نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۵، بهمن-اسفند ۱۴۰۰، ص. ۱۴۸۰-۱۴۶۹

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 15, Feb.-Mar. 2022, p. 1469-1480

مقاله علمی-پژوهشی

کارایی مصرف آب گندم از دیدگاه ردپای آب (مطالعه موردی: استان سیستان و بلوچستان)

مهدی صفدری[۱*]، مهران حکمت نیا[۲]، الهه خواجه داد میری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۰

چکیده

گندم یک محصول استراتژیک در ایران است. یکی از عمده‌ترین مخاطرات تولید گندم در ایران، کاهش کمیت و کیفیت منابع آب است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، بیش از ۹۰ درصد از تولید گندم از طریق آبیاری صورت می‌گیرد. بنابراین بهبود کارایی مصرف آب (WUE)[۴] در تولید گندم ضروری است. یکی از راه‌های اساسی برای افزایش کارایی مصرف آب در بخش کشاورزی، محاسبه مقدار آب مصرف‌شده در مراحل مختلف تولید است. ردپای آب روش جدیدی را برای ارزیابی میزان استفاده از منابع آب در تولید محصولات کشاورزی ارائه می‌دهد. بنابراین هدف این تحقیق بررسی کارایی مصرف آب گندم با تکیه بر مفهوم ردپای آب می‌باشد. بدین منظور ردپای آب تولید گندم با استفاده از چارچوب Hoekstra and Chapagain (2008) محاسبه شد. سپس برای محاسبه کارایی از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)[۵] و برای تعیین رتبه کارایی از روش رتبه‌بندی منصفانه (FRM)[۶] استفاده شد. منطقه مطالعاتی این تحقیق استان سیستان و بلوچستان و دوره زمانی تحقیق سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ است. نتایج ردپای آب نشان داد به‌طور متوسط برای تولید یک تن گندم در استان سیستان و بلوچستان، ۱۴۱۵/۸ مترمکعب آب مصرف می‌شود که ۸۳ درصد از کل مصرف آب از طریق بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و سطحی و ۱۷ درصد از طریق آب باران بوده است. کل میزان مصرف آب برای تولید گندم ۱۷۱/۰۳ میلیون مترمکعب می‌باشد. بیشترین میزان مصرف آب مربوط به شهرستان‌های زهک، زابل، دلگان و ایرانشهر و کمترین میزان مصرف آب مربوط به چابهار، سراوان، زاهدان و سرباز بود. متوسط کارایی در مصرف آب کشت گندم در استان سیستان و بلوچستان ۵۰/۹۲ درصد است که خاش و دلگان با نمره کارایی ۱ جزء شهرستان‌های کارا بودند. با استفاده از روش FRM دریافتیم بیشترین کارایی مربوط به دلگان، خاش و ایرانشهر و کمترین میزان کارایی در مصرف آب مربوط به زابل، زهک و سراوان بود.

واژه‌های کلیدی: آب سبز، آب آبی، آب مجازی، رتبه‌بندی

مقدمه

با افزایش جمعیت و توسعه اقتصادی – اجتماعی، بحران آب به یک مشکل بزرگ در سراسر جهان تبدیل شده است. حتی اگر آب یک منبع پایدار باشد، در دسترس بودن و کیفیت آب شیرین از نظر زمانی و مکانی بسیار متفاوت است. برای پاسخگویی به چالش‌های کمبود آب شیرین که بشریت طی پنجاه سال آینده با آن روبرو است، نیاز به کاهش چشم‌گیر مصرف آب در بخش کشاورزی وجود دارد (حکمت نیا و همکاران، ۱۳۹۹) زیرا آب یک منبع طبیعی محدودکننده برای تولید محصولات کشاورزی است و کشاورزی مصرف‌کننده اصلی آب شیرین در سراسر جهان است که تقریباً ۷۰ درصد از منابع جهانی آب را مصرف می‌کند. بهبود کارایی مصرف آب در این بخش می‌تواند مستقیماً به افزایش تأمین آب برای سایر مصارف کشاورزی و غیر کشاورزی کمک کند و باعث تولید پایدار محصولات کشاورزی در سراسر جهان شود؛ بنابراین یکی از راه‌کارهای اساسی برای مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی، افزایش کارایی مصرف آب می‌باشد (Wang, 2010).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، به دلیل میزان بارندگی ناچیز، کشاورزی به‌شدت وابسته به آبیاری و استحصال آب‌های زیرزمینی است. ایران با داشتن سرانه آب تجدیدشونده حدود ۱۶۰۰ مترمکعب جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان طبقه‌بندی می‌شود (حکمت نیا و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین بیش از ۶۵ درصد از کشور خشک، ۲۰ درصد نیمه‌خشک و بقیه دارای آب و هوای مرطوب یا نیمه مرطوب است. ایران در حال حاضر یکی از بزرگ‌ترین بهره‌برداران آب زیرزمینی در جهان است. بخش قابل‌توجهی از این

۱- دانشیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
۲- دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email:drsafdari.usb@gmail.com)
DOR: 20.1001.1.20087942.1400.15.6.20.0
4- Water Use Efficiency
5- Data Envelopment Analysis
6- Fairly Ranking Method

بهره‌برداری جهت تولید محصولات کشاورزی مصرف می‌شود (حدود ۹۰ درصد)؛ بنابراین آب جایگاه مهم و بدون جایگزینی در تولیدات کشاورزی ایران دارد (Faramarzi et al., 2010). محدودیت منابع آب و موضوع عدم تعادل بین عرضه و تقاضای آب در کشور، مدیریت آب را بغرنج کرده و افزایش تقاضا برای مواد غذایی باید از طریق تولید پایدار محصولات کشاورزی تأمین شود که این امر منجر به فشار بر منابع آب می‌شود (Mbava et al., 2020). به همین دلیل کارشناسان 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 (Pan et al., 2020).

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 به دست آورد. در تولیدات کشاورزی، کارایی مصرف آب معمولاً تحت عنوان مقدار کالای فیزیکی و اقتصادی تولیدشده به ازای هر واحد آب مصرف‌شده نیز تعریف می‌شود. کارایی مفهومی است که پیشینه طولانی در مسائل مختلف دارد. محاسبه و بررسی کارایی نشان می‌دهد که یک سازمان تولیدی چگونه می‌توانند از منابع خود برای رسیدن 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 تولید حداکثر خروجی با توجه به مجموعه معینی از ورودی‌ها یا تولید سطح مشخصی از خروجی با استفاده از حداقل سطح ورودی تعریف کرد. کارایی استفاده از نهاده‌ها به‌طورمعمول به دو روش پارامتری یا نا پارامتری محاسبه می‌شود که مهم‌ترین روش اندازه‌گیری آن با روش تحلیل پوششی داده‌ها[1] (DEA) یا همان روش نا پارامتری است (Ren et al., 2017). روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) یک رویکرد غیر پارامتری مبتنی بر تئوری تولید و برنامه‌نویسی خطی است که به‌طورکلی برای تجزیه و تحلیل کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده[2] (DMU) استفاده می‌شود. DEA این مزیت را دارد که قادر به حل مشکلات چند ورودی و چند خروجی است و به سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا نتایج قابل‌توجهی در الگوهای تولیدی کشاورزی و برنامه ریزی توسعه پایدار داشته باشند (Geng et al., 2019).

مفهوم ردپای آب که توسط هوکسترا معرفی شد، روش جدیدی را برای ارزیابی استفاده از منابع آب در تولید محصولات کشاورزی ارائه می‌دهد (Hoekstra, 2003). همچنین روش ردپای آب (WF) ابزاری قدرتمند برای کمک به مدیریت و برنامه ریزی پایدار آب در سطح ملی، منطقه‌ای یا حوزه‌های آبخیز یا برای محصولات خاص است (Hoekstra and Mekonnen, 2012). ردپای آب یک محصول زراعی به‌عنوان حجم آب شیرین مصرف‌شده در طی فرآیند تولید محصول تعریف می‌شود. روش ردپای آب کل مقدار آب استفاده‌شده به‌طور مستقیم و غیرمستقیم را محاسبه می‌کند. نظریه ردپای آب همچنین نوع آب استفاده‌شده را که به‌عنوان ردپای آبی و سبز تعیین شده است، بررسی می‌کند. ردپای آب آبی به‌عنوان مقدار کل آب‌های سطحی و زیرزمینی مصرف‌شده توسط یک محصول تعریف می‌شود. از طرف دیگر، ردپای آب سبز به مقدار کل آب باران استفاده‌شده در هر بخش یا منطقه اشاره دارد. (Hoekstra et al., 2011). تجزیه و تحلیل شاخص‌های ردپای آب 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).

در این تحقیق هدف بررسی میزان کارایی در مصرف آب محصول گندم با بهره‌گیری از مفهوم ردپای آب است. گندم یکی از پر کشت‌ترین محصولات کشاورزی در سرتاسر جهان است. این محصول با بیش از ۲۰۰ میلیون هکتار سطح زیر کشت در دنیا، بیشتر از هر محصول دیگر کشت می‌شود (Mekonnen and Hoekstra, 2012). تقاضای گندم در جهان سالانه ۲ درصد رشد می‌کند (Chebil et al., 2014). سهم ایران از تولید جهانی گندم ۱/۸ درصد است و با تولید ۱۴۵ میلیون تن گندم در سال ۲۰۱۸، در رتبه ۱۳ تولیدکنندگان گندم در دنیا قرار دارد. ایران بعد از کشورهای چین، هند و پاکستان، چهارمین تولیدکننده بزرگ گندم در منطقه آسیا نیز می‌باشد. آب آبیاری برای تولید محصول گندم بسیار مهم است، زیرا با عملکرد گندم در واحد سطح همبستگی مثبت دارد (Hoekstra and Mekonnen, 2012). تحقیقات قبلی نشان می‌دهد که کمبود آب، تولید گندم در واحد سطح را کاهش می‌دهد، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که تولید محصول گندم از طریق آب آبیاری صورت می‌گیرد و تولید گندم به‌صورت دیم سهم ناچیزی در این مناطق دارد. در نتیجه، کمبود آب آبیاری به یک نگرانی عمومی برای تولید گندم در مناطق خشک و نیمه‌خشک تبدیل شده است؛ بنابراین در دسترس بودن منابع آب زیرزمینی و استفاده کارا از منابع آب از عوامل اصلی تولید مؤثر گندم در این مناطق است (Hoekstra and Mekonnen, 2012).

مطالعات متعددی در زمینه ارزیابی کارایی استفاده از آب کشاورزی انجام شده است. بیشتر این مطالعات در سطح کشوری

1- Data Envelopment Analysis
2- Decision-Making Units

هستند و برای محاسبه دقیق کارایی مصرف آب باید کارایی به تفکیک هر منطقه و شهر و استان انجام شود. لیلینفلد و آسمیلد با بهره‌گیری از تحلیل پوششی داده‌ها میزان کارایی و عوامل مؤثر بر کارایی مصرف آب محصولات کشاورزی در ایالت کانزاس[1] در کشور امریکا را بررسی کردند. نتایج نشان داد میزان کارایی در مصرف آب ۶۹ درصد است (Lilienfeld and Asmild, 2007). وانگ کارایی مصرف آب گندم در شمال چین را با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و عوامل مؤثر بر آن را به دست آورد. نتایج نشان داد میانگین کارایی مصرف آب گندم در کشور چین ۶۱ درصد است و کشاورزان می‌توانند با استفاده مؤثرتر از آب کارایی خود را به میزان ۳۹ درصد افزایش دهند (Wang, 2010). لومباردی و همکاران کارایی مصرف آب محصولات کشاورزی را در شمال کشور ایتالیا بررسی کردند. نتایج نشان داد میزان کارایی مصرف آب با استفاده از مدل BCC[2] ۸۵ درصد محاسبه شد (Lombardi et al., 2019). پن به بررسی کارایی مصرف آب محصولات کشاورزی با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده در قالب مدل‌های BCC و CCR[3] در کشور چین و تعیین رتبه کارایی مصرف آب با استفاده از مدل فوق کارایی[4] پرداختند. نتایج نشان داد میانگین کارایی در مصرف آب با استفاده از مدل‌های BCC و CCR، ۹۶/۵ درصد است (Pan et al., 2019). اولواتوسین و همکاران در تحقیقی با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها میزان کارایی در مصرف آب محصولات زراعی در کشور نیجریه را بررسی کردند. نتایج DEA نشان داد میزان کارایی در مصرف آب محصولات کشاورزی ۲۲ درصد است. همچنین بررسی عوامل مؤثر بر کارایی مصرف آب نشان داد روش‌های آبیاری، تجربه کشاورز و تحصیلات تأثیر بسزایی در کارایی مصرف آب محصولات کشاورزی در نیجریه داشت (Oluwatusin et al., 2020). دادمند و ناجی (۱۳۹۷) به بررسی کارایی تولید گندم در شهرستان تربت‌حیدریه 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. گنجی و همکاران (۱۳۹۷) عوامل مؤثر 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، شرکت در کلاس‌های آموزشی، عضویت در تعاونی‌ها و قیمت هر مترمکعب آب اثر مثبت و متغیر مسافت زمین کشاورز تا منبع آب، اثر منفی و معنی‌داری بر کارایی مصرف آب دارند.

بابائی و همکاران (۱۳۹۳) کارایی مصرف آب محصولات کشاورزی شهرستان زابل را با استفاده از رهیافت تحلیل پوششی داده‌ها بررسی کردند. نتایج نشان داد میانگین کارایی 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 مترمکعب به ازای هر هکتار کاهش یابد. بررسی منابع نشان داد در اکثر تحقیقات انجام‌شده در خصوص ارزیابی کارایی مصرف آب به مفهوم آب مجازی توجه نشده است و این جنبه نوآوری تحقیق حاضر می‌باشد. در این تحقیق برای بررسی کارایی مصرف آب محصولات کشاورزی ابتدا میزان نیاز آبی محصول گندم محاسبه می‌شود، سپس محتوای آب مجازی و ردپای مصرف آب این محصول اندازه‌گیری خواهد شد. با استفاده از رهیافت تحلیل پوششی داده‌ها میزان کارایی مصرف آب محاسبه خواهد شد و در نهایت با استفاده از مدل رتبه‌بندی منصفانه[5]، رتبه کارایی مصرف آب در هر منطقه ارائه خواهد شد. تا کنون موارد ذکرشده کمتر موردتوجه قرار گرفته و توجه بیشتر بر این موارد جنبه نوآوری تحقیق حاضر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

محاسبه نیاز آبی

از کاربردی‌ترین راه‌حل‌های بهبود بخشیدن به کارایی مصرف آب در مراحل مختلف تولید محصولات زراعی، ارزیابی مقدار آب مصرفی و نیاز آبی محصولات زراعی از طریق محاسبه میزان تبخیر و تعرق (Et_0)[6] است (Allan, 1998)؛ زیرا تبخیر و تعرق یکی از مؤلفه‌های مهم و ضروری برآورد مقادیر نیاز آبی محصولات مختلف زراعی است. با محاسبه درست میزان تبخیر و تعرق، تصمیم‌گیرندگان می‌توانند با نمایان کردن نیاز آبی، علاوه بر فراهم آوردن مقداری از نیاز آبی محصول با استفاده از بارش و سرانجام بارش مؤثر، درصدد تأمین کردن مابقی نیاز آبی از دیگر منابع آبی مانند رودخانه‌ها، سدها و چاه‌ها باشند (Hoekstra, 2003). سازمان هواشناسی جهانی از بین مدل‌های مرسوم در محاسبه تبخیر و تعرق، معادله فائو-پنمن-مونتیث[7] را پیشنهاد داده است (حکمت نیا و همکاران، ۱۳۹۹). به همین علت در این تحقیق جهت به دست آوردن تبخیر و تعرق از این معادله استفاده شد (Allen et al., 1994; Allan, 1998;). بعد از به دست آوردن تبخیر-تعرق مرجع، مقدار تبخیر-تعرق محصول گندم (ET_C) از طریق معادله (۱) محاسبه شد (Rafiee et al., 2016):

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (۱)$$

در معادله (۱)، K_c متوسط ضریب گیاهی محصول گندم است که

1- Kansas
2- Banker, Charnes and Cooper
3- Charnes, Cooper and Rhodes
4- Super-Efficiency

5- Fairly Ranking Method
6- Evaporation and transpiration
7- FAO Penman-Monteith

با سنجیدن وضعیت اقلیمی، دوره کاشت و دوره رشد گیاه تعیین می‌شود. سپس مقدار نیاز آبی (CWR) از طریق معادله (۲) برآورد می‌شود (Hoekstra and Hung, 2002):

$$CWR = ET_c \times A \quad (۲)$$

در معادله (۳)، پارامتر A نیز سطح زیر کشت محصول است. در این مطالعه برای تعیین نیاز آبی گیاه (CWR)، از پارامترهای کمینه و بیشینه دما ماهانه، بارش ماهانه، درصد رطوبت نسبی، تعداد ساعات آفتابی در روز، سرعت باد، ضریب گیاهی، بارش مؤثر و تبخیر و تعرق مرجع در محیط نرم‌افزار CROPWAT ورژن ۸ برای کل طول مراحل رشد گیاه استفاده شد. به‌منظور محاسبه حجم آب مجازی (مترمکعب بر کیلوگرم) مصرف‌شده جهت تولید گندم در استان سیستان و بلوچستان نیز از معادله (۳) استفاده شد (Hoekstra and Hung, 2002):

$$VWC = \frac{CWR}{Y} \quad (۳)$$

که در معادله (۳) CWR نیاز آبی محصول گندم (مترمکعب بر هکتار) و Y متوسط عملکرد محصول گندم (کیلوگرم بر هکتار) است. سپس ردپای آب آبی و ردپای آب سبز، تولید گندم توسط چهارچوب پیشنهادشده آبائی و اعتدالی برآورد شد (Ababaei and Etedali, 2014).

محاسبه کارایی

مدل تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای برآورد کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده یا (DMU) است (Yan et al., 2003). الگوی مقدماتی تحلیل پوششی داده‌ها دارای فرض بازدهی نسبت به مقیاس ثابت است که به‌وسیله چارنز، کوپر و رودز به‌عنوان مدل (CCR) در سال ۱۹۷۸ ارائه شد (Wang et al., 2018). DEA بعدها به‌وسیله بنکر و همکاران[1] (BCC) با فرض بازدهی نسبت به مقیاس متغیر توسعه داده شد که به‌نام مدل BCC تعریف می‌شود (Ganji et al., 2018). در مطالعه حاضر مدل BCC با فرض بازده به مقیاس متغیر برای محاسبه کارایی مصرف آب محصول گندم در استان سیستان و بلوچستان مورداستفاده قرار گرفت.

مدل BCC

مدل BCC حاوی دو وضعیت با ماهیت‌های ورودی یا خروجی هستند بدین مفهوم که می‌توان تعیین کرد که کارایی واحد تصمیم‌گیرنده بر پایه شرایط ورودی‌ها یا خروجی‌ها بررسی شود (Geng et al., 2019). یک مجموعه با n واحد تصمیم‌گیرنده (DMU) را در مدنظر قرار دهید که هر DMU_j $(j = 1,...,n)$ از m ورودی x_{ij} $(i = 1,...,m)$ برای تولید s خروجی y_{rj} $(r = 1,...,s)$ بهره می‌گیرد. فرض کنید بردارهای ورودی و خروجی برای هر DMU_j که، $j = 1,...n$ به‌صورت (x_j, y_j) نمایش داده شود، به‌طوری‌که برای هر j، مؤلفه‌های این بردار نامنفی باشند و حداقل یک مؤلفه هر بردار ورودی و حداقل یک مؤلفه هر بردار خروجی مثبت باشد. مجموعه همه‌ی (x, y)های شدنی را مجموعه‌ی امکان تولید[2] (PPS) نامیده و با T نشان می‌دهند که به‌صورت زیر تعریف می‌شود (Ren *et al*., 2017):

$$T = \{(x, y) \mid \text{ورودی x بتواند خروجی y را تولید کند}\} \quad (۴)$$

برای اندازه‌گیری کارایی لازم است مجموعه امکان تولید یا PPS بسط داده شود. 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 بدین‌صورت عمل می‌کنیم که با ثابت نگه‌داشتن 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 امکان‌پذیر باشد، یعنی بتوانیم با ثابت نگه‌داشتن خروجی آن ورودی‌های آن را کاهش داده و همچنان در PPS قرار داشته باشیم بیانگر این است که واحد تصمیم‌گیری موردنظر درون مجموعه PPS قرار داشته و غیرکارا می‌باشد. چون یک واحد تصمیم‌گیری عضو PPS قرار دارد که با خروجی‌های آن اما با ورودی‌های کمتر باشد که نشان‌دهنده غلبه نمودن کارایی DMU موردنظر 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.؛ نابراین 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، می‌بایست ضرایب λ_j وجود داشته باشد به‌طوری‌که داشته باشیم.

$$\lambda_j \ge 0 \quad (۵)$$

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

$$\min \theta \quad (۶)$$

1- (Banker et al., 1984)

2- Possibility Production Set

$$s.t.\ \theta x_o \geq \lambda_j x_j,$$
$$y_o \leq \lambda_j y_j$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$$
$$\lambda_j \geq 0$$

اگر پس از حل مدل BCC رابطه (۶)، مقدار θ رابر با ۱ باشد نشان‌دهنده این است که کارایی واحد تصمیم‌گیرنده برابر با ۱ یا ۱۰۰٪ است و اگر مقدار $\theta^* \leq 1$ باشد، واحد تصمیم‌گیرنده ناکارا است (Lertworasirikul et al., 2011).

روش رتبه‌بندی منصفانه[1] (FRM)

از اصلی‌ترین نقاط ضعف مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها، عدم توانایی آن‌ها در رتبه‌بندی واحدهای کارا و غیرکارا است (Khodabakhshi and Aryavash., 2014). در سال ۲۰۱۲، خدابخشی و آریاوش مدلی برای رتبه‌بندی تمام واحدها در تحلیل پوششی داده‌ها ارائه کردند. بدین‌جهت در ابتدا با توصیف حداقل و حداکثر کارایی برای هریک از واحدهای تصمیم‌گیرنده، با مدنظر قرار دادن این فرض که مجموع مقادیر کارایی برای تمام واحدها برابر ۱ باشد، کارایی‌های هریک از واحدها محاسبه می‌شود. سپس رتبه هر DMU به تناسب ترکیب مقادیر کارایی آن‌ها محاسبه می‌شود (Khodabakhshi and Aryavash., 2012).

فرض کنید n واحد تصمیم‌گیرنده DMU_j (j=1,…, n) در دسترس باشند. با فرض اینکه جمع اندازه کارایی تمام واحدها برابر ۱ باشد، می‌خواهیم کارایی DMU_o (θ_o) را محاسبه کنیم. عموماً حاصل جمع وزن‌دار شده خروجی‌ها تقسیم بر حاصل جمع وزن‌دار شده ورودی‌ها تحت عنوان 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).

$$\theta_j = \frac{\sum_{r=1}^{s} y_{rj} u_r}{\sum_{i=1}^{m} x_{ij} v_i} \quad j = 1, \dots, n \qquad (۷)$$
$$s.t. \sum_{j=1}^{n} \theta_j = 1,$$

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

$$min\ , max\ \theta_o \qquad (۸)$$
$$s.t. \theta_j = \frac{\sum_{r=1}^{s} y_{rj} u_r}{\sum_{i=1}^{m} x_{ij} v_i} \quad j = 1, \dots, n,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \theta_j = 1,$$
$$u_r, v_i, \theta_j \geq 0, \forall i, r, j.$$

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 غیرخطی است و می‌توان آن را به‌صورت برنامه‌ریزی خطی زیر نوشت.

$$min\ , max \sum_{r=1}^{s} y_{ro} u_r \qquad (۹)$$
$$s.t. \sum_{i=1}^{m} x_{io} v_i = 1,$$
$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} v_i \theta_j - \sum_{r=1}^{s} y_{rj} u_r = 0 \qquad j = 1, \dots, n,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \theta_j = 1$$
$$u_r, v_i, \theta_j \geq 0, \forall i, r, j.$$

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

$$min\ , max \sum_{r=1}^{s} y_{ro} u_r \qquad (۱۰)$$
$$\sum_{i=1}^{m} x_{io} v_i = 1,$$
$$s.t. \sum_{i=1}^{m} x_{ij} w_{ij} - \sum_{r=1}^{s} y_{rj} u_r = 0 \qquad j = 1, \dots, n$$
$$\sum_{j=1}^{n} w_{ij} = v_i \qquad i = 1, \dots, m,$$
$$u_r, v_i, \theta_j \geq 0, \forall i, r, j.$$

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

$$\theta_j^{min} \leq \theta_j \leq \theta_j^{max} \qquad (۱۱)$$

حال بازه‌ها را به‌صورت ترکیب محدب زیر می‌نویسیم.

$$\theta_j = \theta_j^{min} \lambda_j + (1 - \lambda_j) \theta_j^{max} \qquad (۱۲)$$

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 به دست آوردن کارایی منصفانه λ کافی است دستگاه زیر حل شود (Khodabakhshi and Aryavash., 2012).

$$\begin{cases} \theta_j = \theta_j^{min} \lambda + (1 - \lambda) \theta_j^{max} \\ \sum_{j=1}^{n} \theta_j = 1 \end{cases} \qquad (۱۳)$$

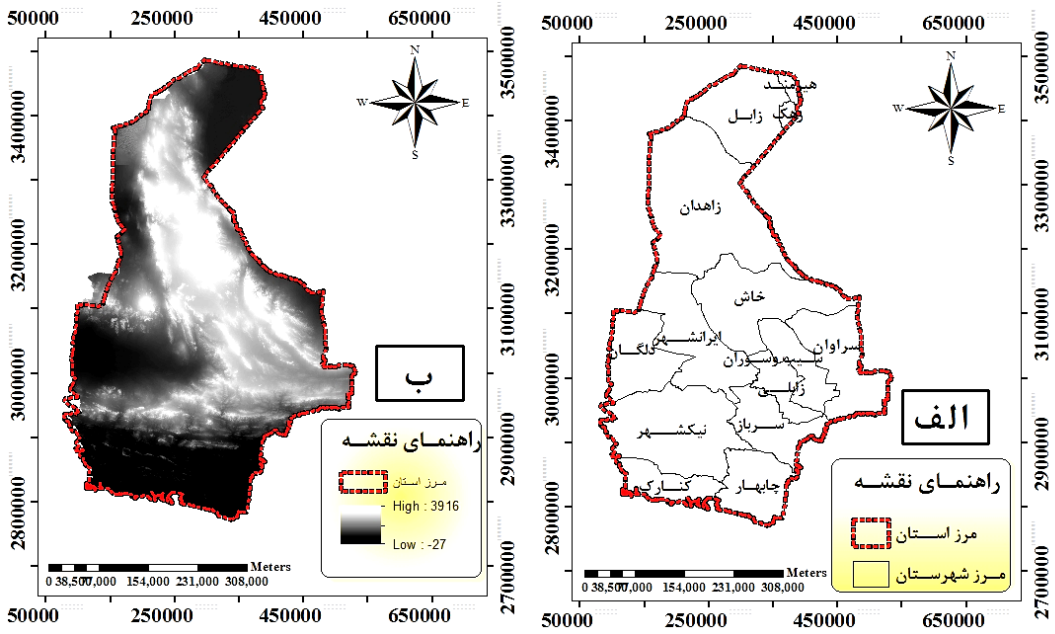
پس مقدار λ به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\lambda = \frac{1 - \sum_{j=1}^{n} \theta_j^{max}}{\sum_{j=1}^{n} (\theta_j^{min} - \theta_j^{max})} \qquad (۱۴)$$

داده‌های موردنیاز

در مطالعه حاضر از اطلاعات آب و هوایی نظیر متوسط کمینه و بیشینه دما ماهانه، میزان بارش، درصد رطوبت نسبی، سرعت باد و تعداد ساعات آفتابی در روز برای برآوردهای مربوط به نیاز آبی، آب مجازی و ردپای آب بهره گرفته شد. این اطلاعات با مراجعه حضوری به سازمان هواشناسی استان سیستان و بلوچستان گردآوری شد. اطلاعات مربوط به سطح زیر کشت، تولید، عملکرد، میزان مصرف بذر در هکتار و میزان کود مصرف‌شده از سازمان جهاد کشاورزی استان سیستان و بلوچستان برای سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ جمع‌آوری شد.

1- Fairly ranking method



شکل ۱- محدوده استان سیستان و بلوچستان و شهرستان‌های موجود (الف) و مدل رقومی ارتفاعی منطقه (ب)

در مدل تحلیل پوششی داده‌های تحقیق حاضر متغیرهای ورودی شامل: مصرف آب آبی، مصرف آب سبز، سطح زیر کشت، میزان مصرف بذر و میزان مصرف کود می‌باشد. متغیرهای خروجی نیز شامل عملکرد و محتوای آب مجازی است.

منطقه موردمطالعه

استان سیستان و بلوچستان با وسعتی معادل ۱۸۱۷۸۵ کیلومترمربع، در رده استان‌های پهناور کشور طبقه‌بندی می‌شود. این استان در محدوده جغرافیایی ۲۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۸ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی واقع است (شکل ۱-الف) و گستره ارتفاعی این منطقه بین ۲۷ تا ۳۹۱۶ متر قرار دارد (شکل ۱-ب) (سالاری و همکاران، ۱۳۹۳). با توجه به گزارشی که سازمان آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان ارائه داد، میانگین بارندگی سالانه حدود ۵۲/۳ میلی‌متر، متوسط دمای کمینه سالانه ۱۲ درجه سانتی‌گراد و متوسط دمای بیشینه به حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد در سال می‌رسد و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن[1] دارای اقلیم خشک می‌باشد (حکمت نیا و همکاران، ۱۳۹۹).

نتایج و بحث

تولید، سطح زیر کشت و عملکرد

در جدول (۱) میزان تولید، عملکرد و سطح زیر کشت محصول گندم در استان سیستان بلوچستان ارائه شده است. مجموع گندم تولیدی در این استان در طی سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ ۱۲۳/۵۲۰ هزار تن می‌باشد. بیشترین میزان تولید مربوط به شهرستان‌های دلگان (۲۸۰۰۰ تن و ۲۲/۶۷ درصد)، خاش (۲۵۶۰۰ تن و ۲۰/۷۳ درصد)، ایرانشهر (۲۲۸۰۰ تن و ۱۸/۴۶ درصد) و زهک (۲۰۹۰۰ تن و ۱۶/۹۲ درصد) می‌باشد و بیش از ۷۵ درصد از کل تولید گندم استان سیستان و بلوچستان در این مناطق تولید می‌شود که علت این امر مربوط به دارا بودن بیشترین زمین‌های مستعد و سطح زیر کشت تولید گندم در این مناطق است به‌طوری‌که ۷۲ درصد از کشت محصول گندم مربوط به این مناطق است. همچنین مجموع سطح زیر کشت گندم در این استان ۴۵/۲۵۰ هزار هکتار می‌باشد.

تبخیر و تعرق، بارش مؤثر و نیاز آبیاری

در جدول (۲) نتایج حاصل از تبخیر و تعرق (ET_c) میزان بارش مؤثر (Eff_{Rain}) و نیاز آبیاری (Irr_{Req}) محصول گندم ارائه شده است. از جمله عوامل مؤثر بر محاسبه بارش مؤثر، 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 مؤثر، از روش حفاظت خاک امریکا استفاده شد. بدین منظور با استفاده از روش پنمن مانتیث میزان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع محاسبه، سپس با احتساب بر ضریب گیاهی هر محصول، بارش مؤثر محاسبه شد. بر اساس نتایج ارائه‌شده در جدول (۲) مشخص شد متوسط بارندگی مؤثر برای تولید گندم در

1- De Martonne

استان سیستان و بلوچستان ۶۲/۹۹ میلی‌متر است. نیاز آبیاری عبارت است از تفاضل بین نیاز آبی با باران مؤثر. محاسبه نیاز آبیاری، یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در افزایش کارایی مصرف آب و از ضروریات تحقیقات مدیریت منابع آب است. بر اساس نتایج مشخص شد متوسط نیاز آبیاری محصول گندم در استان سیستان و بلوچستان ۳۰۴۱/۶ مترمکعب بر هکتار می‌باشد. بیشترین نیاز آبیاری مربوط به شهرستان‌های زهک، زابل، میرجاوه و ایرانشهر بود که به دلیل میزان پایین بارندگی مؤثر در این مناطق است؛ بنابراین مشخص شد مناطقی که از بیشترین میزان بارندگی مؤثر برخوردار بودند، کمترین میزان نیاز آبیاری را برای تولید گندم داشتند. نتایج این بخش با نتایج سالاری و همکاران (۱۳۹۳) و حکمت نیا و همکاران (۱۳۹۹) همخوانی دارد.

جدول ۱- تولید، عملکرد و سطح زیر کشت گندم

شهر	سطح زیر کشت (هکتار)	تولید (تن)	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)	سهم در تولید
ایرانشهر	۶۰۰۰	۲۲۸۰۰	۳۸۰۰	٪ ۱۸/۴۶
چابهار	۱۵۰	۴۲۰	۲۸۰۰	٪ ۰/۳۴
خاش	۸۰۰۰	۲۵۶۰۰	۳۲۰۰	٪ ۲۰/۷۳
زابل	۶۵۰۰	۱۰۴۰۰	۱۶۰۰	٪ ۸/۴۲
زاهدان	۱۰۰۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰	٪ ۱/۸۶
زهک	۱۱۰۰۰	۲۰۹۰۰	۱۹۰۰	٪ ۱۶/۹۲
سراوان	۷۰۰	۱۴۰۰	۲۰۰۰	٪ ۱/۱۳
سرباز	۹۰۰	۲۷۰۰	۳۰۰۰	٪ ۲/۱۹
دلگان	۸۰۰۰	۲۸۰۰۰	۳۵۰۰	٪ ۲۲/۶۷
میرجاوه	۳۰۰۰	۹۰۰۰	۳۰۰۰	٪ ۷/۲۹
مجموع	۴۵۲۵۰	۱۲۵۹۲۰	-	٪ ۱۰۰

منبع: سازمان جهاد کشاورزی استان سیستان و بلوچستان

جدول ۲- تبخیر و تعرق مرجع، بارش مؤثر و نیاز آبیاری گندم در استان سیستان و بلوچستان

شهرستان	ET_c (mm)	Eff_{Rain} (mm)	Irr_{Req} (m^3/h)
ایرانشهر	۴۳۰/۷	۹۱/۱	۳۴۳۴
چابهار	۳۷۵/۱	۶۵/۳	۳۰۹۹
خاش	۳۲۸/۲	۱۴۷/۶	۱۹۴۹
زابل	۳۷۱/۵	۱۵/۸	۳۵۵۸
زاهدان	۳۱۵/۴	۴۳	۲۷۲۸
زهک	۳۸۸/۶	۱۷/۴	۳۷۱۶
سراوان	۳۰۷/۹	۴۳/۶	۲۶۴۳
سرباز	۳۶۱/۷	۶۷/۶	۲۹۶۱
دلگان	۳۱۴/۷	۱۱۸/۱	۲۴۱۸
میرجاوه	۴۱۰/۹	۲۰/۴	۳۹۱۰

منبع: محاسبات محقق

محتوای آب مجازی و ردپای مصرف آب

مفهوم محتوای آب مجازی (VWC) نشان می‌دهد که یک محصول از ابتدا تا انتهای فرایند رشد چه مقداری آب مصرف کرده است. اگر محتوای آب مجازی یک محصول بزرگ‌تر از ۱۰۰۰ مترمکعب بر تن باشد، از نظر مصرف آب جزء محصولات پرمصرف و اگر کمتر از ۱۰۰۰ باشد جزء محصولات کم‌مصرف می‌باشد (حکمت‌نیا و همکاران، ۱۳۹۹). ردپای آب میزان مصرف آب به تفکیک منابع آب را نشان می‌دهد. ردپای آب به سه جزء تقسیم می‌شود. این سه جزء شامل ردپای آب آبی[1]، ردپای آب سبز[2] و ردپای آب خاکستری[3] می‌باشد. ردپای آب سبز، آب حاصل از بارندگی است که در مراحل کشت گیاه در خاک ذخیره می‌شود. ردپای آب آبی نشان‌دهنده‌ی مقدار حجم آب استفاده‌شده از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی است و به‌طور سنتی، استفاده از سیستم‌های آبیاری به مفهوم استفاده از آب

1- Blue Water Footprint
2- Green Water Footprint
3- Grey Water Footprint

آبی است. ردپای آب خاکستری حجم آب شیرین موردنیاز برای رقیق سازی و جذب مواد مغذی کودهای شیمیایی و آلاینده‌ها با استفاده از نفوذ عمقی آب و یا آب‌های سطحی است (Hoekstra, 2017). نتایج نشان داد میانگین آب مجازی تولید گندم در استان سیستان و بلوچستان ۱۴۱۵/۸ مترمکعب بر تن می‌باشد. بدین مفهوم که برای تولید ۱ تن گندم، ۱۴۱۵/۸ مترمکعب آب مصرف می‌شود. آب مجازی بستگی به عملکرد محصول در واحد سطح دارد. اگر عملکرد تولید محصول بالاتر باشد، محتوای آب مجازی آن کمتر است؛ بنابراین شهرستان‌های زابل، زهک و سراوان که عملکرد پایین‌تری نسبت به سایر مناطق داشتند، آب مجازی آن‌ها بالاتر از بقیه مناطق است. نتایج محتوای آب مجازی این تحقیق با نتایج مکونن و هوکسترا همخوانی دارد (Mekonnen and Hoekstra, 2010). مکونن و هوکسترا متوسط جهانی آب مجازی تولید گندم را ۱۸۳۰ مترمکعب در تن محاسبه کردند و در بین تولیدکنندگان عمده گندم، بیشترین آب مجازی هر تن گندم برای کشورهای مراکش، ایران و قزاقستان، کم‌ترین میزان برای کشورهای انگلستان و فرانسه ۶۰۰ مترمکعب بر تن محاسبه شد (Mekonnen and Hoekstra, 2010). نتایج بررسی ردپای آب نشان داد تولید محصول گندم در استان سیستان و بلوچستان از طریق آب آبی انجام می‌شود و آب سبز سهم اندکی در آبیاری محصول گندم در این استان دارد. در این راستا مشخص شد ۸۶/۲۷ درصد از آبیاری این محصول توسط آب آبی و ۱۳/۷۳ درصد آن توسط آب سبز انجام می‌شود. نتایج ردپای آب این تحقیق با نتایج تحقیق سالاری و همکاران (۱۳۹۳) همخوانی دارد. سالاری و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند آبیاری محصولات زراعی در استان سیستان و بلوچستان عمدتاً از طریق آب آبی انجام می‌شود و سهم آب سبز در آبیاری محصولات کشاورزی این استان کم است. همچنین از سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۰، تأمین آبیاری گندم در استان سیستان و بلوچستان از طریق آب آبی انجام شده است (۹۰/۸ درصد) و سهم آب سبز در آبیاری این محصول به‌طور متوسط ۹/۲ درصد بود.

جدول ۳- محتوای آب مجازی و ردپای آب تولید گندم

شهرستان	محتوای آب مجازی (m^3/ton)	ردپای آب آبی (m^3/kg)	ردپای آب سبز (m^3/kg)
ایرانشهر	۱۱۳۳	۰/۲۴	۰/۹۰
چابهار	۱۳۳۹	۱/۱۱	۰/۲۳
خاش	۹۳۷	۰/۵۶	۰/۴۲
زابل	۲۳۲۱	۲/۲۲	۰/۱۰
زاهدان	۱۳۷۱	۱/۱۹	۰/۱۹
زهک	۲۰۴۵	۱/۹۶	۰/۰۹
سراوان	۱۵۳۹	۱/۳۲	۰/۲۲
سرباز	۱۲۰۵	۰/۹۹	۰/۲۳
دلگان	۸۹۹	۰/۸۵	۰/۱۹
میرجاوه	۱۳۶۹	۱/۳۰	۰/۰۷

منبع: محاسبات محقق

در جدول (۴) نتایج میزان مصرف آب جهت تولید گندم در استان سیستان و بلوچستان ارائه شده است. طبق نتایج مشخص شد کل آب مصرف‌شده برای تولید گندم در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷، نیز ۱۷۱/۰۳ میلیون مترمکعب است. از این میزان ۱۴۳/۴۴ میلیون مترمکعب از طریق آب آبی و برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی (چاه‌ها، رودخانه‌ها، سدها) و ۲۷/۵۹ میلیون مترمکعب از طریق آب سبز صورت گرفته است که با نتایج حکمت نیا و همکاران (۱۳۹۹) همخوانی دارد. حکمت نیا و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقی برای سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ کل میزان بهره‌برداری از منابع آب جهت تولید گندم در استان سیستان و بلوچستان را ۱۴۱/۹۰۵ میلیون مترمکعب برآورد کردند. بیشترین میزان برداشت از منابع آب مربوط به شهرستان زهک است (۴۰/۸۸ میلیون مترمکعب) که از دلایل آن بالا بودن سطح زیر کشت و میزان تولید در این منطقه است.

کارایی

محدودیت در دسترس بودن آب برای تولید محصولات کشاورزی، محققان را ترغیب کرده تا به بررسی کارایی مصرف آب در مناطق مختلف بپردازند. پس از محاسبه محتوای آب مجازی، ردپای مصرف آب آبی و ردپای مصرف آب سبز، میزان کارایی در مصرف آب تولید گندم در استان سیستان و بلوچستان محاسبه شد (جدول ۵). طبق نتایج مشخص شد متوسط کارایی مصرف آب گندم در این استان ۵۰/۹۲ درصد است. شهرستان‌های خاش و دلگان در مصرف آب کارا هستند و مابقی شهرستان‌ها ناکارا هستند.

جدول ٤- مصرف آب تولید گندم در استان سیستان و بلوچستان (میلیون مترمکعب)

شهرستان	مصرف آب آبی	مصرف آب سبز	کل مصرف آب
ایرانشهر	۲۰/۶۰	۵/۴۷	۲۶/۰۷
چابهار	۰/۴۶	۰/۱۰	۰/۵۶
خاش	۱۵/۵۹	۱۱/۸۱	۲۷/۴۰
زابل	۲۳/۱۳	۱/۰۳	۲۴/۱۵
زاهدان	۲/۷۳	۰/۴۳	۳/۱۶
زهک	۴۰/۸۸	۱/۹۱	۴۲/۷۹
سراوان	۱/۸۵	۰/۳۱	۲/۱۶
سرباز	۲/۶۶	۰/۶۱	۳/۲۷
دلگان	۲۳/۸۰	۵/۳۲	۲۹/۱۲
میرجاوه	۱۱/۷۳	۰/۶۱	۱۲/۳۴
مجموع	۱۴۳/۴۴	۲۷/۵۹	۱۷۱/۰۳

منبع: محاسبات محقق

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 محصول گندم استفاده شد. دلگان، خاش، ایرانشهر، سرباز و چابهار بیشترین کارایی در مصرف آب را دارند و در رتبه‌های اول تا پنجم از لحاظ کارایی قرار گرفتند. کمترین میزان کارایی در مصرف آب مربوط به شهرستان‌های زابل، زهک و سراوان است. زراء نژاد و یوسفی حاجی‌آباد (۱۳۸۸) متوسط کارایی مصرف آب گندم در ایران را ۵۷٪ محاسبه کردند و روش تحلیل پوششی داده‌ها را برای محاسبه کارایی مصرف آب پیشنهاد دادند. سالاری و همکاران (۱۳۹۳) بر اساس مفهوم آب مجازی نشان دادند تولید گندم در شهرستان‌های سرباز، خاش و چابهار مصرف کارآمد آب را به دنبال دارد و شهرستان زابل کمترین میزان مصرف کارآمد آب را دارد.

عوامل متعددی بر میزان کارایی در مصرف آب یک محصول تأثیر می‌گذارد. گنجی و همکاران (۱۳۹۷) نشان دادند تجربه کشاورز، میزان تحصیلات، مالکیت زمین و قیمت هر مترمکعب آب تأثیر مثبتی بر کارایی مصرف آب در محصول گندم دارد. به‌طور مثال نوع سیستم آبیاری مورداستفاده نیز تأثیر معنی‌داری بر WUE دارد. علاوه بر این، سایر فاکتورها از جمله نوع خاک، آب و هوا، شیوه های مدیریت مزرعه نیز اثرات قابل‌توجهی در WUE محصول دارد (Rusere et al., 2012). بر اساس نتایج مشخص شد بین کارایی مصرف آب و ردپای مصرف آب ارتباط نزدیکی وجود دارد. مقایسه ردپای آب و مصرف آب ارائه‌شده در جدول (۳) و (۴) با میزان کارایی نشان داد مناطق ناکارا میزان مصرف آب و ردپای آب بالایی داشتند.

جدول ٥- نمرات کارایی گندم در استان سیستان و بلوچستان

شهرستان	DEA	FRM
ایرانشهر	۰/۶۵۳	۰/۱۵۹
چابهار	۰/۴۲۸	۰/۱۳۲
خاش	۱	۰/۱۶۰
زابل	۰/۱۴۱	۰/۰۰۲
زاهدان	۰/۳۹۱	۰/۱۰۴
زهک	۰/۱۹۴	۰/۰۰۷
سراوان	۰/۳۰۹	۰/۰۰۸
سرباز	۰/۵۶۹	۰/۱۳۲
دلگان	۱	۰/۱۶۴
میرجاوه	۰/۴۰۷	۰/۱۲۴

منبع: محاسبات محقق

نتیجه‌گیری

در این تحقیق هدف محاسبه کارایی مصرف آب محصول گندم در استان سیستان و بلوچستان تحت رویکرد ردپای آب با استفاده از رهیافت DEA و FRM می‌باشد. در این راستا ابتدا میزان نیاز آبیاری محصول گندم برآورد شد سپس محتوای آب مجازی و ردپای آب برای محصول گندم محاسبه و درنهایت با استفاده از روش‌های DEA و FRM کارایی و رتبه کارایی محصول گندم در استان سیستان و بلوچستان ارائه شد. نتایج نشان داد در استان سیستان و بلوچستان آب آبی سهم عمده‌ای در تولید محصول گندم در این استان دارد و آبیاری این محصول توسط برداشت از منابع آب شیرین صورت می‌پذیرد و در دوره زمانی تحقیق میزان برداشت از منابع آب آبی برای تولید گندم ۱۴۳ میلیون مترمکعب محاسبه شد. در مجموع ۱۷۱/۰۳ میلیون مترمکعب جهت تولید این محصول آب مصرف شده است. ردپای آب نشان داد برای تولید یک تن گندم در این استان، ۱۴۱۵/۸ مترمکعب آب مصرف می‌شود و متوسط کارایی در مصرف آب گندم در استان سیستان و بلوچستان ۵۰/۹۲ درصد است. شهرستان‌های دلگان و خاش در مصرف آب کارا بودند و ایرانشهر، چابهار، زابل، زاهدان، زهک، سراوان، سرباز و میرجاوه ناکارا بودند. طبق نتایج رتبه‌بندی FRM شهرستان‌های زابل، زهک و سراوان پایین‌ترین میزان کارایی در مصرف آب را داشتند. درنهایت مشخص شد بین کارایی مصرف آب و ردپای مصرف آب ارتباط مستقیم وجود دارد؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود جهت افزایش کارایی مصرف آب کلاس‌های ترویجی برای کشاورزان برگزار گردد.

منابع

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

حکمت‌نیا، م.، صفدری، م. و حسینی، س. 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.

حکمت‌نیا، م.، صفدری، م. و حسینی، س. ۱۳۹۹. تعیین و ارزیابی ردّپای آب‌های سبز، آبی و خاکستری در تجارت بین‌المللی محصولات کشاورزی ایران. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۱۴(۲): ۴۶-۴۶۳.

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

زراءنژاد، م. و یوسفی حاجی‌آباد، ر. ۱۳۸۸. ارزیابی کارایی فنی تولید گندم در ایران (با استفاده از دو رهیافت پارامتریک و نا پارامتریک) . پژوهش‌های رشد و توسعه پایدار (پژوهش‌های اقتصادی). ۹ (۲): ۱۴۵-۱۷۲.

سالاری، س.، کاراندیش، ف. و درزی نفت چالی، ع. ۱۳۹۳. تحلیل مکانی و زمانی تغییرات آب مجازی گندم در استان سیستان و بلوچستان. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۵(۱۸): ۹۴ ــ ۸۱.

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

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

Ababaei, B. and Ramezani Etedali, H. 2016. Water footprint assessment of main cereals in Iran, Agricultural water management. Agricultural Water Management. 179: 401-411.

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

Allen, 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, 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, D., Chang. H. and Cooper, 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.

FAO. (2003). Review of world water Resources by country.

Faramarzi, M., Yang, X., Mousavi, J., Schulin, R., Binder, R. and Abbaspour, 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., Wu, P. and Yu, Q. 2019.

Gastaldi, M. and Almeida, B. 2019. The sustainability of the Italian water sector: An empirical analysis by DEA. Journal of Cleaner Production. 227: 1035-1043.

Mbava, N., Mutema, M., Zengeni, R., Shimelis, H. and Chaplot, V. 2020. Factors affecting crop water use efficiency: A worldwide meta-analysis. Agricultural Water Management. 228: 105878.

Mekonnen, M. and Hoekstra, Y., 2010. A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. Hydrology and earth system sciences. 14(7): 1259-1276.

Oluwatusin, M., Kolawole, O., Aturamu, A. and Abdu-Raheem, A. 2020. Input-use Efficiency of Irrigation Farmers in Southwest Nigeria. Asian Journal of Advances in Agricultural Research. 1-12.

Pan, Z., Wang, Y., Zhou, Y. and Wang, Y. 2020. Analysis of the water use efficiency using super-efficiency data envelopment analysis. Applied Water Science. 10(6): 1-11.

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.

Wang, Y. 2010. Irrigation water use efficiency of farmers and its determinants: Evidence from a survey in northwestern China. Agricultural Sciences in China, 9(9): 1326-1337.

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

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.

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. 2020. 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

Hekmatnia, M., Hosseini, S. and Safdari, M. 2020. Water Resource Management of the Agricultural Sector in Sistan and Baluchestan Province: a Virtual Water Perspective. Irrigation and Water Engineering. 11(1): 137-149.

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

Hoekstra, Y. and Mekonnen, M. 2012. The water footprint of humanity, P. Natl. Academy of Sciences. 109: 3232–3237.

Hoekstra, Y., Chapagain, K., Mekonnen, M. and Aldaya, 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.

Lilienfeld, A.,and Asmild, M. 2007. Estimation of excess water use in irrigated agriculture: a data envelopment analysis approach. Agricultural water management. 94(1-3): 73-82.

Lombardi, V., Stefani, G., Paci, A., Becagli, C., Miliacca, M.,

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 15, Feb.-Mar. 2022, p. 1469-1480

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۵، بهمن-اسفند ۱۴۰۰، ص. ۱۴۸۰-۱۴۶۹

Water Use Efficiency of Wheat from the Perspective of Water Footprint (Case Study: Sistan and Baluchestan Province)

M. Safdari[1]*, M. Hekmatnia[2], E. Khajedad Miri[3]
Recived: Apr.28, 2021 Accepted: Sep.01, 2021

Abstract

Wheat is a strategic crop in Iran. One of the main threats to wheat production in Iran is the decrease in the quantity and quality of water resources. In arid and semi-arid regions of Iran, more than 90% of wheat production is done through irrigation. Therefore, improving water use efficiency (WUE) in wheat production is essential. One of the basic ways to increase water use efficiency in the agricultural sector is to estimate the amount of water consumed at different stages of production. The water footprint suggests a new method for assessing the use of water resources in agricultural production. Therefore, the purpose of this study is to investigate the water use efficiency of wheat based on the concept of water footprint. therefore, the water footprint of wheat production was calculated using the Hoekstra and Chapagain (2012) framework, the data envelopment analysis (DEA) method was used to calculate efficiency, and the fair ranking method (FRM) was used to determine efficiency rating. The study area of this research is Sistan and Baluchestan province and the research period is the crop year 1397-1398. The results of the water footprint showed that on average, 1415.8 m^3 of water is consumed to produce one ton of wheat in Sistan and Baluchestan province, of which 83% of the total water consumption was through the use of groundwater and surface water and 17% through rainwater. The total water consumption for wheat production is 171.03 million m^3. The highest water consumption was related to Zahak, Zabol, Delgan and Iranshahr cities and the lowest water consumption was related to Chabahar, Saravan, Zahedan and Sarbaz. DEA results showed that the average efficiency in wheat water consumption in Sistan and Baluchestan province is 50.92% that Khash and Delgan with an efficiency score of 1 were among the efficient cities. Using the fair ranking method, we found that the highest efficiency was related to Delgan, Khash and Iranshahr and the lowest efficiency in water consumption was related to Zabol, Zahak and Saravan.

Key word: Blue water, Green water, Ranking Virtual water

1- Associate Professor of Natural Resources Economy, Universiti of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
2- Ph.D. in Agricultural Economic, Universiti of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
3- MS.c Student, Department of Economics, Faculty of Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
(*- Corresponding Author E-mail: drsafdari.usb@gmail.com)