعادل منابع آب و پایداری توسعه، مطالعه موردی: حوزه آبریز قره‌قوم. نشریه آب و توسعه پایدار، ۱(۱): ۷۳-۷۹.

شانیان، ع. ۱۳۸۵. کاربرد تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در انتخاب راهبرد مناسب جهت اجرای پروژه فناوری اطلاعات. انتشارات سازمان مدیریت صنعتی ایران. چاپ اول. تهران، ایران.

کشاورز، ح. و دهقانی سانیچ، ع. ۱۳۹۱. شاخص بهره‌وری آب و راه‌کار آتیه کشاورزی کشور. فصلنامه علمی راهبرد اقتصادی، ۱(۱): ۱۹۹-۲۳۳.

کریم‌زاده، علیزاده، م.ا.، انصاری، ح.، قربانی، م. و بنایان اول، م. ۱۳۹۵. بهینه‌سازی بهره‌وری آب و کارایی انرژی در انخاب الگوی کشت. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۶(۱۰):۸۵۹-۸۴۹.

علیزاده، ا. و خلیلی، ن. ۱۳۸۸. بررسی بهره‌وری آب-انرژی در زراعت چغندرقند (مطالعه موردی استان خراسان رضوی). مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۲(۳): ۱۲۳-۱۳۶.

موسوی، س.ح.، پورخسروانی، م. و محمودی محمدآبادی، ط. ۱۳۸۹. گروه‌بندی مقایسه‌ای نبکاهای شمال شرق کویر سیرجان با استفاده از الگوریتم TOPSIS. نشریه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۱(۱): ۸۷-۱۰۵.

نظری پور، ح.، مسعودیان، س. ا. و کریمی، ز. ۱۳۹۱. بررسی تغییرات فضایی سهم بارش‌های یك‌روزه در تأمین روزهای بارشی و مقدار بارش ایران. مجله فیزیك زمین و فضا. ۳۸(۴): ۲۴۱-۲۵۸.

Alexandratos N. and Bruinsma J. 2012. World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 revision ESAE Working Paper No. 12-03. FAO. Rome, Italy.

Allan J. A. 2003. Virtual water-the water, food, and trade nexus useful concept or misleading metaphor? Journal of Water International, 28: 106-113.

Foley J.A., Ramankutty N., Brauman K.A., Cassidy E.S., Gerber J.S., Johnston M., Mueller N.D., O'connell C., Ray D.K.,West P.C., Balzer C., Bennett E.M., Carpenter S.R., Hill J., Monfreda C., Polasky S., Rockström J., Sheehan J., Siebert S., Tilman D. and Zaks D.P.M. 2011. Solutions for a cultivated planet. Nature, 478: 334–342.

Foley D., Thenkabail P. S., Aneece I. P., Teluguntla P. G. and Oliphant A. J. 2019. A meta-analysis of global crop water productivity of three leading world crops (wheat, corn, and rice) in the irrigated areas over three decades. International Journal of Digital Earth, 13(8): 939-975.

Hwang C.L. and Yoon K. 1981. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Springer-Verlag, New York.

Liu J., Zehnder A. J. B. and Yang H. 2008. Drops for crops: modelling crop water productivity on a global scale. Global NEST Journal, 10(3): 295-300.

Mekonnen M.M. and Hoekstra A.Y. 2010. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products (vol. 1: main report). Value of Water Research Report Series No. 47. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

Mekonnen M.M. and Hoekstra A.Y. 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products (vol. 2: appendixes). Value of Water Research Report Series No. 50, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

Molen D. J., Sakthivadivel R. and Perrye C. J. 1998. Indicators for Comparing Performance of irrigated agricultural systems. Research Report 20. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.

Olson D.L. 2004. Comparison of Weights in TOPSIS Models. Journal of Mathematical and Computer Modeling. 40: 721-727.

Opricovic S. and Hshiung Tzeng G. 2004. Compromise Solution by MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS. European Journal of Operational Research, 156: 445-455.

Oweis, T. .1997. Supplmental Irrigation: A highly efficient water-use practice. ICARDA. Aleppo, Syria.

Singh R., van Dam J. C. and Feddes R. A. 2006. Water productivity analysis of irrigated crops in Sirsa District. Indian Agricultural Water Management, 82: 253-278.

Steduto P., Hsiao T.C., Fereres E. and Raes D. 2012. Crop Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper 66. FAO, Rome, Italy .

Water Watch. 2004. Economic Water Productivity of Irrigated Crops in Sirsa District. India. Research project, No. 17.

Zwart S. J. and Bastiaanssen W. G. M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. Agricultural Water Management, 69(2):115-133.

http://wrbs.wrm.ir/