Archive of SID

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 14, Oct.-Nov. 2020, p. 1391-1403

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۴، مهر - آبان ۱۳۹۹، ص. ۱۴۰۳-۱۳۹۱

مقاله علمی-پژوهشی

کاربرد روش رتبه‌بندی منصفانه در تعیین رتبه کارایی مصرف آب محصولات زراعی تحت رویکرد آب مجازی (مطالعه موردی: شهرستان خاش)

محسن دهمرده قلعه نو[۱]، مهران حکمت نیا[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۲۰

چکیده

کمبود آب ویژگی بارز مناطق خشک و نیمه‌خشک است که تولید محصولات کشاورزی را به‌مخاطره انداخته است. لذا مدیریت مصرف و استفاده کارا از منابع آب در تولید محصولات کشاورزی ضروری است. یکی از راه‌کارها جهت مدیریت و افزایش کارایی مصرف آب (WUE) در بخش کشاورزی، تعیین مقدار حجم آبی است که در فرایند تولید محصولات کشاورزی مصرف شده است. به‌منظور محاسبه میزان حجم آب مصرف‌شده محصولات کشاورزی در مراحل رشد، از شاخص آب مجازی استفاده می‌شود. بنابراین هدف این تحقیق محاسبه کارایی مصرف آب (WUE) محصولات کشاورزی در شهرستان خاش تحت رویکرد آب مجازی و ردپای آب می‌باشد. لذا ابتدا نیاز آبی با استفاده از مدلCROPWAT بدست آمد. سپس حجم آب مجازی، ردپای آب سبز و آب آبی برای محاسبه کارایی مصرف آب با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) برای سال زراعی ۱۳۹۷ - ۱۳۹۶ محاسبه شد. نتایج نشان داد ۲۰/۱۵ درصد از کل نیاز آبی محصولات کشاورزی شهرستان خاش توسط آب سبز و ۷۹/۸۵ درصد آن توسط آب آبی تامین می‌شود. محتوای آب مجازی تولید محصولات کشاورزی در این منطقه ۸۵۳ مترمکعب بر تن می‌باشد و ردپای مصرف آب نشان‌دهنده آن است کل مقدار برداشت از منابع آب جهت تولید محصولات کشاورزی ۱۳۳/۵۵۴ میلیون مترمکعب می‌باشد. نتایج DEA حاکی از آن است که متوسط کارایی در مصرف آب محصولات کشاورزی شهرستان خاش ۷۰/۸ درصد است. ذرت‌دانه‌ای، سیب‌زمینی، پیاز، گوجه‌فرنگی، بادمجان، خربزه و هندوانه، یونجه، ذرت علوفه‌ای و سورگوم با نمره کارایی ۱ جزء محصولات کارا و محصولات خرما، انگور، گندم، برنج و جو جزء محصولات ناکارا قرار گرفتند. با استفاده از روش رتبه‌بندی منصفانه (FRM) دریافتیم که کمترین میزان کارایی مربوط به خرما و بیشترین میزان کارایی مربوط به محصول سورگوم بود و در آخر مشخص شد محصولاتی که ردپای مصرف آب بالاتری داشتند از میزان کارایی کمتری در مصرف آب برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: آب سبز، آب آبی، ردپای آب، بارش موثر، کارایی

مقدمه

انسان‌ها در همه‌ی قرون و اعصار با مشکلی به‌نام محدودیت منابع و امکانات تولید مواجه بوده به‌گونه‌ای که حتی در شرایط فعلی و با توسعه‌ی فزاینده علوم، بازهم محدود به امکانات موجود می‌باشد (Deng et al., 2016). کوشش‌های اقتصادی بشر نیز همیشه متمرکز بر آن بوده که بیشترین نتیجه را از امکانات موجود کسب کند و این همان گرایش بشر جهت رسیدن به کارایی[۳] بالاتر است (Kuang et al., 2020). کارایی متمرکز بر استفاده درست از منابع و امکانات تولید می‌باشد. بدون افزایش کارایی هیچ اقتصادی نمی‌تواند انتظار اعتلای سطح زندگی مردم خود را داشته باشد، زیرا یکی از عوامل تعیین‌کننده رفاه جوامع، میزان برخورداری افراد از امکانات محدود موجود در جامعه می‌باشد. لذا پژوهش در زمینه‌ی کارایی یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین پژوهش‌ها در بخش‌های مختلف اقتصاد به‌شمار می‌رود (Wang et al., 2018).

میزان بالای رشد جمعیت از یک طرف و کاهش اندازه زمین های حاصل‌خیز به‌دلیل توسعه فزاینده شهرها و مناطق صنعتی از طرف دیگر، لزوم استفاده بهینه از امکانات و منابع موجود را بیش از پیش مشخص می‌کند (Deng et al., 2016). در کشور ایران نیز وضعیت تولید بخش کشاورزی به‌گونه‌ای است که از مجموع ظرفیت‌های تولیدی استفاده کامل نمی‌شود (Alizadeh and Keshavarz, 2005). همچنین ایران با داشتن سرانه آب تجدیدشونده حدود ۱۶۰۰

۱- مربی، عضو هیئت علمی مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران
۲- دانشجوی دکتری اقتصادکشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mehranhekmatnia@gmail.com)

3- Efficiency

www.SID.ir

Archive of SID

مترمکعب جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است و پیش‌بینی می‌شود سرانه آب تا سال ۱۴۱۰ به‌میزان حدود ۸۰۰ متر مکعب کاهش یابد (Qasemipour et al., 2020). در ایران، بیشترین میزان برداشت از منابع آب شیرین توسط بخش کشاورزی انجام می‌شود (بیش از ۹۰ درصد) در صورتی که ایران کمتر از ۱ درصد از منابع آب تجدیدشونده جهان را در اختیار دارد (Hekmatnia et al., 2018). بنابریان کمبود آب یک عامل محدودکننده و یا حتی یک محدودیت برای گسترش فعالیت‌های کشاورزی در ایران به‌شمار می‌رود. نقش ویژه و بدون جایگزین آب در تولید محصولات زراعی، محدودیت منابع آب و موضوع عدم توازن بین عرضه و تقاضای آب در کشور، مدیریت آب را پیچیده‌تر کرده و افزایش تقاضا برای مواد غذایی باید از طریق تولید پایدار محصولات کشاورزی تامین شود که این امر منجر به فشار بر منابع آب می‌شود. از همین رو متخصصین امر پیوسته در تلاش هستند تا با ارائه روش‌های جدید، استفاده از این نهاده مهم تولید را مدیریت کرده و برنامه‌های مدونی را برای استفاده بهینه از آن ارائه دهند. بنابراین کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی همزمان با حفظ و یا افزایش تولید مواد غذایی ضروری است و این امر می‌تواند از طریق کارایی در مصرف آب محقق شود (Faramarzi et al., 2010).

کارایی در مصرف آب یک مفهوم وسیع است که می‌تواند به روش های مختلف تعریف شود، از جمله مفهوم مهندسی و مفهوم تولید. از منظر مهندسی، کارایی استفاده از آب را با کاهش تلفات آب از طریق استفاده از سیستم‌های آبیاری پیشرفته همانند سیستم آبیاری قطره‌ای، می‌توان به‌دست آورد (Deng et al., 2016). در تولیدات کشاورزی، کارایی مصرف آب معمولا تحت عنوان مقدار کالای فیزیکی و اقتصادی تولید شده به ازای هر واحد آب مصرف شده نیز تعریف می‌شود (Alizadeh and Keshavarz, 2005). کارایی مفهومی است که سابقه بسیاری در موضوعات مختلف دارد. محاسبه و تجزیه و تحلیل کارایی نشان‌دهنده این است که واحدهای تولیدی چگونه می‌توانند از منابع خود در راستای زسیدن به بهترین کارکرد و افزایش تولید در مقطعی از زمان استفاده کنند (Geng et al., 2019). کارایی در بخش‌های مختلف برای جلوگیری از هدر رفتن منابع تولید بسیار حائز اهمیت است. کارایی را میتوان، توانایی یک بنگاه در به‌دست آوردن بیشینه ستاده از یک مجموعه نهاده معین در دسترس تعریف کرد. کارایی استفاده از نهاده‌ها به‌طور معمول به دو روش پارامتری یا ناپارامتری محاسبه می‌شود که مهم‌ترین روش اندازه‌گیری آن با روش تحلیل پوششی داده‌ها[1] (DEA) یا همان روش ناپارامتری است (Ren et al., 2017). تحلیل پوشش داده‌ها (DEA) یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای محاسبه کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده[2] (DMU) است و این مزیت را دارد که قادر به حل مشکلات چند ورودی و چند خروجی است و به سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا نتایج قابل توجهی در الگوهای تولیدی کشاورزی و برنامه‌ریزی توسعه پایدار داشته باشند (Geng et al., 2019).

تابحال تلاش‌های متعددی جهت افزایش کارایی مصرف آب در ایران شده است اما هیچکدام از مطالعات به اهمیت آب آبی، که جزء منابع آب زیرزمینی برای آبیاری و آب سبز که بارش موثر برای رشد محصول است، توجه خاصی نداشته‌اند. آب آبی به آب‌های زیرزمینی و یا سطحی اطلاق می‌شود که در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، سدها، چاه‌ها و غیره جریان دارد و به‌طور سنتی، استفاده از سیستم‌های آبیاری به‌مفهوم آب آبی است (Hoekstra et al., 2011). آب سبز میزان آب باران مصرف شده در طول دوره رشد محصول را محاسبه می‌کند و از طریق بارندگی تأمین شده و در حقیقت همان بارش موثر می‌باشد که در محیط غیر اشباع خاک ذخیره شده و قابل استفاده برای گیاه می‌باشد (Hoekstra et al., 2011). مجموع استفاده از آب آبی و آب سبز تحت عنوان ردپای آب تولید محصول تعریف می‌شود و نشان‌دهنده میزان حجم آب مصرف شده به‌تفکیک منابع آب (آب‌های سطحی و زیرزمینی، آب باران) می‌باشد و میزان برداشت از منابع آب به‌منظور تولید محصولات کشاورزی در کل فرایند رشد را مشخص می‌کند. مفهوم ردپای آب در سال ۲۰۰۲ توسط هوکسترا[3]، یک محقق هلندی برای توصیف تأثیر مصرف انسان بر سیستم‌های منابع آب معرفی شد (Hoekstra, 2003). ردپای آب بر اساس شرایط اقلیمی هر منطقه محاسبه می‌شود و در مناطق مختلف بسیار متفاوت است به‌دلیل این‌که مطابق با شرایط جغرافیایی و اطلاعات آب و هوایی هر منطقه اندازه‌گیری می‌شود (Hoekstra et al., 2011). کل ردپای آب یک محصول (مجموع آب سبز، آب آبی) با عنوان محتوای آب مجازی آن محصول شناخته می‌شود و مفهوم آب مجازی و مفهوم ردپای آب ارتباط نزدیکی باهم دارند. تونی آلان، بنیانگذار مفهوم آب مجازی است و اصطلاح آب مجازی برای اولین بار توسط وی در اوایل دهه ۱۹۹۰ معرفی شد. آب مجازی یک محصول کلحجم آبی است که در فرایند رشد و تولید محصول مصرف می‌شود (Allan, 1998).

تجزیه و تحلیل شاخص‌های آب مجازی می‌تواند یک چارچوب ارزشمند برای بررسی میزان بهره‌برداری از منابع آب شیرین ارائه دهد و راه‌حل‌های بالقوه جهت کمک به مدیریت بهتر منابع آب و افزایش کارایی در مصرف آب را میسر سازد (Hoekstra et al., 2011). زیرا تقویم کشت گیاهان زراعی مختلف و مکان کشت آن ها باهم متفاوت است، بنابراین میزان آب سبز و آب آبی در آن‌ها با یکدیگر تفاوت خواهد داشت (Hoekstra, 2003). از این رو، برای بررسی کارایی

1- Data Envelopment Analysis
2- Decision-Making Units

3- Hoekstra

www.SID.ir

Archive of SID

مصرف آب، محاسبه این پارمتر برای تمام محصولات در مناطق مختلف ضروری می‌باشد. درخصوص محصولات دیم، مخصوصا در مناطق مرطوب، آب سبز می‌تواند حتی تمام نیاز آبی آن‌ها را تأمین کند، این در حالی است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک، همانند منطقه مطالعاتی، میزان محصول تولید شده تا حد زیادی به آب آبی که از طریق آبیاری و برداشت از منابع آب تأمین می‌شود، وابسته است. زیرا در چنین مناطقی، بارش در حدی نیست که بتواند کل نیاز آبی گیاه را تأمین کند (Qasemipour et al., 2020). بنابراین ارزیابی ردپای مصرف آب جهت بررسی میزان کارایی در مصرف آب امری ضروری است.

مطالعات زیادی در زمینه ارزیابی کارایی استفاده از آب کشاورزی انجام شده است. که بیشتر این مطالعات در سطح کشوری هستند و برای محاسبه‌ی دقیق کارایی مصرف آب باید بررسی کارایی مصرف آب به‌تفکیک هر منطقه و شهر و استان انجام شود. یانگ دونگ و همکاران به ارزیابی عوامل تاثیرگذار بر کارایی مصرف آب با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها در کشور چین پرداختند. نتایج نشان داد بهبود مدیریت مزرعه باعث افزایش کارایی مصرف آب خواهد شد. همچنین افزایش سرمایه‌گذاری در تجهیزات پیشرفته آبیاری باعث افزایش کارایی مصرف آب در مناطق تحت بررسی شده است. کمترین میزان کارایی مربوط به شانگ‌های با ۰/۰۷ بوده است (Yangdong et al., 2020). تیان و همکاران کارایی مصرف آب تولید قهوه در استان لام‌دونگ کشور ویتنام را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از تحلیل پوششی داده‌ها نشان‌داد کشاورزان بومی در استفاده از آب نسبت به کشاورزان مهاجر کارایی بالاتری دارند. همچنین تجربه کشاورزان، سطح تحصیلات، فاصله مزرعه از منبع آب و امنیت دسترسی به منابع آب تاثیر قابل توجهی بر کارایی مصرف آب داشته است (Tien et al., 2019). دنگ و همکاران کارایی مصرف آب را در ۳۱ استان کشور چین با استفاده از رهیافت تحلیل پوششی داده‌ها مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد کارایی مصرف آب در استان‌های توسعه یافته اقتصادی مانند پکن، شانگ‌های و تیانجین بالاتر است (Deng et al., 2016). دادمند و ناجی (۱۳۹۷) به بررسی کارایی تولید گندم در شهرستان تربت حیدریه با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های فازی پرداختند. نتایج نشان داد کاهش در مقدار بذر مصرفی، کاهش در کودهای صنعتی و استفاده از کودهای طبیعی کارایی گندم‌کاران را افزایش می‌دهد. همچنین استفاده از سیستم‌های پیشرفته آبیاری منجر به افزایش کارایی در مصرف آب نیز خواهد شد. ریاحی و یزدانی (۱۳۹۷) کارایی تعاونی‌های صید ماهیان استخوانی فعال در سواحل دریای خزر در استان مازندران را به کمک رهیافت تحلیل پوششی داده‌ها بررسی کرند. نتایج نشان داد فقط ۱۶/۷ درصد تعاونی‌های مورد بررسی در حالت کارا قرار دارند و ۸۳/۳ درصد از تعاونی‌های صید ماهیان استخوانی به‌صورت غیر کارا فعالیت می‌کنند. گنجی و همکاران (۱۳۹۷) عوامل موثر بر کارایی مصرف آب محصول گندم در استان البرز را با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها بررسی کردند. نتایج نشان داد تجربه کشاورز، میزان تحصیلات، مالکیت زمین و قیمت هر متر مکعب آب اثر مثبت و متغیرهای مسافت زمین کشاورز تا منبع آب، شرکت در کلاس‌های آموزشی و عضویت در تعاونی‌ها اثر منفی و معنی‌داری بر کارایی مصرف آب دارند. اردکانی و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها کارایی مصرف آب در محصول نیشکر در استان خوزستان را در دوره زمانی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۴ بررسی کردند. نتایج نشان داد میانگین کارایی استفاده از آب آبیاری در دوره مورد بررسی برای کشت نیشکر حدود ۷۰ درصد است. شهنوازی (۱۳۹۶) با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها به بررسی کارایی تولید پیاز در سطح کشور ایران پرداخت. نتایج نشان داد استان‌های ایلام، خراسان جنوبی، گلستان و سیستان و بلوچستان به‌ترتیب بیشترین کارایی و استان‌های خراسان رضوی، آذربایجان شرقی، خوزستان و فارس کمترین کارایی را در تولید پیاز داشتند. بابایی و همکاران (۱۳۹۳) کارایی مصرف آب محصولات کشاورزی شهرستان زابل را با استفاده از رهیافت تحلیل پوششی داده‌ها بررسی کردند. نتایج نشان داد میانگین کارآیی مصرف آب نیز ۵۲ درصد می‌باشد و برای رسیدن به کارایی کامل در محصولات استراتژیک گندم، جو و ذرت علوفه‌ای، میزان آب مصرفی باید به ترتیب به میزان ۳۲۶۹، ۲۳۷۷ و ۷۵۳۹ متر مکعب به ازای هر هکتار کاهش یابد.

بررسی منابع نشان داد در منطقه مورد مطالعه تا کنون تحقیقی که با رویکرد آب مجازی و ردپای آب میزان کارایی مصرف آب محصولات کشاورزی را بررسی کند انجام نشده است و این جنبه نوآوری تحقیق حاضر می‌باشد. در این تحقیق برای بررسی کارایی مصرف آب محصولات کشاورزی ابتدا میزان نیاز آبی هر گیاه محاسبه می‌شود سپس محتوای آب مجازی و ردپای مصرف آب برای هر محصول اندازه‌گیری خواهد شد. پس از آن با استفاده از رهیافت تحلیل پوششی داده‌ها میزان کارایی مصرف آب محاسبه خواهد شد و در نهایت با استفاده از مدل رتبه‌بندی منصفانه[1]، رتبه کارایی هر محصول ارائه خواهد شد. تا کنون موارد ذکر شده مورد توجه قرار نگرفته است و جنبه نوآوری تحقیق حاضر می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

خاش یکی از شهرهای استان سیستان و بلوچستان است که با مساحت ۲۳۱۰۵ کیلومتر مربع در مرکز استان سیستان و بلوچستان قرار گرفته‌است. شهرستان خاش بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی

1- Fairly Ranking Method

www.SID.ir

Archive of SID

دومارتن[1] دارای اقلیم گرم و خشک می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه در این منطقه ۱۷۴/۹ میلی‌متر می‌باشد و متوسط دمای بین ۷ الی ۴۰ درجه سانتی‌گراد دارد. مجموع سطح زیر کشت محصولات کشاورزی شهرستان خاش ۲۳ هزار هکتار می‌باشد و عمده محصولات تولیدی در این منطقه شامل گندم، جو، ذرت، یونجه و خرما می‌باشد. بررسی منابع نشان داد این منطقه از نظر دسترسی به منابع آب با بحران روبرو است. آب‌های سطحی و زیرزمینی مهم‌ترین منابع تامین کننده‌ی آب مورد نیاز بخش کشاورزی در این منطقه می‌باشند. از مهم‌ترین منابع تامین آب کشاورزی در این منطقه می‌توان به سد مهران و رودخانه ایرندگان اشاره کرد. از نظر بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، دشت خاش در منطقه ممنوعه بحرانی قرار دارد و از نظر کمیت و کیفیت دسترسی به منابع آب با چالش جدی مواجه است (Hekmatnia et al., 2019).

روش تحقیق

محاسبه نیاز آبی

یکی از راه‌کارهای افزایش کارایی مصرف آب در تولید محصولات کشاورزی، برآورد میزان آب مصرفی گیاه از طریق محاسبه مقادیر تبخیر و تعرق (Et_0) است (Allan, 1998). تبخیر وتعرق یکی از پارامترهای مهم مورد نیاز برای محاسبهٔمقادیر نیاز آبی محصولات کشاورزی است. برآورد صحیح مقادیر تبخیر و تعرق برنامه ریزان را قادر می سازد تا با مشخص کردن نیاز آبی، علاوه بر تأمین بخشی از نیاز از طریق بارش و نهایتاً بارش مؤثر، به‌دنبال فراهم آوردن بقیه نیاز آبی از سایر منابع آب همانند رودخانه‌ها، سدها و چاه‌ها باشند (Hoekstra, 2003). سازمان هواشناسی جهانی از بین روش‌های متداول در محاسبه تبخیر و تعرق، معادله فائو-پنمن-مونتیث[2] را توصیه کرده است (Panahi et al., 2012). به همین دلیل در این مطالعه برای به‌دست آوردن تبخیر و تعرق از این معادله استفاده شد (Allen et al., 1994; Allan, 1998;):

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (۱)$$

که:

ET_0، تبخیر-تعرق مرجع (میلی‌متر بر روز)، R_n، تابش خالص خورشید در سطح پوشش گیاهی (مگاژول بر متر مربع در روز)، G، جریان حرارت خاک (مگاژول بر متر مربع در روز)، T، میانگین دمای هوای روزانه (سانتی‌گراد)، U_2، سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)، e_s، فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال)، e_a، فشار بخار واقعی هوا (کیلوپاسکال)، $e_s - e_\alpha$، کسری فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)، Δ، شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد) و γ، ظریب رطوبتی (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد) می‌باشد (Allen et al., 1994).

پس از محاسبه تبخیر-تعرق مرجع، مقدار تبخیر-تعرق محصول (ET_C) از طریق معادله (۲) محاسبه شد (Rafiee et al., 2016):

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (۲)$$

در معادله (۲)، K_c متوسط ضریب گیاهی است که با درنظر گرفتن موقعیت آب و هوایی، تاریخ کاشت و دوره رشد گیاه تعیین می‌شود.

پس از محاسبه تبخیر-تعرق ، مقدار نیاز آبی (CWR) از طریق معادله (۳) محاسبه شد (Hoekstra and Hung, 2002):

$$CWR = ET_c \times A \quad (۳)$$

در معادله (۳)، A سطح زیر کشت می‌باشد. در این تحقیق به‌منظور تعیین نیاز آبی گیاه (CWR)، از پارامترهای حداقل و حداکثر دمای ماهانه، بارندگی ماهانه، رطوبت نسبی، تعداد ساعات آفتابی در روز، سرعت باد، ضریب گیاهی، بارش موثر و تبخیر و تعرق مرجع در محیط نرم‌افزار CROPWAT ورژن ۸ برای کل طول مراحل رشد گیاه استفاده شد.

به‌منظور محاسبه حجم آب مجازی (متر مکعب بر کیلوگرم) مصرف شده جهت تولید محصولات کشاورزی در شهرستان خاش از معادله (۴) استفاده شد (Hoekstra and Hung., 2002):

$$VWC = \frac{CWR}{Y} \quad (۴)$$

که در معادله (۴) CWR نیاز آبی محصول (متر مکعب آب به ازای هر هکتار) و Y متوسط عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) است. اگر حجم آب مجازی تخمین زده شده برای هر محصول، بیشتر از ۱ مترمکعب بر کیلوگرم باشد، آن محصول در رده محصولات پرمصرف قرار می‌گیرد و اگر کمتر از ۱ متر مکعب بر کیلوگرم باشد، جزء محصولات کم‌مصرف قرار دارد و این نکته برای تمامی محصولات زراعی و باغی صادق است (Hoekstra, 2017). سپس ردپای آب آبی و ردپای آب سبز، تولید محصولات کشاورزی شهرستان خاش توسط چهارچوب پیشنهاد شده توسط Hoekstra et al (2011) و Ababaei and Etedali (2014) محاسبه شد.

محاسبه کارایی

تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) یک روش برنامه‌ریزی خطی به‌منظور محاسبه کارایی واحدهای تصمیم گیرنده یا (DMU) است (Yangdong et al., 2020). مدل ابتدایی تحلیل پوششی داده‌ها دارای فرض بازده به مقیاس ثابت است که توسط چارنز، کوپر و رودز تحت عنوان مدل (CCR) در سال ۱۹۷۸ معرفی شد (Wang et al., 2018). DEA بعدها توسط بنکر و همکاران[3] (BCC) با فرض بازده به مقیاس متغیر توسعه داده شد که تحت عنوان مدل BCC تعریف

1- De Martonne
2- FAO Penman-Monteith
3-(Banker et al., 1984)

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شود (Ganji et al., 2018). در این تحقیق از مدل BCC با فرض بازده به مقیاس متغیر به‌منظور ارزیابی کارایی مصرف آب محصولات کشاورزی شهرستان خاش بهره گرفته شد.

مدل BCC

مدل BCC دارای دو حالت با ماهیت‌های ورودی یا خروجی هستند به‌این معنی که می‌توان تعیین کرد که کارایی واحد تصمیم‌گیرنده بر اساس شرایط ورودی‌ها یا خروجی‌ها ارزیابی شود (Geng et al., 2019). یک مجموعه با n واحد تصمیم گیرنده (DMU) را در نظر بگیرید که هر DMU_j از $(j=1,...,n)$ m ورودی x_{ij} $(i=1,...,m)$ برای تولید s خروجی y_{rj} $(r=1,...,s)$ استفاده می‌کند. فرض کنید بردارهای ورودی و خروجی برای هر DMU_j که $j=1,...n$ به‌صورت (x_j, y_j) نمایش داده شود، به‌طوری که برای هر j، مؤلفه‌های این بردار نامنفی باشند و حداقل یک مؤلفه‌ی هر بردار ورودی و حداقل یک مؤلفه‌ی هر بردار خروجی مثبت باشد. مجموعه همه‌ی (x, y) های شدنی را مجموعه‌ی امکان تولید[1] (PPS) نامیده و با T نشان می‌دهند که به‌صورت زیر تعریف می‌شود (Ren et al., 2017):

$T = \{(x, y) \mid$ ورودی x بتواند خروجی y را تولید کند$\}$

به‌منظور سنجش کارایی نیازمند توسعه مجموعه امکان تولید یا PPS می‌باشیم. این مجموعه امکان تولید، مجموعه تمامی واحدهای تصمیم‌گیری می‌باشد که تولید آنها شدنی باشد. یعنی یک واحد تصمیم‌گیری با بردار ورودی x قادر به تولید خروجی y باشد (Andersen and Petersen., 1993).

برای تشخیص محل قرار گرفتن یک DMU به‌صورت تحلیلی یا ریاضی بدین صورت عمل می‌کنیم که با ثابت نگه داشتن خروجی آن، ورودی‌های آن را تا آنجا که ممکن است کاهش می‌دهیم. این کاهش تا آنجایی ادامه می‌یابد که از مجموعه نقاط عضو PPS خارج نگردد. اگر چنین کاهشی امکان پذیر باشد، یعنی بتوانیم با ثابت نگه داشتن خروجی آن ورودی‌های آن را کاهش داده و همچنان در PPS قرار داشته باشیم بیانگر این است که واحد تصمیم‌گیری مورد نظر درون مجموعه PPS قرار داشته و غیر کارا می‌باشد. چون یک واحد تصمیم‌گیری عضو PPS قرار دارد که با خروجی‌های آن اما با ورودی‌های کمتر باشد که نشان دهنده غلبه نمودن کارایی DMU مورد نظر می‌باشد. اما برای کاهش ورودی‌ها از یک ضریب θ استفاده می‌کنیم ($0 \le \theta \le 1$) چون با ضرب یک ضریب کوچکتر از یک در ورودی‌های آن در حقیقت ورودی‌های آن را کاهش داده‌ایم.

بنابراین دنبال حداقل مقدار θ می‌باشیم.

(حداکثر میزان کاهش) به‌شرط آنکه واحد تصمیم‌گیری جدید با ورودی‌های θx_o و خروجی‌های y_o همچنان عضوی از مجموعه امکان تولید یا امکان PPS باشد. اما از قبل می‌دانیم اگر یک DMU عضوی از PPS باشد، می بایست ضرایب λ_j وجود داشته باشد به‌طوری‌که داشته باشیم.

(۵)

$$\lambda_j \ge 0$$

به این مدل BCC با ماهیت ورودی گفته می‌شود (Banker et al., 1996):

(۶)

$$\begin{aligned} &min\ \theta \\ &s.t.\ \theta x_o \ge \lambda_j x_j, \\ &\quad y_o \le \lambda_j y_j \\ &\quad \textstyle\sum_{j=1}^{n}\ \lambda_j = 1 \\ &\quad \lambda_j \ge 0 \end{aligned}$$

اگر پس از حل مدل BCC ورودی محور مقدار بهینه θ برابر یک یعنی $\theta^* = 1$ گردد، نشان‌دهنده این است که هیچ مقدار کاهشی در ورودی‌ها با ثابت نگه داشتن خروجی‌ها امکان پذیر نمی‌باشد. یعنی واحد تحت ارزیابی بر روی مرز کارا قرار داشته است و دارای کارایی ۱ یا ۱۰۰٪ می‌باشد. اما اگر $\theta^* \le 1$ باشد، نشان دهنده این است که می‌توان با ثابت نگه داشتن خروجی‌ها مقدار ورودی‌ها را به‌میزان $100\%(\theta - 1)$ کاهش داد. بنابراین واحد تحت امر ارزیابی بر روی مرز قرار نداشته و ناکارا می‌باشد. $100\% * \theta^*$ نشان‌دهنده اندازه کارایی واحد می‌باشد که در حالت ناکارایی این اندازه از ۱۰۰ کمتر خواهد بود و می‌بایست برای رسیدن به کارایی ورودی‌ها را با فرض ثابت نگه داشتن خروجی‌ها به میزان $100\%(\theta - 1)$ کاهش داد (Lertworasirikul et al., 2011).

روش رتبه‌بندی منصفانه[2] (FRM)

ازجمله مهم‌ترین ضعف‌های مدل‌های DEA ضعف آن‌ها در رتبه‌بندی واحدهای کارای غیر راسی و غیرکارا است (Khodabakhshi and Aryavash., 2014). در سال ۲۰۱۲، خدابخشی و آریا وش[3] مدلی برای رتبه‌بندی تمام واحدها در تحلیل پوششی داده‌ها ارائه کردند. برای این منظور ابتدا با تعریف حداقل و حداکثر کارایی برای هریک از DMUها، با مد نظر قرار دادن این فرض که مجموع مقادیر کارایی برای تمام واحدها برابر واحد باشد، کارایی‌های هریک از واحدها محاسبه می‌شود. سپس رتبه هر واحد به تناسب ترکیب مقادیر کارایی آن‌ها محاسبه می‌شود

1- Possibility Production Set

2- Fairly Ranking Method

3- Khodabakhshi and Aryavash

www.SID.ir

Archive of SID

(Khodabakhshi and Aryavash, 2012).

فرض کنید n واحد تصمیم‌گیرنده DMU_j (j=1,…, n) موجود باشند. با فرض اینکه مجموع میزان کارایی تمام واحدها برابر واحد باشد، می‌خواهیم کارایی DMU_o (θ_o) را محاسبه کنیم. معمولاًحاصل جمع وزن‌دار شده خروجی‌ها تقسیم بر حاصل جمع وزن‌دار شده ورودی‌ها به‌عنوان کارایی واحد تحت ارزیابی بیان می‌شود. با در نظر گرفتن v_i و u_r به‌عنوان وزن‌های ورودی‌ها و خروجی‌ها، مفروضات و تعریف بالا به‌صورت زیر است (Khodabakhshi and Aryavash., 2012).

(۷)

$$\theta_j = \frac{\sum_{r=1}^{s} y_{rj}u_r}{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}v_i} \quad j = 1, \dots, n$$
$$s.t. \sum_{j=1}^{n} \theta_j = 1,$$

معادله (۷) را نمی‌توان برای محاسبه مقادیر واحد کارایی استفاده کرد اما می‌توان حداقل و حداکثر آن را به‌صورت زیر محاسبه کرد.

(۸)

$$min \ , max \ \theta_o$$
$$s.t. \theta_j = \frac{\sum_{r=1}^{s} y_{rj}u_r}{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}v_i} \quad j = 1, \dots, n,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \theta_j = 1,$$
$$u_r, v_i, \theta_j \geq 0, \forall i, r, j.$$

برای محاسبه مینیمم کارایی واحد تحت ارزیابی θ_o^{min} و ماکسیمم آن θ_o^{max} مدل باید دو بار اجرا شود. همانگونه که مشخص است مدل غیر خطی است و می‌توان آن را به‌صورت برنامه‌ریزی خطی زیر نوشت.

(۹)

$$min \ , max \sum_{r=1}^{s} y_{ro}u_r$$
$$s.t. \sum_{i=1}^{m} x_{io}v_i = 1,$$
$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij}v_i\theta_j - \sum_{r=1}^{s} y_{rj}u_r = 0 \qquad j = 1, \dots, n,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \theta_j = 1$$
$$u_r, v_i, \theta_j \geq 0, \forall i, r, j.$$

با تبدیل $v_i\theta_j = w_{ij}$ مسئله برنامه‌ریزی خطی زیر بدست می‌آید:

(۱۰)

$$min \ , max \sum_{r=1}^{s} y_{ro}u_r$$
$$\sum_{i=1}^{m} x_{io}v_i = 1,$$
$$s.t. \sum_{i=1}^{m} x_{ij}w_{ij} - \sum_{r=1}^{s} y_{rj}u_r = 0 \qquad j = 1, \dots, n$$
$$\sum_{j=1}^{n} w_{ij} = v_i \qquad i = 1, \dots, m,$$
$$u_r, v_i, \theta_j \geq 0, \forall i, r, j.$$

برای هر DMU مینیمم و ماکسیمم θ_j با استفاده از مدل (۱۰) بدست می‌آید. پس برای هر θ_j بازه زیر را داریم.

(۱۱)

$$\theta_j^{min} \leq \theta_j \leq \theta_j^{max}$$

حال بازه‌ها را به‌صورت ترکیب محدب زیر می‌نویسیم.

(۱۲)

$$\theta_j = \theta_j^{min}\lambda_j + (1 - \lambda_j)\theta_j^{max}$$

برای تعیین کارایی هریک از واحدها به‌صورت منصفانه، کارایی باید به تناسب بازه‌ها تعین شود به این منظور باید λ_j به‌طور مساوی تعین شوند. از طرف دیگر برای هر j ما این فرض را داریم که $\sum_{j=1}^{n} \theta_j = 1$، پس برای بدست آوردن کارایی منصفانه λ کافی است دستگاه زیر حل شود (Khodabakhshi and Aryavash., 2012).

(۱۳)

$$\begin{cases} \theta_j = \theta_j^{min}\lambda + (1 - \lambda)\theta_j^{max} \\ \sum_{j=1}^{n} \theta_j = 1 \end{cases}$$

پس مقدار λ به صورت زیر تعیین می‌شود:

(۱۴)

$$\lambda = \frac{1 - \sum_{j=1}^{n} \theta_j^{max}}{\sum_{j=1}^{n} (\theta_j^{min} - \theta_j^{max})}$$

داده‌های مورد نیاز

در این تحقیق از داده‌های اقلیمی شامل متوسط حداقل دمای ماهیانه، متوسط حداکثر دمای ماهیانه، میزان بارندگی، درصد رطوبت نسبی، سرعت باد و تعداد ساعات آفتابی در روز به‌منظور محاسبات مربوط به نیاز آبی، آب مجازی و ردپای مصرف آب استفاده شد. آمار و اطلاعات مورد نیاز از سازمان هواشناسی استان سیستان و بلوچستان برای شهرستان خاش جمع‌آوری شد. داده‌های مربوط به سطح زیرکشت، تولید، عملکرد، میزان مصرف بذر در هکتار و میزان کود مصرف شده از سازمان جهاد کشاورزی استان سیستان و بلوچستان برای سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ دریافت شد. در مدل تحلیل پوششی داده‌های تحقیق حاضر متغیرهای ورودی شامل: مصرف آب آبی، مصرف آب سبز، سطح زیرکشت، میزان مصرف بذر و میزان مصرف کود می‌باشد. متغیرهای خروجی نیز شامل عملکرد و محتوای آب مجازی به‌تفکیک هر محصول است.

نتایج

تولید، عملکرد و سطح زیر کشت

اطلاعات مربوط به میزان تولید، عملکرد و سطح زیر کشت محصولات کشاورزی شهرستان خاش در دوره زمانی مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است. مجموع سطح زیر کشت محصولات مورد بررسی در شهرستان خاش ۱۹/۵ هزار هکتار می‌باشد که از این مقدار، ۴۱ درصد به تولید محصول گندم، ۱۵ درصد به تولید محصول ذرت دانه‌ای، ۱۰ درصد به تولید محصول جو و ۷ درصد به تولید محصول

www.SID.ir

Archive of SID

خرما اختصاص دارد. محصولات گندم، جو، ذرت‌دانه‌ای و خرما مهم‌ترین محصولات کشاورزی منطقه مورد مطالعه می‌باشند و بیشترین سطح زیر کشت را در بین سایر محصولات دارند. در دوره زمانی تحقیق بیشترین حجم تولید مربوط به محصولات ذرت علوفه‌ای و گندم می‌باشد و محصولات سورگوم، ذرت علوفه‌ای و سیب‌زمینی بیشترین عملکرد در واحد سطح را دارند.

جدول ۱- عملکرد، تولید و سطح زیر کشت محصولات کشاورزی شهرستان خاش

نام محصول	سطح زیرکشت (هکتار)	سهم در سطح زیرکشت	تولید (تن)	عمکرد (کیلوگرم بر هکتار)
گندم	۸۰۰۰	٪ ۴۱	۲۸۰۰۰	۳۵۰۰
جو	۲۰۰۰	٪ ۱۰	۴۴۰۰	۲۲۰۰
برنج	۳۹۵	٪ ۲	۱۹۷۵	۵۰۰۰
ذرت دانه‌ای	۲۹۳۰	٪ ۱۵	۱۴۶۵۰	۵۰۰۰
سیب‌زمینی	۳۰۰	٪ ۲	۱۰۵۰۰	۳۵۰۰۰
پیاز	۳۳۰	٪ ۲	۱۰۵۵۰	۳۱۹۷۰
گوجه فرنگی	۲۵۵	٪ ۱	۷۲۰۰	۲۸۲۳۵
بادمجان	۱۷۰	٪ ۱	۴۲۵۰	۲۵۰۰۰
خربزه و هندوانه	۶۵۰	٪ ۳	۱۸۱۰۰	۴۶۰۰۰
یونجه	۱۲۰۰	٪ ۶	۲۵۰۰۰	۲۰۸۳۳
ذرت علوفه‌ای	۱۰۰۰	٪ ۵	۴۷۰۰۰	۴۷۰۰۰
سورگوم	۴۰۰	٪ ۲	۲۰۰۰۰	۵۰۰۰۰
انگور	۴۳۵/۰۵	٪ ۲	۵۰۹۰	۱۱۷۰۰
خرما	۱۴۵۰	٪ ۷	۸۹۷۴	۶۱۸۹

منبع: سازمان جهاد کشاورزی استان سیستان و بلوچستان

در جدول ۲ نتایج حاصل از بررسی تبخیر و تعرق، نیاز آبیاری، بارش موثر و محتوای آب مجازی مصرف آب محصولات کشاورزی شهرستان خاش ارائه شده است. از جمله عوامل موثر بر محاسبه بارش موثر، می‌توان به میزان بارندگی در فصل رویش محصولات، ضریب گیاهی محصولات، تبخیر و تعرق و میزان رطوبت در منطقه اشاره کرد. در این تحقیق بین روش‌های متداول در جهت برآورد بارش موثر، از روش حفاظت خاک امریکا استفاده شد. بدین منظور با استفاد از روش پنمن مانتیث میزان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع محاسبه، سپس با احتساب بر ضریب گیاهی هر محصول، بارش موثر محاسبه شد. طبق نتایج جدول ۲ مشخص شد میانگین بارندگی موثر برای کل فرایند رشد و تولید محصولات کشاورزی شهرستان خاش ۱۵۵/۶۶ میلی‌متر می‌باشد که با نتایج تحقیق رحیمی و همکاران (۱۳۸۸) همخوانی دارد. رحیمی و همکاران (۱۳۸۸) میانگین بارندگی موثر جهت تولید محصولات کشاورزی در شهرستان خاش را ۱۶۳/۳ میلی‌متر محاسبه کردند. همچنین به‌طور متوسط ۲۰/۱۵ درصد از کل نیاز آبی محصولات کشاورزی شهرستان خاش توسط بارندگی تامین و ۷۹/۸۵ درصد از کل نیاز آبی محصولات کشاورزی شهرستان خاش از طریق آبیاری صورت می‌گیرد که با نتایج Karandish مطابقت دارد (Karandish et al., 2018).

نیاز آبیاری گیاه برابر با نیاز آبی منهای باران موثر می‌باشد. برآورد نیاز آبیاری، از مهم‌ترین عوامل موثر در افزایش کارایی مصرف آب و از ضروریات تحقیقات مدیریت منابع آب به‌شمار می‌رود. در این راستا در این تحقیق نیاز آبیاری محصولات کشاورزی خاش در محیط نرم افزار CROPWAT محاسبه و در جدول ۲ ارائه شد. محصول خرما بیشترین نیاز آبیاری را در بین محصولات کشاورزی شهرستان خاش دارد به‌طوری که نیاز آبیاری این محصول ۲۱۳۷/۵ میلی‌متر در دوره رشد محاسبه شد. سازمان جهاد کشاورزی (۱۳۷۸) در گزارشی متوسط نیاز آبی محصول خرما در استان سیستان و بلوچستان را ۲۰۴۷ میلی‌متر محاسبه کرده است که نشان می‌دهد مدل به خوبی توانسته نیاز آبی محصولات را در منطقه مورد بررسی برآورد کند و نیاز آبیاری مابقی محصولات در جدول ۲ ارائه شده است.

محتوای آب مجازی (VWC) یک محصول نشان دهنده کل آب مصرف شده توسط محصول در طول فرایند رشد می باشد. اگر VWC بزرگتر از ۱ باشد از نظر مقدار مصرف آب، در رده محصولات پر مصرف و اگر کوچتر از ۱ باشد در رده محصولات کم مصرف قرار می‌گیرد. در جدول ۲ بیشترین میزان آب مجازی مربوط به محصولات خرما، برنج، گندم و جو می‌باشد و جزء محصولات پرمصرف قرار می‌گیرند و کمترین میزان مربوط به محصول سورگوم با ۷۴ مترمکعب بر تن می‌باشد که دلیل آن عملکرد بالای محصول سورگوم در هکتار می‌باشد. همچنین متوسط آب مجازی محصولات کشاورزی شهرستان خاش ۸۵۳ متر مکعب بر تن محاسبه شد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- تبخیر و تعرق واقعی و نیاز آبیاری محصولات زراعی شهرستان خاش (میلی‌متر)

نام محصول	ET_c (mm)	Eff_{Rain} (mm)	Irr_{Req} (mm)	محتوای آب مجازی (m^3/ton)
گندم	۳۶۸/۶	۱۵۵/۴	۲۲۶/۱	۱۰۵۳
جو	۳۵۱/۵	۱۵۰/۶	۲۱۲/۹	۱۵۹۸
برنج	۵۵۱/۶	۱۵۲/۶	۸۱۴/۶	۱۱۰۳
ذرت دانه ای	۳۷۵/۶	۱۵۳/۳	۲۳۳/۱	۷۵۱
سیب زمینی	۴۵۲/۸	۱۵۵/۴	۳۱۰	۱۲۹
پیاز	۱۸۸۴/۹	۱۵۸/۶	۱۷۴۲/۸	۵۹۰
گوجه فرنگی	۸/۵۷۵	۱۵۸/۴	۴۳۴/۸	۲۰۴
بادمجان	۲۷۴/۲	۱۳۴	۱۵۷/۲	۱۱۰
خربزه و هندوانه	۶۹۵/۶	۱۵۸/۲	۵۶۵/۷	۴۳۵
یونجه	۱۸۰۷/۳	۱۶۴/۲	۱۷۲۳	۸۶۸
ذرت علوفه ای	۳۹۴/۹	۱۵۵/۱	۲۵۰/۹	۸۴
سورگوم	۳۶۷/۶	۱۵۵/۱	۲۳۱/۸	۷۴
انگور	۱۵۰۶/۲	۱۶۴/۲	۱۴۳۱/۴	۱۲۸۷
خرما	۲۲۶۹	۱۶۴/۲	۲۱۳۷/۵	۳۶۶۶

منبع: محاسبات محقق

ردپای آب

ردپای آب نشان‌دهنده‌ی میزان آب مصرف شده به ازای هر کیلوگرم محصول تولیدی به‌تفکیک منابع آب می‌باشد. متوسط ردپای آب آبی محصولات کشاورزی شهرستان خاش ۰/۷۱ مترمکعب بر کیلوگرم می‌باشد. بدین معنی که برای تولید ۱ کیلوگرم محصول کشاورزی در شهرستان خاش به‌طور متوسط ۰/۷۱ متر مکعب آب از منابع سطحی و زیر زمینی آب برداشت می‌شود. همچنین متوسط ردپای آب سبز نیز ۰/۲۱ متر مکعب بر کیلوگرم محاسبه شد. نتایج ردپای آب در تحقیق حاضر با نتایج Karandish et al (2018) مطابقت دارد (Karandish et al., 2018). Karandish et al (2018) نشان دادند آبیاری محصولات باغی در استان سیستان و بلوچستان عمدتا از طریق آب آبی انجام می‌شود و سهم آب سبز در آبیاری محصولات کشاورزی این استان کم است (Karandish et al., 2018). بیشترین مصرف آب آبی مربوط به محصول خرما و برنج بود که به‌دلیل نیاز آبی بالای این محصولات در این استان می‌باشد. سورگوم، ذرت علوفه‌ای و بادمجان کمترین میزان مصرف آب آبی را داشتند که بررسی منابع نشان داد این محصولات از عملکرد بالایی در تولید برخوردار بودند. مجموع آب مصرف شده جهت تولید محصولات کشاورزی در شهرستان خاش ۱۳۳/۵۵۴ میلیون متر مکعب برآورد شد. بیشترین میزان مصرف آب مربوط به محصول خرما با ۳۰/۹۹۳ میلیون مترمکعب معادل ۲۴/۹۹ درصد و بعد از آن محصول گندم ۳۰/۵۲۰ میلیون متر مکعب معادل ۲۲/۸۵ درصد می‌باشد که از دلایل آن محصول گندم ۴۱ درصد از کل سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در منطقه مورد مطالعه را دارد. محصول بادمجان به‌دلیل سطح زیر کشت پایین و عملکرد بالا کمترین میزان مصرف آب ۰/۴۹۵ میلیون متر مکعب معادل ۰/۳۷ درصد را دارد.

کارایی

محدودیت در دسترس بودن آب برای تولید محصولات کشاورزی، محققان را ترغیب کرده تا به بررسی کارایی مصرف آب در مناطق مختلف بپردازند. نتایج مربوط به کارایی مصرف آب محصولات کشاورزی شهرستان خاش در جدول ۵ ارائه شده است. کارایی هر واحد تصمیم‌گیرنده بین ۰ و ۱ یا ۰ و ۱۰۰ درصد می‌باشد. اگر ۱ باشد به مفهوم کارا و اگر غیر از ۱ باشد به مفهوم ناکارا می‌باشد. میانگین کارایی مصرف آب محصولات کشاورزی شهرستان خاش ۷۰/۸ درصد محاسبه شد که با نتایج تحقیق صبوحی و همکاران (۱۳۸۹) مطابقت دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- ردپای مصرف آب محصولات زراعی و باغی شهرستان خاش

نام محصول	مصرف آب سبز (m^3/kg)	مصرف آب آبی (m^3/kg)
گندم	۰/۴۴	۰/۶۵
جو	۰/۶۸	۰/۹۷
برنج	۰/۳۱	۱/۶۳
ذرت دانه‌ای	۰/۳۱	۰/۴۷
سیب زمینی	۰/۰۴	۰/۰۹
پیاز	۰/۰۵	۰/۵۵
گوجه فرنگی	۰/۰۶	۰/۱۵
بادمجان	۰/۰۵	۰/۰۶
خربزه و هندوانه	۰/۱۰	۰/۳۵
یونجه	۰/۰۸	۰/۸۳
ذرت علوفه ای	۰/۰۳	۰/۰۵
سورگوم	۰/۰۳	۰/۰۵
انگور	۰/۱۴	۱/۲۲
خرما	۰/۲۷	۳/۴۵
میانگین	۰/۲۱	۰/۷۱

منبع: محاسبات محقق

جدول ٤- میزان مصرف آب تولید محصولات زراعی و باغی شهرستان خاش

نام محصول	مصرف آب سبز (مترمکعب)	مصرف آب آبی (مترمکعب)	کل مصرف آب (مترمکعب)	سهم از کل مصرف آب (درصد)
گندم	۱۲۴۳۲۰۰۰	۱۸۰۸۸۰۰۰	۳۰۵۲۰۰۰۰	۲۲/۸۵
جو	۳۰۱۲۰۰۰	۴۲۵۸۰۰۰	۷۲۷۰۰۰۰	۵/۴۴
برنج	۶۰۲۷۷۰	۳۲۱۷۶۷۰	۳۸۲۰۴۴۰	۲/۸۶
ذرت دانه ای	۴۴۹۱۶۹۰	۶۸۲۹۸۳۰	۱۱۳۲۱۵۲۰	۸/۴۸
سیب زمینی	۴۶۶۲۰۰	۹۳۰۰۰۰	۱۳۹۶۲۰۰	۱/۰۵
پیاز	۵۲۳۳۷۵/۱	۵۷۵۱۱۸۵/۵	۶۲۷۴۵۶۰/۵	۴/۷۰
گوجه فرنگی	۴۰۳۹۲۴/۲	۱۱۰۸۷۵۱/۶	۱۵۱۲۶۷۵/۸	۱/۱۳
بادمجان	۲۲۷۸۰۰	۲۶۷۲۴۰	۴۹۵۰۴۰	۰/۳۷
خربزه	۱۵۸۲۰۰	۵۶۵۷۰۰	۷۲۳۹۰۰	۰/۵۴
هندوانه	۶۳۹۶۵۰	۶۱۸۲۰۰	۱۲۵۷۸۵۰	۰/۹۴
یونجه	۱۹۷۰۴۳۱/۶	۲۰۶۷۶۳۳۰/۹	۲۲۶۴۶۷۶۲/۴	۱۶/۹۶
ذرت علوفه ای	۱۵۵۱۰۰۰	۲۵۰۹۰۰۰	۴۰۶۰۰۰۰	۳/۰۴
سورگوم	۶۲۰۴۰۰	۹۲۷۲۰۰	۱۵۷۴۶۰۰	۱/۱۶
انگور	۷۱۴۳۴۰/۲	۶۲۲۷۲۰۱/۷	۶۹۴۱۵۴۱/۹	۵/۲۰
خرما	۲۳۸۰۸۸۶/۸	۳۰۹۹۳۵۷۷/۳	۳۳۳۷۴۴۶۴/۱	۲۴/۹۹
مجموع	۳۰۲۷۱۹۹۸/۲	۱۰۳۲۸۲۸۸۰/۶	۱۳۳۵۵۴۸۷۸/۸	۱۰۰

منبع: محاسبات محقق

صبوحی و همکاران (۱۳۸۹) میانگین کارایی در مصرف آب محصولات کشاورزی استان سیستان و بلوچستان را با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها ۷۱ درصد محاسبه کردند. همچنین نتایج نشان داد محصولات گندم، جو، برنج، انگور و خرما در مصرف آب ناکارا می‌باشند. کمترین میزان کارایی در مصرف آب مربوط به محصول خرما می‌باشد به‌طوری که نمره کارایی این محصول ۰/۰۶۲ محاسبه شد. محصولات ذرت‌دانه‌ای، سیب زمینی، پیاز، گوجه فرنگی، بادمجان، خربزه و هندوانه، یونجه، ذرت علوفه‌ای و سورگوم جزء

www.SID.ir

Archive of SID

محصولات کارا قرار گرفتند. به دلیل ضعفی که روش DEA در رتبه‌بندی واحدهای کارا دارد در این تحقیق از روش FRM جهت رتبه‌بندی و تعیین میزان رتبه کارایی مصرف آب محصولات کشاورزی شهرستان خاش استفاده شد. محصولات سورگوم، ذرت علوفه‌ای و بادمجان بیشترین میزان کارایی در مصرف آب را دارند و در رتبه‌های اول تا سوم قرار می‌گیرند و محصولات خرما، جو، انگور و گندم کمترین میزان کارایی مصرف آب را داشتند. امباوا و همکاران نشان دادند در سطح جهانی محصولات سورگوم و ذرت علوفه‌ای از کارایی بالایی در مصرف آب برخوردارند (Mbava et al., 2020). بر اساس نتایج مشخص شد بین کارایی مصرف آب و ردپای مصرف آب ارتباط نزدیکی وجود دارد. مقایسه ردپای آب و مصرف آب ارائه شده در جداول ۳ و ۴ با میزان کارایی نشان داد محصولات ناکارا میزان مصرف آب و ردپای آب بالایی داشتند. محصول خرما بیشترین میزان مصرف آب (۲۴/۹۹ درصد) و ردپای آب را دارد و بررسی کارایی با استفاده از روش‌های DEA و FRM نشان داد در بین محصولات کشاورزی مورد بررسی از پایین‌ترین میزان کارایی در مصرف آب برخوردار بود.

جدول ۵- نمرات کارایی محصولات کشاورزی شهرستان خاش

محصول	DEA	FRM
گندم	۰/۲۹۴	۰/۰۰۶
جو	۰/۱۱۸	۰/۰۰۱
برنج	۰/۲۴۰	۰/۰۰۳
ذرت دانه‌ای	۱	۰/۰۲۷
سیب‌زمینی	۱	۰/۱۴۳
پیاز	۱	۰/۰۸۹
گوجه فرنگی	۱	۰/۰۱۳
بادمجان	۱	۰/۰۱۴
خربزه و هندوانه	۱	۰/۱۱۶
یونجه	۱	۰/۰۲۴
ذرت علوفه‌ای	۱	۰/۱۴۶
سورگوم	۱	۰/۱۵۳
انگور	۰/۲۰۲	۰/۰۰۲
خرما	۰/۰۶۲	۰/۰۰۰

منبع: محاسبات محقق

نتیجه‌گیری

در این تحقیق هدف محاسبه کارایی مصرف آب محصولات کشاورزی در شهرستان خاش تحت رویکرد آب مجازی و استفاده از آب آسبز و آب آبی می‌باشد. در این راستا میزان نیاز آبیاری محصولات کشاورزی برآورد شد و با توجه به‌اینکه بیشترین میزان بارندگی در استان سیستان و بلوچستان در شهرستان خاش صورت می‌گیرد، میزان بارندگی موثر در مراحل تولید محصولات کشاورزی شهرستان خاش نیز اندازه‌گیری شد. سپس محتوای آب مجازی و ردپای مصرف آب برای هر محصول برآورد و درنهایت با استفاده از روش‌های DEA و FRM کارایی و رتبه کارایی هر محصول ارائه شد. نتایج نشان داد در شهرستان خاش به‌طور متوسط ۲۰/۱۵ درصد از کل نیاز آبی محصولات کشاورزی توسط بارندگی و مابقی نیاز آبی توسط آبیاری تامین می‌شود. متوسط آب مجازی محصولات کشاورزی شهرستان خاش ۸۵۳ مترمکعب بر تن محاسبه شد که خرما بیشترین آب مجازی (۳۶۶۶ متر مکعب آب به ازای هر تن محصول) و کم‌ترین میزان آب مجازی مربوط به محصول سورگوم با (۸۴ متر مکعب آب به‌ازای هر تن محصول) می‌باشد. نتایج ردپای مصرف آب نشان داد در دوره زمانی تحقیق کل مقدار بهره‌برداری از منابع آب جهت تولید محصولات کشاورزی در شهرستان خاش ۱۳۳/۵۵۴ میلیون متر مکعب می‌باشد و برای تولید ۱ کیلوگرم محصول کشاورزی در شهرستان خاش به‌طور متوسط ۰/۷۱ متر مکعب آب از منابع سطحی و زیرزمینی برداشت می‌شود و میانگین کارایی در مصرف آب ۷۰/۸ درصد محاسبه شد. بیشترین و کمترین میزان کارایی در مصرف آب نیز به‌ترتیب مربوط به محصولات سورگوم و خرما بود. درنهایت مشخص شد بین کارایی مصرف آب و ردپای مصرف آب ارتباط نزدیکی وجود دارد. باتوجه به نتایج حاصل از این تحقیق پیشنهاد می‌شود به‌منظور افزایش کارایی در مصرف آب، آموزش‌های ترویجی لازم درخصوص نیاز آبی و مصرف آب

www.SID.ir

Archive of SID

محصولات مختلف به کشاورزان منطقه داده شود و الگوی کشت محصولات کشاورزی در شهرستان خاش مورد بازنگری قرار گیرد و به سمت محصولاتی با بهره‌وری مصرف آب بالاتر سوق داده شود.

منابع

بابائی، م.، مردانی، م. و سالارپور، م. ۱۳۹۳. محاسبه‌ی کارآیی آب در محصولات عمده‌ی کشاورزی شهرستان زابل :رهیافت تحلیل پوششی داده‌ها. پژوهش آب در کشاورزی. ۵۴۹-۵۴۱، (۳)۳ . ۲۸

حکمت نیا، م.، حسینی، م. و صفدری، م. ۱۳۹۹. مدیریت منابع آب کشاورزی استان سیستان و بلوچستان از دیدگاه آب مجازی. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران, ۱۱(۱), ۱۳۷-۱۴۹

دادمند، ف. و ناجی، ز. ۱۳۹۷. کاربست تحلیل پوششی داده فازی در ارزیابی کارایی تولید گندم مطالعه موردی: شهرستان تربت حیدریه. فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات اقتصاد کشاورزی. ۱۰(۳۷), ۸۷-۱۱۰.

رحیمی، د.، رحیمی، د.، موحدی، س.، موحدی، س. و برقی، ح. ۱۳۸۸. بررسی شدت خشکسالی با شاخص نرمال بارش (مطالعه موردی استان سیستان و بلوچستان. فصلنامه جغرافیا و برنامه ریزی محیطی. ۵۶-۴۳،(۴) ۲۰.

ریاحی، اندیشه. و یزدانی، س. ۱۳۹۷. ارزیابی کارایی فنی تعاونی‌های صید ماهیان استخوانی سواحل خزر با استفاده از روش تحلیل پوششی داده ها: مطالعه موردی استان مازندران. فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات اقتصاد کشاورزی, ۱۰(۳۸), ۴۹-۶۴.

سراج الدین، ا.، اردکانی، ا.، فهرستی، م. و نشاط، ا. ۱۳۹۵. تحلیل پویای کارایی فنی مصرف آب در محصول نیشکر (رهیافت تحلیل پوششی داده‌ها. ۱۸۸-۱۷۷، (۴)۱۰.

شهنوازی، ع. ۱۳۹۶. تعیین رتبه کارایی استان های کشور در تولید پیاز با استفاده از روش تحلیل پوششی داده ها. فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات اقتصاد کشاورزی, ۹(۳۳), ۱۴۵-۱۶۴.

صبوحی، م.، خنجری، سمیه. و کیخا، ا. ۱۳۸۹. بررسی کارایی مصرف آب در گل‌خانه‌های سیستان. مجله تقیقات اقتصاد کشاورزی. ۱۰۲-۹۰، (۳)۴.

گنجی، ن.، یزدانی، سعید. و صالح، ا. ۱۳۹۷. شناسایی عوامل مؤثر بر کارایی نهادهٔ آب در تولید گندم استان البرز (رویکرد تحلیل پوششی داده ها). تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران. ۱۳-۲۲، (۱)۴۹

Ababaei, B. and Etedali, H.R. 2014. Estimation of water footprint components of Iran's wheat production: Comparison of global and national scale estimates. Environmental processes, 1(3), 193-205.

Alizadeh, A. and Keshavarz, A. 2005. Status of agricultural water use in Iran. In Water conservation, reuse, and recycling: Proceedings of an Iranian-American workshop (Vol. 4, pp. 94-105). Washington DC, USA: National Academies Press.

Allan, J.A. 1998. Virtual water: a strategic resource. Ground water, 36(4), 545-547.

Allen, R.G., Smith, M., Perrier, A. and Pereira, L.S. 1994. An update for the definition of reference evapotranspiration. ICID bulletin, 43(2), 1-34.

Andersen, P. and Petersen, N.C. 1993. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. Management science, 39(10), 1261-1264.

Banker, R.D. and Thrall, R.M. 1992. Estimation of returns to scale using data envelopment analysis. European Journal of operational research, 62(1), 74-84.

Banker, R.D., Chang, H. and Cooper, W.W. 1996. Equivalence and implementation of alternative methods for determining returns to scale in data envelopment analysis. European journal of operational research, 89(3), 473-481.

Chebil, A., Abbas, K., and Frija, A. 2014. Water use efficiency in irrigated wheat production systems in central Tunisia: A stochastic data envelopment approach. Journal of Agricultural Science, 6(2), 63.

Deng, G., Li, L. and Song, Y. 2016. Provincial water use efficiency measurement and factor analysis in China: Based on SBM-DEA model. Ecological Indicators, 69, 12-18.

Faramarzi, M., Yang, H. X., Mousavi, J., Schulin, R., Binder, C.R. and Abbaspour, K.C. 2010. Analysis of intra-country virtual water trade strategy to alleviate water scarcity in Iran. Hydrology and Earth System Sciences, 14(8), 1417-1433.

Geng, Q., Ren, Q., Nolan, R.H., Wu, P. and Yu, Q. 2019. Assessing China's agricultural water use efficiency in a green-blue water perspective: A study based on data envelopment analysis. Ecological indicators, 96, 329-335.

Hekmatnia, M., Hosseini, S. and Safdari, M. 2019. Assessment of Water Use Status of Date Cultivation in Sistan and Balouchestan Province Based on the Concept of Virtual Water**.** Iranian Journal of Soil and Water Research**,** -. doi: 10.22059/ijswr.2019.289422.668322.

Hoekstra, A. 2010. The relation between international trade and freshwater scarcity (No. ERSD-2010-05). WTO Staff Working Paper.

www.SID.ir

Archive of SID

Water Management, 228, 105878.

Ministry of Jahad agriculture statistical yearbook. 2011. Statistic and information technology office, from https://www.maj.ir/

Mirmousavi, H., Panahi, H., Akbari, H. and Akbarzadeh, Y. 2012. Calibration Methods to Estimate Reference Crop Evapotranspiration and Calculated Potential Water Requirements of Olive Plant in Kermanshah Province. Geography and Sustainability of Environment**,** 2(2), 45-64.

Qasemipour, E., Abbasi, A. and Tarahomi, F. 2020. Water-Saving Scenarios Based on Input–Output Analysis and Virtual Water Concept: A Case in Iran. Sustainability, 12(3), 818.

Ren, C., Li, R. and Guo, P. 2017. Two-stage DEA analysis of water resource use efficiency. Sustainability, 9(1), 52.

Rusere, F., Soropa, G., Svubure, O., Gwatibaya, S., Moyo, D., Ndeketeya, A., and Mavima, G. A. 2012. Effects of deficit irrigation on winter silage maize production in Zimbabwe. International Research Journal of Plant Science, 3(9), 188-192.

Tien, N.D., Duyen, T.N.L., Thuy, P.T., Rañola Jr, R.F. and Thinh, N. A. 2019. Improving Irrigation Water Use Efficiency of Robusta Coffee (*Coffea canephora*) Production in Lam Dong Province, Vietnam.

Wang, S., Zhou, L., Wang, H. and Li, X. 2018. Water Use Efficiency and Its Influencing Factors in China: Based on the Data Envelopment Analysis (DEA) Tobit Model. Water, 10(7), 832.

Yangdong, C., Wang, Z. and Jinzheng, R. 2020. Efficiency Analysis of the Input for Water-Saving Agriculture in China. Water, 12(1), 207.

Hoekstra, A.Y. 2003. Virtual water trade: proceedings of the international expert meeting on virtual water trade, Delft, The Netherlands, 12-13 December 2002, Value of Water Research Report Series, No. 12.

Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. 2011. Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources. John Wiley & Sons.

Hoekstra, A.Y. and Mekonnen, M.M. 2012. The water footprint of humanity, P. Natl. Acad. Sci., 109, 3232–3237.

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Mekonnen, M. M. and Aldaya, M. M. 2011. The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Routledge.

Khodabakhshi, M. and Aryavash, K. 2012. Ranking all units in data envelopment analysis. Applied mathematics letters, 25(12), 2066-2070.

Khodabakhshi, M., and Aryavash, K. 2014. The fair allocation of common fixed cost or revenue using DEA concept. Annals of Operations Research, 214(1), 187-194.

Kuang, B., Lu, X., Zhou, M. and Chen, D. 2020. Provincial cultivated land use efficiency in China: Empirical analysis based on the SBM-DEA model with carbon emissions considered. Technological Forecasting and Social Change, 151, 119874.

Lertworasirikul, S., Charnsethikul, P. and Fang, S.C. 2011. Inverse data envelopment analysis model to preserve relative efficiency values: The case of variable returns to scale. Computers & Industrial Engineering, 61(4), 1017-1023.

Mbava, N., Mutema, M., Zengeni, R., Shimelis, H. and Chaplot, V. 2020. Factors affecting crop water use efficiency: A worldwide meta-analysis. Agricultural

www.SID.ir

Archive of SID
Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 14, Oct.-Nov. 2020, p. 1391-1403

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۴، مهر - آبان ۱۳۹۹، ص. ۱۴۰۳-۱۳۹۱

Application of Fairly Ranking Method in Determining the Water Use Efficiency of Agricultural Products under Virtual Water Approach (Case Study: Khash)

M. Dahmarde Ghaleno[1], M. Hekmatnia[2]*
Recived: May.03, 2020 Accepted: Jun.09, 2020

Abstract

Water scarcity is a prominent feature of arid and semi-arid regions that jeopardize agricultural production. Therefore, efficient management and use of water resources in agricultural production is essential. One way to manage and increase water use efficiency (WUE) in agriculture is to determine the amount of water used in the production process of agricultural crops, which is used to calculate the amount of water consumed in crop growth stages from the virtual water index. Therefore, the purpose of this study is to calculate the water use efficiency (WUE) of agricultural products in the Khash region under the virtual water and water footprint approach. Therefore, the water requirement was first obtained using the CROPWAT model. Then, the volume of virtual water, green water footprint, and blue water were calculated using Data Envelopment Analysis (DEA) to calculate water use efficiency. The results showed that 20.15% of the total water requirement of Khash agricultural crops is provided by green water and 79.85% by water. The virtual water content of crop production in this region is 853 m^3/ton and the water footprint shows the total amount of water harvested for agricultural production is 133.554 million m^3. The DEA results show that the average water use efficiency of crops in the Khash region is 70.8%. Corn, potato, onion, tomato, eggplant, melon and watermelon, alfalfa, forage corn, and sorghum with efficiency score 1 Component of efficient crops and dates, grapes, wheat, rice, and barley were among the inefficient products. Using the Fair Ranking Method (FRM) we found that the least efficiency was related to dates and the highest to sorghum product. Finally, it was found that products with a higher water footprint had a lower water use efficiency.

Keywords: Green water, Blue water, Water footprint, Effective precipitation, Efficiency

1- Tutor, Faculty Member of Higher Education Complex of Saravan, Saravan, Iran
2- Ph.D. Candidate of Agricultural Economic, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
(*- Corresponding Author Email: mehranhekmatnia@gmail.com)

www.SID.ir