Doi: 10.22034/IAES.2022.547974.1909

اقتصاد کشاورزی/جلد ۱۶/شماره۳/صفحه های ۳۱-۱

سنجش کارایی اقتصادی–محیط زیستی گندم بر مبنای ردپای آب

حامد قیاسی، آذر شیخ زین الدین[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۴

چکیده

کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی به عنوان کارایی استفاده از کارکردهای محیط‌زیستی برای تامین نیازهای بشر تعریف شده است. این مفهوم می‌تواند معیار مناسبی برای ارزیابی پایداری تولید محصول‌ها و کارایی اقتصادی آن به شمار آید. باتوجه‌به اینکه تولید محصول های کشاورزی با ایجاد اثرگذاری‌های محیط‌زیستی همراه است و در مقیاس جهانی بیشترین میزان مصرف آب برای تولید محصول‌های کشاورزی استفاده می‌شود، بنابراین در این بررسی به‌منظور بررسی اثرگذاری‌های محیط‌زیستی تولید گندم، از شاخص ردپای‌آب استفاده شد. برای این منظور در آغاز ردپای آب گندم در استان‌های کشور طی دوره ۱۳۹۹-۱۳۷۹ محاسبه و آنگاه کارایی اقتصادی- محیط‌زیستی تولید گندم برآورد شد. نتایج محاسبه ردپای آب نشان داد که استان‌های گیلان، خراسان جنوبی، سمنان و سیستان و بلوچستان، میانگین کل ردپای آب بیشتری در تولید گندم دارند. همچنین میانگین ردپای‌آب آبی، سبز و خاکستری در کشور در طی دوره مورد بررسی برابر با ۲۶۲۵/۷، ۴۲۸/۱ و ۵۹۴/۱ مترمکعب بر تن به دست آمد. نتایج به دست آمده از برآورد کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی نیز نشان داد که در بین متغیرهای مورد بررسی، نهاده‌ترکیبی و ردپای‌آب سبز بیشترین تأثیر مثبت را بر بهبود ارزش تولیدمحصول گندم دارند. نتایج همچنین بیانگر این است که استان‌های آذربایجان‌شرقی، خراسان‌شمالی و خراسان‌رضوی کمترین میانگین کارایی و استان‌های گیلان، سیستان‌وبلوچستان، مازندران و ایلام به‌ترتیب بیشترین کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید گندم را به‌خود اختصاص داده‌اند. میانگین کل کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید گندم ۰/۸۴برآورد شد. همچنین نتایج برآورد مدل ناکارایی نشان داد که کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید محصول برای منطقه‌های با تولید ناخالص داخلی سرانه و میزان بارندگی بالاتر، بیشتر است. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود در استان‌های با کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی پائین‌تر به منظور حفظ محیط‌زیست از روش‌های نوین آبیاری برای کاهش ردپای‌آب آبی و از کودهای سبز و کودهای شیمیایی کم‌خطر برای کاهش ردپای‌آب خاکستری استفاده شود.

طبقه‌بندی JEL: Q01، Q25، Q56

واژگان کلیدی: کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی، ردپای آب، گندم، تابع تولید مرزی تصادفی

[۱] به ترتیب: دانشجوی دکتری، استادیار (نویسنده مسئول)گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
Emile: azeinoddin@shirazu.ac.ir

مقدمه

ایران در یک منطقه خشک و نیمه‌خشک با تنوع اقلیمی (گرم و مرطوب ساحل‌های خزر، معتدل فلات مرکزی، گرم و خشک جنوب و سرد کوهستانی) واقع شده است (FAO, 2020). به دلیل تنوع اقلیمی حاکم در ایران، زراعت گندم در همه استان‌های کشور صورت می‌گیرد. گندم حدود ۵۰٪ از کل سطح زیرکشت زمین‌های زراعی ایران را به خود اختصاص داده است (که بیش از ۲ میلیون هکتار گندم آبی و حدود ۴ میلیون هکتار گندم به صورت دیم) و به طور میانگین سالیانه حدود ۷ میلیون تن تولید می‌شود (Agricultural statistics, 2019). با توجه به نیاز داخلی (حدود ۱۲ میلیون تن) حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد گندم مورد نیاز داخلی از طریق واردات تامین می‌شود (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۹). استان‌های کردستان با ۵۳۰ هزار هکتار، آذربایجان‌شرقی با ۳۰۰ هزار هکتار، همدان با ۲۶۰ هزار هکتار، کرمانشاه با ۱۴۷ هزار هکتار و زنجان با ۲۴۵ هزار هکتار بیشترین سطح زیرکشت گندم دیم را به خود اختصاص داده‌اند و استان‌های خوزستان (۲۰ ٪)، فارس (۱۲ ٪)، خراسان رضوی (۷ ٪) و گلستان (۶ ٪) به ترتیب مقام‌های اول تا چهارم را از نظر سطح زیرکشت گندم آبی به خود اختصاص داده‌اند (Agricultural statistics, 2019).

اهمیت اقتصادی گندم چه از نظر تولید و چه از نظر تغذیه در جهان بیش از دیگر محصول‌های کشاورزی می باشد و با توجه به جمعیت رو به افزایش، افزایش تولید این محصول ضروری می‌باشد. افزایش تولید محصول‌های کشاورزی از دو طریق، افزایش مصرف عامل‌های تولید و استفاده بهتر از عامل‌های تولید با مدیریت بهتر بر این منبع‌ها قابل دستیابی است (Emami Meybodi et al., 2011). باتوجه‌به اصل کمیابی که در زمینه عامل‌های تولید وجود دارد، امکان افزایش در عامل‌های تولید میسر نیست، یا در اولویت اول قرار نمی‌گیرد به همین دلیل یکی از راه‌های افزایش تولید، بهبود کارایی مصرف منبع‌های موجود است. کارایی بیانگر نسبت میزان ستانده تولیدشده به میزان نهاده مورد استفاده برای تولید آن ستانده است (هر چه این نسبت بزرگتر باشد به این مفهوم است که به ازای هر واحد نهاده، سطح محصول بالاتری تولید شده است) (Thanawong et al., 2014).

از آنجایی که تولید محصول‌های کشاورزی همراه با ایجاد اثرگذاری‌های محیط‌زیستی و به‌ویژه آلودگی آب و خاک (به‌واسطه مصرف سم‌های آفت‌کش و درنتیجه ازبین‌رفتن تعادل محیط‌زیست) است (Thanawong et al., 2014). ازاین‌رو، نیاز است تا سیاست‌گذاران شاخص‌هایی در زمینه

اثرگذاری‌های فعالیت‌های کشاورزی بر روی منابع طبیعی و محیط‌زیست داشته باشند، تا از این طریق بتوانند اثرگذاری‌های اقتصادی و محیط‌زیستی را اندازه‌گیری کنند Robaina- Alves et al., (2015). از جمله متداول‌ترین این شاخص‌ها، شاخص ردپای آب است. این شاخص نخستین‌بار توسط هوکسترا (۲۰۰۲) معرفی شد و در سال‌های اخیر به طور گسترده‌ای توسط متخصصان در کشورهای مختلف جهان استفاده شده است (Hoeksta & Chapagain, 2007, 2008; Mekonnen & Hoekstra, 2011; Hoekstra & Mekonnen, 2012; Jaramillo & Destouni, 2015; Zhang & Anadon, 2014; Lovarelli, et al., 2016. Zhang et al., 2016; Fathi, et al., 2020). ردپای آب یک شاخص چندبعدی است که حجم آب مصرفی را به تفکیک نوع منبع آب مصرفی و حجم آب آلوده شده را به تفکیک نوع آلاینده نشان می‌دهد؛ همه اجزای ردپای آب کل، به تفکیک زمان و مکان مشخص می‌شوند. ردپای آب از سه جزء تشکیل شده است که عبارت‌اند از؛ ردپای آب آبی، ردپای آب سبز و ردپای آب خاکستری. ردپای آب آبی به مصرف منبع‌های آب آبی (آب سطحی و زیرزمینی) در کل زنجیره‌ی تأمین یک محصول اشاره می‌کند. ردپای آب سبز به مصرف منبع آب سبز، یعنی بخشی از آب باران که تبدیل به رواناب شود، اشاره می‌کند. ردپای آب خاکستری، به آلودگی آب توجه داشته و حجم آب شیرین مورد نیاز برای پذیرش بار آلاینده‌ها در منبع آبی است که در آن، حجم و میزان‌های معینی که غلظت‌های طبیعی و مجاز آن آلاینده‌ها به شمار می‌آیند - تعریف شده‌اند. ردپای آب تابع متغیرهای اقلیمی شامل دمای کمینه و بیشینه، سرعت باد، بارندگی، رطوبت نسبی، تابش خورشیدی، و میزان کاربرد کودهای شیمیایی است. بنابراین ارزیابی ردپای آب یک ابزار تحلیلی برای کمک به درک ارتباط بین فعالیت‌ها با کمبود و آلودگی آب و اثرگذاری‌های مرتبط و درک اینکه چه باید انجام داد تا اطمینان حاصل شود که این فعالیت‌ها سهمی در مصرف ناپایدار آب ندارند، می‌باشد.

با این رویکرد، برای ارزیابی اینکه تولیدکنندگان در صورت دستیابی به هدف‌های اقتصادی خود از منبع‌ها بهینه استفاده کرده و تأثیرهای محیط‌زیستی را به کمینه می‌رسانند، کارایی اقتصادی–محیط‌زیستی[1] مطرح شده است (Thanawong et al., 2014). کارایی اقتصادی–محیط‌زیستی نخستین ابزار برای تجزیه و تحلیل پایداری است که توسط Schaltegger & Sturm (1990)

[1] Economic Ecological Efficiency (Eco-efficiency)

پیشنهاد شد و به دنبال آن توسط شورای جهانی تجارت برای توسعه پایدار (WBCSD[1]) در سال (۱۹۹۲) گسترش یافت. کارایی سازگار با محیط‌زیست به‌طورکلی نشان‌دهنده توانایی تولید کالاها و خدمات بیشتر ضمن مصرف کمتر منابع طبیعی و تأثیر کمتر بر محیط‌زیست است (Robaina-Alves et al., 2015). در همین راستا استفاده از شاخص کارایی اقتصادی–محیط‌زیستی در تولید محصول‌های کشاورزی می‌تواند معیار مناسبی برای ارزیابی پایداری تولید محصول‌ها و کارایی اقتصادی آن به شمار آید (Ho et al., 2018; Bonfiglio et al., 2017; Forleo et al., 2018). افزون بر اهمیت افزایش کارایی تولید، شناخت عامل‌ها و علت‌هاب ناکارایی نیز دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد (Agustina, 2016).

بررسی‌های مختلفی به ارزیابی کارایی در بخش کشاورزی پرداخته‌اند. Li et al., (2017) به محاسبه کارایی محیط‌زیستی محصول‌های کشاورزی کشور چین برای سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۵ پرداختند. نتایج نشان داد که در صورت لحاظ نکردن اثرگذاری‌های محیط‌زیستی در بخش کشاورزی کارایی در این بخش کاهش می‌یابد. Song & Chen (2019) با استفاده از شاخص ردپای‌آب و به‌کارگیری مدلSFA ، کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید غلات را در کشور چین برآورد کردند. آنان برای این کار از داده‌های سرمایه، نیروی‌کار و ردپای آب بهره برده‌اند. کارایی برآورد شده در این بررسی بین ۰/۴۲۴ و ۰/۹۸۶ است، آنان اظهار داشتند که توانمندی برای افزایش پایداری محیط‌زیستی با افزایش تولید غلات وجود دارد. Molaei & Molaei (2015) به برآورد کارایی محیط‌زیستی بخش کشاورزی طی سال‌های ۱۳۷۳-۱۳۹۰ پرداختند. برای این منظور از روش تحلیل پوششی داده ها استفاده و پنج آلاینده (CO2, CO, CH4, NOx, SO2) در نظر گرفته شد. نتایج این بررسی نشان داد که با در نظرگرفتن آلاینده‌ها میزان کارایی کمتر از کارایی بدون در نظر گرفتن آلاینده‌ها بوده است، به‌طوری‌که میانگین کارایی از ۰/۹۸ به ۰/۷۲ کاهش یافت. این موضوع نشان می‌دهد که شرایط محیط‌زیستی به‌صورت معناداری بر کارایی اثرگذار است. Molaei & Sani (2015) به برآورد کارایی فنی و محیط‌زیستی گاوداری‌های شیری شهرستان سراب پرداختند. برای این منظور از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شد. اطلاعات موردنیاز با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی و تکمیل ۵۱ پرسشنامه از گاوداری‌های شیری در سال ۱۳۹۴ گردآوری شد. نتایج نشان داد که

[1] World Business Council for Sustainable Development

میانگین کارایی فنی ۹۵ درصد، کارایی مقیاس ۵۵ درصد و کارایی محیط‌زیستی ۸۸ درصد است. همچنین بررسی‌ها نشان داد که گاوداری‌هایی که کارایی فنی بالاتری دارند، آلاینده کمتری تولید می‌کنند و بنابراین از کارایی محیط‌زیستی بالاتری دارند. Molaei et al., (2017) به برآورد کارایی محیط‌زیستی محصول برنج پرداختند. برای این منظور، داده‌های موردنیاز با استفاده از تکمیل پرسشنامه از ۱۴۰ نفر از کشاورزان شالیکار در شهرستان بابلسر گردآوری شد. همچنین برای برآورد کارایی فنی و محیط‌زیستی از روش تابع مرزی تصادفی استفاده شد. نتایج نشان‌داد که میانگین کارایی فنی و محیط‌زیستی به ترتیب برابر با ۸۷ و ۷۷ درصد است. این نتایج نشان می‌دهند که کارایی محیط‌زیستی به‌مراتب کمتر از کارایی فنی می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر، به‌منظور برآورد نزدیک به واقعیت کارایی تولید، زیانبار بودن نهاده‌های شیمیایی بایستی در فرایند تولید لحاظ شود. Noroziyan et al., (2019) به بررسی کارایی محیط‌زیستی پنبه‌کاران کشور پرداختند. در این بررسی انواع کارایی فنی، تخصیصی، اقتصادی با دو روش استاندارد و تلفیقی ویژه در دو سطح ثابت و متغیر نسبت به مقیاس برای تعیین کارایی مصرف آب و محیط‌زیستی آن در استان‌های تولیدکننده این محصول انجام گرفت. برای این منظور اطلاعات موردنیاز برای سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ گردآوری شد. میانگین کارایی اقتصادی متغیر نسبت به مقیاس در دو روش استاندارد و محیط‌زیستی به ترتیب برابر با ۰/۸۱ و ۰/۷۸ درصد است. همچنین نتایج نشان داد که استان‌هایی که با روش استاندارد، کارا شناخته شده‌اند، با روش کارایی محیط‌زیستی نیز به نسبت کارا هستند. Dashti et al., (2020) در بررسی خود به ارزیابی ارتباط کارایی اقتصادی با کارایی زیست‌محیطی در بخش کشاورزی ایران پرداختند. برای این منظور از روش تحلیل پوششی داده‌ها و آزمون علیت تودا-یاماموتو بهره گرفته شد. نتایج بررسی نشان داد که میزان میانگین کارایی اقتصادی در هر دو حالت بازده ثابت و متغیر نسبت به مقیاس به ترتیب برابر با ۷۱ و۹۲ درصد می‌باشد. همچنین میانگین کارایی زیست‌محیطی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها ۸۸ درصد به دست آمد. نتایج به دست آمده از علیت تودا-یاماموتو بیانگر رابطه‌ی علی یک‌طرفه از کارایی زیست‌محیطی به سمت کارایی اقتصادی است. بررسی رابطه تعادلی بلندمدت بیانگر آن است که به ازای بهبود یک درصد در کارایی زیست‌محیطی، میزان کارایی اقتصادی ۰/۶۳ درصد افزایش می‌یابد. Mehregan & Sidboyer (2020) به بررسی تاثیر هزینه ناشی از آلودگی‌های زیست‌محیطی بر روی کارایی منطقه‌های اقتصادی کشور چین پرداختند.

برای این منظور با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های دومرحله‌ای به سنجش کارایی پرداختند. در آغاز با توجه به مسئله، محدودیت‌های زیست‌محیطی ایجاد و به مدل اضافه شده‌اند. مدل‌های ریاضی ارائه‌شده حل شده و میزان کارایی به دست آمد. نتایج گویای این بود که میزان کارایی به‌دست‌آمده برای مدل شامل قانون‌های زیست‌محیطی کمتر از مدل بدون قانون‌های زیست‌محیطی است؛ این امر نشان می‌دهد که اعمال قانون‌های زیست‌محیطی بر روی ستانده‌های نامطلوب، منجر به از دست رفتن چندی از ستانده‌های مطلوب و درنتیجه بخشی از هزینه‌ها می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که در منطقه‌های Guizhou و Guangdong، میزان کارایی در هر دو حالت (با و بدون قانون‌های زیست‌محیطی) برابر است که نشان‌دهنده‌ی این است که این منطقه‌ها روی مرز کارایی قرار دارند و هزینه‌های ازدست‌رفته در این منطقه‌ها صفر است. در صورتی‌که در منطقه‌هایی مانند Shaanxi و Liaoning این اختلاف بیشتر بوده که نشان‌دهنده این است که توسعه اقتصادی این منطقه‌ها برای یک دوره درازمدت، وابسته به مصرف پیوسته منبع‌ها بوده است و این امر باعث کاهش کیفیت محیط‌زیست در آن‌ها شده است.

با مرور نتایج بررسی‌های گذشته آشکار می‌شود که بررسی‌های اندکی با استفاده از SFA به ارزیابی و تبین کارایی تولید پرداخته‌اند، و این مسئله به‌ویژه برای تولید غلات (با توجه به اهمیت این محصول و سطح زیرکشت قابل توجه آن) در سطح منطقه‌ای و استانی بیشتر احساس می‌شود. افزون بر این به کارگیری ردپای آب در برآورد تابع تولید مرزی با توجه به اهمیت آن، در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است و در معدود بررسی‌های خارجی به کار برده شده است (Song & Chen, 2019). بنابراین باتوجه‌به اهمیت پایداری منابع آب، در این بررسی با درنظرگرفتن اجزای ردپای آب به‌عنوان نهاده در تابع تولید، به برآورد کارایی با استفاده از روش SFA برای تولید گندم در ایران پرداخته شد. برای این منظور چهارچوب WF-SFA[1] برای تجزیه و تحلیل کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید گندم در این بررسی به کار گرفته شد. ازاین‌رو، در این بررسی به‌منظور برآورد اثرگذاری های محیط‌زیستی، از شاخص ردپای آب استفاده و کارایی اقتصادی–محیط‌زیستی تولید گندم برآورد شد. برای این منظور در آغاز اجزای ردپای آب گندم در استان‌های تولیدکننده این محصول محاسبه شد. آنگاه کارایی اقتصادی – محیط‌زیستی تولید گندم در استان‌های ایران محاسبه شد.

[1] Water Footprint-Stochastic Frontier Approach (WF-SFA)

روش تحقیق

در گام اول به منظور محاسبه ردپای آب داده‌های هواشناسی برای شهرستان‌هایی که دارای بیشترین سطح زیرکشت محصول گندم در هر استان بودند، گردآوری شد. در نتیجه اطلاعات هواشناسی ۹۰ ایستگاه در سراسر کشور به صورت روزانه و طی دوره‌زمانی ۱۳۷۹-۱۳۹۹ گردآوری شدند. این اطلاعات شامل میانگین سرعت باد (m/s)، بیشینه دما (c)، کمینه دما (c)، میانگین دما، بارش ۲۴ ساعته (mm)، بیشینه رطوبت نسبی (٪)، کمینه رطوبت نسبی (٪)، میانگین رطوبت نسبی (٪)، ساعت‌های آفتابی و میزان تابش روزانه است. کل ردپای آب در طی دوره رشد محصول (WF) از حاصل جمع اجزای آب آبی، سبز و خاکستری به دست می‌آید (Ababaei & Ramezani Etedali, 2014; Hoeksta & Chapagain, 2007, 2008; Hoekstra, *et al*., 2011):

$$WF_{it} = WF_{it.blue} + WF_{it.green} + WF_{it.grey} \quad (۱)$$

در رابطه (۱)، i و t به ترتیب بیانگر استان‌های مختلف و دوره زمانی است. همچنین $WF_{it.blue}$ ردپای آب آبی، $WF_{it.green}$ ردپای آب سبز و $WF_{it.grey}$ ردپای آب خاکستری برای استان iام در زمان t، بر حسب (m^3) است.

به‌منظور محاسبه میزان آب مصرفی محصول[1] (m^3/ha) از محاسبه تبخیر و تعرق روزانه[2] (ET، میلی‌متر در روز) در طول دوره رشد (رابطه ۲) استفاده می‌شود (Ababaei & Ramezani Etedali, 2014; Hoeksta & Chapagain, 2007,2008; Hoekstra, *et al*. 2011). در این رابطه $ET_{it.blue}$ تبخیر تعرق آب آبی (mm) استان i در دوره t است. ۱۰ فاکتور تبدیل واحد mm به m^3/ha می‌باشد. به‌منظور محاسبه ردپای آب آبی ($WF_{it.blue}$) از رابطه (۳) استفاده شد:

$$CWU_{it.blue} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{it,blue} \quad (۲)$$

$$WF_{it.blue} = (CWU_{it.blue})/Y \quad (۳)$$

[1] Crop Water Use
[2] Daily Evapotranspiration

در رابطه (۳) به‌منظور محاسبه آب آبی برحسب مترمکعب بر تن، CWU بر عملکرد محصول تقسیم شده است (Ababaei & Ramezani Etedali, 2014; Hoeksta & Chapagain, 2007,2008; Hoekstra, *et al*., 2011).

به‌منظور محاسبه آب سبز، در آغاز بارندگی موثر محاسبه شد. برای این منظور از روش وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA[۱]) استفاده شد، بنابر این روش حجم و میزانی از آب باران که در طی دوره رشد یک گیاه دریافت شده و برای مصرف‌های آن در دسترس قرار گیرد، بارش موثر نامیده می‌شود (Song & Chen ,2019) . در این روش میزان بارندگی موثر در طول دوره رشد گیاه به وسیله رابطه (۴) محاسبه شد (Doll & Siebert, 2002). آنگاه آب سبز به وسیله رابطه (۵) محاسبه شد:

$$If: P < 250\ mm.\ P_{eff} = ({}^{P}/_{125}) \times (125 - 0 \cdot 2P) \quad (۴)$$

$$If: P > 250\ mm.\ P_{eff} = 125 + 0 \cdot 1P$$

$$WF_{it.green} = (P_{eff} \times 10)/Y \quad (۵)$$

در رابطه‌ای بالا P_{eff} بارش موثر در طول دوره رشد (mm)، P بارندگی در طول دوره رشد (mm)، $WF_{it.green}$ ردپای آب سبز محصول در استان iام در سال t (m^3)، ۱۰ عامل تبدیل واحد mm به m3 و Y عملکرد محصول (تن در هکتار) است. ردپای آب سبز به سهم آب ناشی از بارندگی موثر مرتبط است. جزء خاکستری $WF_{it.grey}$ در ردپای آب (مترمکعب بر تن)، با استفاده از رابطه (۶) محاسبه شد:

$$WF_{it.grey} = (\frac{(\alpha \times ar_{it})}{(c_{max} - c_{nat})})/Y \quad (۶)$$

که ar_{it} نرخ کاربرد کودهای شیمیایی در استان i در دوره t (kg/ha)، α درصد نیتروژن آبشویی شده (٪)، c_{max} بیشینه غلظت قابل قبول (kg/m3) و c_{nat} غلظت طبیعی برای آلاینده بررسی شده (kg/m3) است (Ababaei & Ramezani Etedali, 2014; Hoeksta & Chapagain, 2007,2008; Hoekstra *et al*., 2011). میزان α در این مطالعه به پیروی از

نتایج بررسی‌های گذشته و به دلیل نبود اطلاعات دقیق‌تر ۱۰ درصد در نظر گرفته شد (Ababaei & Ramezani Etedali, 2014; Hoeksta & Chapagain, 2007,2008; Hoekstra *et al.*, 2011; Chapagain *et al.*, *2006*). همچنین بیشینه غلظت نیتروژن در منابع آب دریافت کننده بر مبنای استاندارد US-EPA برابر با ۱۰ میلی گرم بر لیتر در نظر گرفته شد و از آنجایی که اطلاعات دقیقی از غلظت واقعی نیتروژن در منبع های آب دریافت‌کننده در دسترس نیست این میزان برابر با صفر در نظر گرفته شد (Mekonnen & Hoekstra, 2010). میزان کود نیتروژنه مصرفی در تولید محصول گندم از آمارنامه کشاورزی برای دوره زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ گردآوری شد.

پس از محاسبه اجزای ردپای آب گندم در استان‌های کشور به پیروی از Battese & Coelli (1995)، یک مدل SFA برای تابع تولید گندم ایجاد شد. در سال t، برای استان iام، تابع تولید مرزی تصادفی پایه به صورت رابطه (۷) است:

$$\mathrm{y}_{it} = \exp(\mathrm{X}_{it}\,\beta + v_{it} - u_{it}) \qquad (۷)$$
$$\mathrm{u}_{it} = \mathrm{Z}_{it}\,\boldsymbol{\delta} + \quad \mathrm{W}_{it}$$

که y_{it} محصول قابل دستیابی از نهاده X_{it} (برداری از نهاده‌ها) و β بردار فراسنجه‌های (پارامترهای) مجهول است. v_{it}ها بیانگر خطاهای تصادفی است که فرض می‌شود دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس σ_v^2 هستند و به طور مستقل از u_{it} توزیع شده‌است. u_{it}ها متغیرهای تصادفی غیرمنفی هستند که مربوط به نبود زمینه کارایی فنی تولید هستند و فرض بر این است که به طور مستقل توزیع شده‌اند، بدین‌ترتیب که u_{it} دارای توزیع نرمال با میانگین صفر $(Z_{it}\delta)$ و واریانس σ_u^2 است. Z_{it} بردار متغیرهای توضیحی مربوط به ناکارایی فنی و δ بردار ضریب‌های ناشناخته است. متغیر تصادفی(W_{it}) با توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس σ_u^2 تعریف شده‌است (Aigner *et al.*, 1977). بنابراین کارایی اقتصادی-محیط زیستی برای استان iام در سال tام به صورت نسبت خروجی واقعی به خروجی مرزی تعریف می‌شود (رابطه ۸):

$$E_{it} = \frac{exp\ (X_{it}\,\beta + v_{it} - u_{it}\ )}{exp\ (X_{it}\,\beta + v_{it}\ )} = \exp(-u_{it}\ ) \qquad (۸)$$

در این بررسی برای محاسبه کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی با استفاده از تابع تولید مرزی تصادفی، در آغاز شکل تابع تولید مناسب انتخاب شد. شکل‌های تابع تولید که در این پژوهش بررسی شده

است تابع تولید کاب‌داگلاس و ترانسلوگ است. پس از انتخاب تابع تولید مناسب و نوع مدل تابع تولید مرزی تصادفی به روش حداکثر درستنمایی برآورد شده و کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید گندم برآورد شده است. در تابع تولید، ستانده ارزش گندم بر حسب میلیون‌تومان در هکتار (Song & Chen ,2019)، و نهاده‌ها نیز شامل سرمایه (نهاده‌ترکیبی که در بردارنده هزینه‌های تولید است) برحسب میلیون تومان در هکتار، نیروی‌کار برحسب نفر در روز در هکتار، ردپای‌آب سبز گندم بر حسب مترمکعب در هکتار، ردپای‌آب آبی گندم بر حسب مترمکعب در هکتار، ردپای‌آب خاکستری گندم بر حسب متر مکعب در هکتار و t متغیر روند زمانی می‌باشد. لازم به یادآوری است که این اطلاعات برای بازه زمانی ۱۳۹۹-۱۳۸۵ گردآوری شد. همچنین به دلیل یکسان بودن نهاده‌هایی مانند کود، بذر و زمین در استان‌ها و در کل پایین بودن سطح فناوری تولید غلات و از جمله گندم در کشور، فناوری تولید گندم در بین استان‌های مختلف ثابت فرض شد (Yadollahi, 2020). همچنین از نرم‌افزار تحلیل مرز تصادفی (Frontier) برای برآورد کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی استفاده شد.

همچنین اثرگذاری های ناکارآمدی تولید توسط رابطه (۹) تعریف شد (Song & Chen, 2019):

$$u_{it} = \boldsymbol{\delta}_0 + \boldsymbol{\delta}_1 PG_{it} + \boldsymbol{\delta}_2 AR_{it} + \boldsymbol{\delta}_3 IS_{it} + \boldsymbol{\delta}_4 T_{it} + \boldsymbol{\delta}_t t + \mathrm{W}_{it} \qquad (۹)$$

که PG تولید ناخالص‌داخلی‌سرانه (میلیون‌تومان)، (این متغیر سطح توسعه یافتگی و برخورداری (Wu, 2012; Farajzadeh and Nematollahi, 2018) هر استان را نشان می‌دهد و از این‌رو پائین بودن میزان آن را می‌توان عاملی بر ناکارایی به شمار آورد)، AR میزان بارندگی سالیانه، IS نسبت سطح زیرکشت اراضی آبی به کل سطح زیرکشت استان (از نسبت سطح زیرکشت آبی به کل منطقه کشت‌شده محاسبه و بر حسب درصد عنوان می‌شود)، این متغیر هر چه بزرگتر باشد بیانگر ناکارایی زیست‌محیطی در استان مورد نظر می‌باشد، T میانگین دمای سالانه (میانگین دمای سالانه هر منطقه بر حسب درجه سیلسیوس) است. از روش حداکثر راستنمایی برای برآورد هم‌زمان فراسنجه‌های (پارامترهای) تابع مرزی تصادفی و مدل اثرگذاری های ناکارآمدی (۹) استفاده شد.

نتایج و بحث

اجزای ردپای‌آب گندم در ۳۱ استان کشور طی دوره‌زمانی ۱۳۹۹-۱۳۷۹ محاسبه شد. در جدول (۱) میانگین اجزای ردپای‌آب این محصول (ردپای‌آب آبی، ردپای‌آب سبز، ردپای‌آب خاکستری و

ردپای‌آب کل) طی دوره زمانی مورد بررسی ارائه شده‌است. ازآنجایی‌که ایران دارای اقلیم‌های مختلف و منطقه‌های با آب‌وهوای متفاوت در فصل‌های چهارگانه است، با بررسی نتایج به‌دست‌آمده در استان-های مختلف تولیدکننده گندم مشاهده می‌شود که تفاوت قابل‌توجهی بین استان‌های مختلف از نظر ردپای‌آب وجود دارد. بنابر نتایج به‌دست‌آمده در طی دوره مورد بررسی به طور میانگین بیشترین میزان ردپای‌آب سبز مربوط به دو استان کهگیلویه‌وبویراحمد و گیلان به ترتیب با میزان ۷۶۲ و ۶۸۷ مترمکعب بر تن و کمترین میزان آن مربوط به استان یزد با میزان ۱۱۹ مترمکعب بر تن است. استان گیلان در بین استان‌های کشور از بیشترین میزان بارندگی در طول سال برخوردار است که همین مسئله باعث شده است ردپای‌آب سبز در این استان بالا باشد. همچنین بیشترین میزان ردپای‌آب آبی نیز با ۴۱۸۴/۵ مترمکعب بر تن در استان گیلان به دست آمد که گویای بالا بودن نیاز آبی گندم به ازای هر تن گندم (به دلیل پائین بودن عملکرد در واحد هکتار) در این استان می‌باشد. کمترین میزان ردپای‌آب آبی نیز مربوط به استان خوزستان است که این امر به دلیل بالا بودن میزان رطوبت و همچنین بالا بودن عملکرد محصول در این استان نسبت به دیگر استان‌های کشور است. باتوجه‌به آمار جهاد کشاورزی میانگین عملکرد گندم در دو استان خوزستان و گیلان به ترتیب ۶۱۹۱ و ۱۹۷۸ کیلوگرم در هکتار است، که این آمار تایید کننده نتایج مطرح‌شده است. نکته قابل‌توجه در بررسی بین هر دو جزء ردپای‌آب آبی و سبز در همه‌ی استان‌ها، بالا بودن میزان ردپای‌آب آبی نسبت به ردپای‌آب سبز است که این نشان دهنده کم‌بودن بارش‌ها و گویای پایداری اقلیم خشک و نیمه‌خشک در همه‌ی استان‌های کشور از نظر کشاورزی است. بنابراین، انتظار می‌رود که برای افزایش عملکرد محصول و همچنین کاهش اثرگذاری های اقلیمی بر عملکرد محصول، استفاده بیشتر از کودهای شیمیایی امری رایج در بین کشاورزان باشد. نتایج ناشی از برآورد ردپای‌آب خاکستری نشان داد که تغییرات ردپای‌آب در همه‌ی استان‌ها تا حدودی در یک طیف بوده کمترین میزان آن مربوط به استان آذربایجان‌غربی با ۳۶۸/۲ و بیشترین میزان آن مربوط به استان خراسان جنوبی با ۹۵۲ مترمکعب بر تن است. همچنین میزان‌های ناشی از برآورد ردپای‌آب خاکستری در استان‌های جنوبی کشور بیشتر است که ناشی از استفاده از کودهای شیمیایی بیشتر برای افزایش عملکرد است. در استان‌های گیلان، خراسان جنوبی، سمنان و سیستان و بلوچستان، میانگین کل ردپای آب تولید گندم بیشترین میزان را در طی دوره مورد بررسی داشته است. از آنجایی که ردپای آب بر حسب

مترمکعب بر تن برآورد می‌شود، از این رو بالا بودن تبخیر و تعرق و یا پائین بودن عملکرد در واحد هکتار منجر به افزایش ردپای آب می‌گردد. بنابراین به‌رغم شرایط اقلیمی مناسب در استان گیلان، پائین بودن عملکرد در واحد هکتار در این استان، منجر به افزایش ردپای آب در این استان شده است. همچنین میانگین ردپای‌آب آبی، سبز و خاکستری در کشور در طی دوره مورد بررسی به‌طور میانگین برابر با ۲۶۲۵/۷، ۴۲۸/۱ و ۵۹۴/۱ مترمکعب بر تن است که با مقایسه این میزان‌ها با میانگین جهانی اجزای ردپای‌آب در تولید گندم (میانگین جهانی رقم ردپای‌آب آبی، سبز و خاکستری به ترتیب ۱۲۷۹ ،۳۴۳ و ۲۰۸ مترمکعب بر تن است) می‌توان گفت ردپای‌آب گندم در ایران به نسبت بالاتر است (برای ردپای‌آب آبی و خاکستری بیش از ۲ برابر میانگین جهانی) (Rasooli Majd *et al.*, 2015). این امر به دلیل شرایط اقلیمی حاکم در کشور (اقلیم خشک و نیمه خشک)، پائین بودن عملکرد و کاربرد بالای کودهای شیمیایی می‌باشد. همچنین به طور میانگین سهم هر یک از اجزای ردپای آب گندم آبی نسبت به کل ردپای آب، برای سه جزء ردپای آبی، سبز و خاکستری به ترتیب۱۲،۷۲و ۱۶ درصد است. بنابراین ردپای‌آب آبی بیشترین سهم را ردپای‌آب گندم دارد که این امر به دلیل اقلیم کشور و در نتیجه بالا بودن نیازآبی گیاه است.

جدول(۱) میانگین اجزای ردپای آب گندم طی دوره زمانی ۱۳۹۹-۱۳۷۹

Table (1) The average water footprint components of wheat during the 1379-1399

ردپای آب (متر مکعب بر تن) Water footprint (m3/ton)					
کل ردپای آب (Total WF)	ردپای آب خاکستری (Grey WF)	ردپای آب سبز (Green WF)	ردپای آب آبی (Blue WF)	استان / ردپای آب گندم Province/ Wheat WF	
3111.47	400.57	483.50	2227.41	East Azarbaijan	آذربایجان شرقی
3469.61	368.23	519.43	2581.95	West Azarbaijan	آذربایجان غربی
2435.62	451.67	389.49	1594.46	Ardebil	اردبیل
3557.72	662.45	269.58	2625.69	Isfahan	اصفهان
3815.83	678.88	496.25	2640.69	Ilam	ایلام
3406.17	529.59	332.42	2544.16	Alborz	البرز
4022.45	551.15	579.52	2891.79	Bushehr	بوشهر
2444.59	481.00	338.25	1625.34	Tehran	تهران
3220.37	529.16	519.96	2171.25	Chaharmahal & Bakhtiari	چهارمحال و بختیاری
5054.08	814.31	397.77	3841.99	Southern Khorasan	خراسان جنوبی
4290.04	683.38	449.11	3157.54	Khorasan Razavi	خراسان رضوی
3642.43	672.58	496.99	2472.87	North Khorsan	خراسان شمالی

ادامه جدول(۱) میانگین اجزای ردپای آب گندم طی دوره زمانی ۱۳۹۹-۱۳۷۹

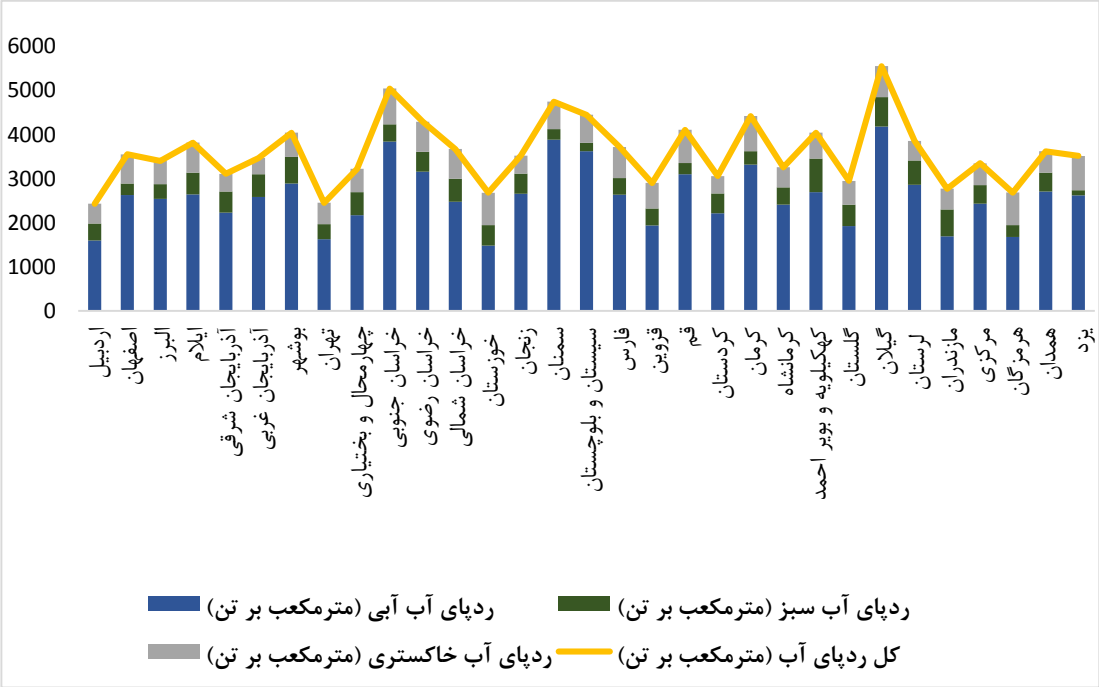
Table (1) The average water footprint components of wheat during the 1379-1399

Water footprint (m3/ton) ردپای آب (متر مکعب بر تن)					
کل ردپای آب (Total WF)	ردپای آب خاکستری (Grey WF)	ردپای آب سبز (Green WF)	ردپای آب آبی (Blue WF)	استان / ردپای آب گندم Province/ Wheat WF	
2684.09	739.87	463.47	1480.75	Khuzestan	خوزستان
3522.29	409.57	458.11	2654.61	Zanjan	زنجان
4747.20	624.92	233.60	3888.68	Semnan	سمنان
4451.38	637.30	188.26	3625.81	Sistan & Baluchestan	سیستان و بلوچستان
3721.17	708.21	378.05	2634.91	Fars	فارس
2901.95	575.82	387.81	1938.32	Qazvin	قزوین
4109.92	754.74	257.86	3097.32	Qom	قم
3056.46	395.69	450.05	2210.72	Kordestan	کردستان
4419.82	795.04	307.25	3317.53	Kerman	کرمان
3260.42	457.28	390.55	2412.59	Kermanshah	کرمانشاه
4046.08	587.24	762.00	2696.84	Kohgiluyeh & Boyer Ahmad	کهکیلویه و بویر احمد
2944.65	539.10	481.85	1923.70	Golestan	گلستان
5576.23	704.28	687.41	4184.54	Guilan	گیلان
3855.32	445.29	550.31	2859.72	Lorestan	لرستان
2782.60	468.28	620.92	1693.40	Mazandaran	مازندران
3351.73	498.22	420.97	2432.53	Markazi	مرکزی
2685.71	742.79	262.91	1680.01	Hormozgan	هرمزگان
3617.20	486.88	420.07	2710.24	Hamedan	همدان
3517.48	780.74	119.06	2617.68	Yazd	یزد
3647.12	594.13	428.10	2625.76	Average	**میانگین**
2435.62	368.23	119.06	1480.75	Min	**کمینه**
5576.23	814.31	762.00	4184.54	Max	**بیشینه**

منبع: یافته‌های تحقیق Source: Research Findings

همچنین در نمودار (۱) سهم هر یک از اجزای ردپای‌آب در کل ردپای‌آب برای استان‌های مختلف در طی دوره مورد بررسی برای درک بهتر نتایج نمایش داده شده است. نمودار به‌طور آشکار نشان می‌دهد که استان‌های گیلان، فارس، خراسان‌جنوبی و سمنان بیشترین ردپای‌آب کل را در تولید گندم دارا هستند و استان‌های اردبیل، تهران، خوزستان و مازندران کمترین میزان را به خود اختصاص داده‌اند. دلیل این اختلاف تفاوت در اجزای ردپای‌آب است و آن هم خود به شرایط اقلیمی استان، میزان

تبخیر و تعرق، عملکرد و میزان کاربرد کودهای شیمیایی ارتباط دارد که پیشتر اشاره شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در زمینه ردپای‌آب سبز تفاوت چندانی میان استان‌ها مشاهده نمی‌شود. همچنین در مورد ردپای‌آب خاکستری نیز این تفاوت هر چند بیشتر از ردپای‌آب سبز است اما در مقایسه با ردپای‌آب آبی چندان اهمیت ندارد. به بیان دیگر همه تفاوت در ردپای‌آب میان استان‌ها در تولید گندم به ردپای‌آب آبی مربوط می‌شود. هر چند الگوی جغرافیایی مهمی نمی‌توان یافت اما به‌طور ضمنی می‌توان گفت ردپای‌آب در منطقه‌هایی که نیازآبی گیاه بالاتر و یا عملکرد در واحد هکتار کمتر است، بالاتر است. بر اساس نتایج برای کاهش ردپای‌آب در تولید گندم باید بر روی ردپای‌آب آبی تمرکز صورت گیرد.



نمودار (۱) میانگین اجزای ردپای آب گندم به تفکیک استانی طی دوره زمانی ۱۳۹۹-۱۳۷۹

Chart (1)The average water footprint components of wheat by province during 1379-1399

تابع تولید مرزی تصادفی در تولید گندم

به‌منظور برآورد کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید گندم در ایران از دو دسته مدل کارایی ثابت در زمان و مدل کارایی متغیر در طول زمان بهره گرفته‌شد، از بین این دو مدل، مدل کارایی متغیر در طول زمان به عنوان مدل برتر انتخاب و میزان کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی با استفاده از این روش برآورد شد. شکل‌های تابعی مدل مرزی تصادفی مورداستفاده در این پژوهش کاب‌داگلاس و ترانسلوگ می‌باشد. برای انتخاب شکل تابعی مناسب، مدل لگاریتم راستنمایی هر دو تابع استخراج و آماره نسبت راستنمایی تعمیم‌یافته، محاسبه شد (میزان آماره محاسبه شده ۱۱۷/۹۲). بنابراین میزان آماره محاسبه شده از آماره جدول (۲۰/۵۱) بزرگتر بوده و فرضیه صفر رد و تابع تولید ترانسلوگ پذیرفته شد. همچنین نتایج نشان داد که متغیرهای مؤثر بر ناکارایی در مدل ناکارایی فنی، بر کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید گندم تأثیرگذار هستند و روش برآورد حداکثر راستنمایی به روش حداقل مربعات معمولی ترجیح داده می‌شود. ازاین‌رو، می‌توان کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید گندم را در هر یک از استان‌ها به‌دست آورد. بنابراین با توجه به نتایج آزمون فرضیه‌ها، تابع تولید مرزی تصادفی تولید گندم با استفاده از روش حداکثر راستنمایی همزمان با مدل ناکارایی برآورد گردید تا اثرگذاری های این عامل‌ا بر کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی استان‌ها مشخص شود.

نتایج برآورد تابع تولید مرزی تصادفی برای محصول گندم، با استفاده از مدل کارایی متغیر در طول زمان، در جدول (۲) ارائه شده‌است. نتایج این بخش نشان می‌دهد که در طول زمان متغیرهای نهاده‌ترکیبی، نیروی‌کار، ردپای آب آبی و ردپای آب سبز اثر معنی‌داری بر تولید گندم دارند. در این راستا، ضریب مثبت متغیر نهاده ترکیبی و ردپای آب سبز بیانگر این است که با فرض ثبات دیگر شرایط، افزایش ۱ درصدی در میزان هر یک از این نهاده‌ها، افزایش حدود ۱ درصدی تولید گندم در بین استان‌های کشور را به‌دنبال خواهد داشت. براین مبنا، استفاده از آب ناشی از بارندگی برای آبیاری منجر به افزایش تولید گندم در ایران شده است. در بررسی‌های مختلفی اثرگذاری متغیر بارش بر میزان تولیدهای مختلف بخش کشاورزی در ایران مثبت و معنی‌دار گزارش شده است (Kikha et al., 2020; Mojavarian, et al., 2015). همچنین نتایج نشان می‌دهد که در بین نهاده‌های اثرگذار بر تولید، نهاده‌ترکیبی و ردپای‌آب سبز در تولید گندم، بیشترین تأثیر مثبت را بر بهبود ارزش تولید داشته است. بنابراین پایین‌بودن میزان تولید گندم حاکی از سطح پایین انباشت نهاده‌ترکیبی

در تولید گندم و همین‌طور کم‌بودن میزان بارش در سطح کشور است. همچنین ضریب متغیر نیروی‌کار در سطح ۱ درصد از لحاظ آماری معنی‌دار و دارای اثرگذاری منفی بر تولید گندم است. ضریب این متغیر در تابع تولید برآورد شده بیانگر این است که با افزایش ۱ درصدی در میزان نیروی‌کار در شرایط ثابت، میزان تولید گندم ۰/۰۴ درصد کاهش می‌یابد. هرچند ضریب به‌دست‌آمده در سطح پایینی قرار دارد اما در بررسی‌های دیگر نیز این نتیجه به دست آمده است (Omrani & Farajzadeh, 2015). بنابراین با توجه به نبود زمینه مساعدت نیروی‌کار در تولید گندم، انتظار می‌رود با افزایش درجه مکانیزانسیون، میزان تولید گندم در ایران افزایش یابد. همچنین می‌توان این الگوی اثرگذاری نیروی‌کار بر تولید را متأثر از ساختار نهادی و خانوادگی فعالیت کشاورزی تلقی کرد. افزون بر این، اثرگذاری متغیر ردپای‌آب آبی بر میزان تولید گندم در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. به عبارت دیگر، میان میزان نیازآبی و تولید گندم در ایران رابطه مثبت وجود دارد. پایین بودن اثرگذاری ردپای‌آب آبی، از پایین بودن بهره‌وری آب آبیاری در ایران حکایت دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که اثرگذاری متغیر ردپای‌آب خاکستری بر میزان تولید گندم منفی است که البته این متغیر از لحاظ آماری معنی‌دار نیست. منفی بودن ضریب این متغیر مؤید این نکته است که کنترل هزینه‌های محیط‌زیستی برای رشد تولید گندم ضروری است.

نتایج برآورد مدل ناکارایی (جدول ۲) نیز نشان می‌دهد که کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید گندم برای منطقه‌های با تولید ناخالص‌داخلی‌سرانه و میزان بارندگی بالاتر، بیشتر است. به‌عبارتی، متغیرهای تولید ناخالص‌داخلی‌سرانه و میزان بارندگی سالانه اثرگذاری منفی بر ناکارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید گندم دارند. بنابراین انتظار می‌رود با افزایش میزان این دو متغیر، کارایی اقتصادی-محیط زیستی تولید گندم افزایش یابد. به طور معمول از متغیر تولید ناخالص‌داخلی‌سرانه به‌عنوان متغیر بیان‌گر سطح توسعه‌یافتگی و برخورداری نیز یاد می‌شود (Wu, 2012; Farajzadeh and Nematollahi, 2018). بنابراین می‌توان گفت استان‌های برخوردار از سطح کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی بالاتری برخوردار هستند. این درحالی است که با افزایش دما کارایی اقتصادی-محیط زیستی تولید گندم کاهش خواهد یافت. برحسب ادبیات موجود افزایش دما می‌تواند از طریق فرسایش نهاده‌ترکیبی و همچنین اثرگذاری مستقیم بر تولید موجب ایجاد نوسان منفی در تولید و درپی‌آن

ناکارایی شود (Fankhauser & Toll, 2005; Tsigaris & Wood, 2019). ضریب نسبت سطح آبیاری به کل سطح زیرکشت، از لحاظ آماری معنی‌دار نیست. همچنین، ضریب‌های مثبت متغیر زمان نشان می‌دهد که ناکارایی‌های اقتصادی-محیط‌زیستی تولید گندم در طول دوره‌زمانی مورد بررسی که دیگر متغیرها کنترل می‌شوند، افزایش می‌یابد. اگر با رعایت احتیاط متغیر روند زمانی را معادل رشد فناوری تلقی کنیم بنابراین ضمن اشاره به اثر مثبت فناوری بر افزایش کارایی باید اذعان کرد که برحسب سطح فناوری مورد استفاده میان استان‌ها تفاوت وجود دارد.

جدول(۲) نتایج برآورد کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید گندم با مدل کارایی متغیر در طول زمان

Table (2) The results of estimating the economic-environmental efficiency of wheat production with variable efficiency model over time

متغیرها Variable	ضریب‌ها Coefficients	آماره t T statistics	متغیرها Variables	ضریب‌ها Coefficients	آماره t T statistics
تابع تولید مرزی تصادفی stochastic frontier production function			مدل ناکارایی Inefficiency model		
عرض‌از مبدا	1.15	1.15	تولیدناخالص‌سرانه GDP Per Capite	-0.0031 ***	-2.5
نهاده‌ترکیبی Composite input	0.97 ***	9.7	نسبت‌اراضی آبی land irrigated area	0.0011	0.22
نیروی‌کار Labor	-0.046 ***	-6.21	دماTempreture	0.13 ***	3.47
ردپای‌آب‌آبیBlue WF	0.15 ***	3.07	میزان‌بارشPerception	-0.036 ***	-11.69
ردپای‌آب‌سبزGreen WF	0.97 ***	2.2	روندزمانTrend	0.14 ***	2.14
ردپای‌آب خاکستریGrey WF	-0.03	-0.37	η	-2.81 ***	-4.03

*و **و ***به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱۰، ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد.

در روش تحلیل مرزی تصادفی، پس از برآورد تابع تولید مرزی مشخص شد که مدل برآوردی تولید مرزی با فناوری متغیر در زمان مورد تأیید است. بنابراین با استفاده از این مدل کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید گندم در سطح استان‌ها محاسبه شد. نتایج به دست آمده از کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید گندم در طی دوره زمانی ۱۳۹۹-۱۳۸۵ در جدول (۳) گزارش شده‌است. باتوجه‌به نتایج ارائه‌شده در جدول (۳) بالاترین کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی در سال‌های ۱۳۹۴، ۱۳۹۶ و

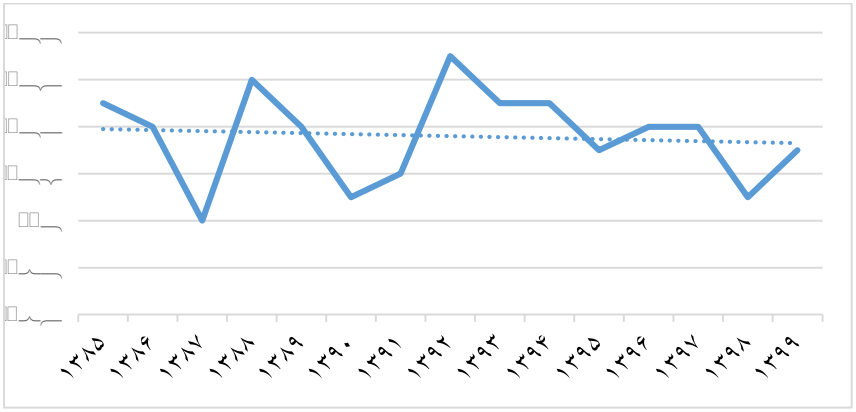
۱۳۹۷ مربوط به استان اردبیل با میزان۰/۹۶ می‌باشد. میانگین کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید گندم در این استان به نسبت بالا است. همچنین این استان از میزان بارش و در نتیجه ردپای‌آب سبز بالایی بهره‌مند است که این خود از علت‌های بالا بودن میزان کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی در این استان است. کمترین کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی در سال ۱۳۹۸ و مربوط به استان اصفهان با میزان ۰/۵۲ به‌دست آمد. این استان با میانگین کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی ۰/۸۰ در طی دوره زمانی ۱۳۹۹-۱۳۸۵ کارایی کمتری نسبت به بیشتر استان‌های کشور داشته است. لازم‌به یادآوری است که این استان دارای ردپای‌آب خاکستری بسیار بالایی در تولید گندم است که نتایج نشان داد افزایش این عامل موجب کاهش کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی در تولید محصول گندم می‌شود. افزون بر این، نتایج نشان می‌دهند که میزان کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی استان اصفهان از میانگین کشور پایینتر است و در سطح‌های انتهایی قرار دارد.

همچنین میانگین کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید گندم در کشور برای دوره زمانی ۱۳۹۹-۱۳۸۵ در نمودار (۲) نشان می‌دهد که کمترین و بیشترین میزان کارایی تولید گندم کشور به ترتیب متعلق به سال‌های ۱۳۸۷ (۰/۸۰) و ۱۳۹۲(۰/۸۷) است. نکته بااهمیت آن‌است‌که روند خاصی قابل مشاهده نیست. بنابراین می‌توان گفت بنابر نتایج ارایه‌شده زمان عاملی در برای افزایش کارایی بوده است اما این عامل به‌تنهایی برای ایجاد روند افزایشی در میزان میانگین کارایی کافی نبوده است و سایر عامل‌های اثرگذار توانسته‌اند به‌گونه‌ای در روند کارایی نوسان ایجاد کنند که اثرگذاری افزایشی عامل زمان قابل‌مشاهده نیست.

جدول (۳) کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی گندم طی دوره ۱۳۹۹-۱۳۸۵

Table (3) The economic-environmental efficiency of wheat during the period 1385-1399

1399	1398	1397	1396	1395	1394	1393	1392	1391	1390	1389	1388	1387	1386	1385	Provine/year	استان / سال
0.69	0.76	0.57	0.60	0.76	0.82	0.84	0.88	0.85	0.78	0.79	0.78	0.73	0.77	0.86	East Azarbaijan	آذربایجان شرقی
0.87	0.87	0.87	0.86	0.86	0.86	0.84	0.88	0.86	0.81	0.83	0.88	0.83	0.83	0.88	West Azarbaijan	آذربایجان غربی
0.89	0.91	0.96	0.96	0.59	0.96	0.95	0.95	0.87	0.74	0.68	0.87	0.90	0.77	0.80	Ardebil	اردبیل
0.85	0.52	0.85	0.84	0.84	0.85	0.82	0.78	0.82	0.80	0.87	0.79	0.71	0.79	0.86	Isfahan	اصفهان
0.90	0.90	0.90	0.89	0.89	0.89	0.87	0.88	0.86	0.90	0.90	0.87	0.79	0.90	0.87	Ilam	ایلام
0.89	0.89	0.89	0.88	0.88	0.88	0.87	0.87	0.70	0.77	0.85	0.85	0.75	0.83	0.87	Alborz	البرز
0.85	0.86	0.85	0.86	0.83	0.84	0.84	0.77	0.73	0.72	0.78	0.83	0.67	0.80	0.85	Bushehr	بوشهر
0.87	0.86	0.86	0.86	0.84	0.85	0.85	0.86	0.86	0.81	0.88	0.88	0.83	0.82	0.87	Tehran	تهران
0.85	0.85	0.84	0.84	0.84	0.83	0.80	0.76	0.85	0.82	0.81	0.85	0.75	0.85	0.87	Chaharmahal & Bakhtiari	چهارمحال و بختیاری
0.80	0.80	0.79	0.79	0.78	0.77	0.83	0.89	0.89	0.86	0.86	0.84	0.67	0.80	0.87	Southern Khorasan	خوزستان
0.88	0.88	0.88	0.87	0.87	0.87	0.84	0.88	0.81	0.81	0.85	0.89	0.79	0.85	0.79	Khorasan Razavi	خراسان جنوبی
0.84	0.78	0.77	0.77	0.77	0.76	0.79	0.87	0.82	0.81	0.87	0.84	0.65	0.82	0.77	North Khorsan	خراسان رضوی
0.73	0.72	0.74	0.69	0.70	0.70	0.81	0.81	0.68	0.87	0.82	0.85	0.85	0.85	0.89	Khuzestan	خراسان شمالی
0.86	0.86	0.85	0.85	0.84	0.84	0.80	0.89	0.67	0.67	0.90	0.85	0.80	0.80	0.90	Zanjan	زنجان
0.86	0.86	0.85	0.85	0.84	0.84	0.82	0.82	0.85	0.90	0.91	0.87	0.79	0.90	0.87	Semnan	سمنان
0.90	0.90	0.90	0.89	0.90	0.89	0.89	0.91	0.83	0.89	0.89	0.90	0.88	0.88	0.84	Sistan & Baluchestan	سیستان و بلوچستان
0.84	0.83	0.82	0.83	0.81	0.82	0.81	0.84	0.77	0.77	0.79	0.79	0.75	0.81	0.82	Fars	فارس
0.86	0.86	0.86	0.85	0.85	0.85	0.86	0.85	0.87	0.85	0.83	0.79	0.75	0.79	0.89	Qazvin	قزوین
0.89	0.89	0.88	0.88	0.88	0.87	0.74	0.86	0.85	0.62	0.76	0.88	0.85	0.84	0.86	Qom	قم
0.89	0.89	0.84	0.83	0.83	0.82	0.90	0.89	0.83	0.83	0.87	0.90	0.82	0.87	0.90	Kordestan	کردستان
0.87	0.83	0.88	0.90	0.89	0.89	0.87	0.90	0.87	0.83	0.87	0.85	0.82	0.85	0.86	Kerman	کرمان
0.81	0.81	0.81	0.80	0.80	0.79	0.84	0.89	0.89	0.85	0.87	0.87	0.82	0.84	0.86	Kermanshah	کرمانشاه
0.90	0.90	0.89	0.88	0.88	0.88	0.87	0.89	0.89	0.85	0.80	0.84	0.82	0.85	0.85	Kohgiluyeh & Boyer Ahmad	کهکیلویه و بویر احمد
0.83	0.83	0.82	0.81	0.82	0.81	0.80	0.87	0.74	0.82	0.88	0.84	0.78	0.78	0.77	Golestan	گلستان
0.89	0.89	0.88	0.88	0.89	0.88	0.88	0.91	0.85	0.90	0.83	0.93	0.94	0.92	0.89	Guilan	گیلان
0.79	0.83	0.54	0.72	0.79	0.88	0.86	0.91	0.86	0.84	0.80	0.79	0.86	0.79	0.80	Lorestan	لرستان
0.95	0.89	0.87	0.87	0.87	0.87	0.88	0.90	0.83	0.87	0.81	0.93	0.94	0.91	0.88	Mazandaran	مازندران
0.59	0.54	0.86	0.86	0.86	0.86	0.87	0.89	0.86	0.82	0.89	0.90	0.86	0.87	0.87	Markazi	مرکزی
0.92	0.91	0.87	0.87	0.86	0.87	0.86	0.83	0.77	0.77	0.87	0.89	0.78	0.90	0.86	Hormozgan	هرمزگان
0.90	0.90	0.90	0.90	0.89	0.89	0.88	0.90	0.83	0.83	0.84	0.86	0.72	0.80	0.83	Hamedan	همدان
0.88	0.85	0.85	0.84	0.84	0.82	0.82	0.87	0.85	0.86	0.83	0.87	0.88	0.88	0.85	Yazd	یزد
0.83	0.81	0.84	0.84	0.83	0.85	0.85	0.87	0.82	0.81	0.84	0.86	0.80	0.84	0.85	Average	میانگین
0.95	0.91	0.96	0.96	0.90	0.96	0.95	0.95	0.89	0.90	0.91	0.93	0.94	0.92	0.90	Max	بیشینه
0.59	0.52	0.54	0.60	0.59	0.70	0.74	0.76	0.67	0.62	0.68	0.78	0.65	0.77	0.77	Min	حداقل



نمودار(۲) میانگین سالانه کارایی تولید گندم در کشور (۱۳۸۵-۱۳۹۹)

Chart (2) Annual average wheat production efficiency in the country (1385-1399)

نتایج توزیع فراوانی و درصد کارایی اقتصادی-محیطزیستی تولید گندم در استان‌های ایران با برآورد مدل مرزی تصادفی در جدول (۴) ارائه شده‌است. هرچه میزان کارایی اقتصادی-محیطزیستی منطقه‌ای به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی کارابودن آن منطقه است؛ به این معنی که بهترین استفاده از منبع های در دسترس برای بیشینه‌کردن میزان تولید و هم‌زمان کاهش تأثیرهای محیط-زیستی از طریق انتشار آلاینده‌ها است، صورت پذیرفته است (Robaina-Alves et al., 2015). بر این مبنا، میانگین کارایی اقتصادی-محیطزیستی تولید گندم ۳۱ استان در طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹ با استفاده از مدل مرزی تصادفی ۰/۸۴ به‌دست آمده‌است. بنابراین در صورت پر کردن شکاف فنی کشاورزان استان‌های مختلف با بهترین استان از حیث کارایی همزمان اقتصادی و محیطزیستی تولید گندم می‌توان میزان کارایی اقتصادی-محیطزیستی را به‌طور میانگین تا ۱۶ درصد افزایش داد. همچنین کمترین کارایی اقتصادی-محیطزیستی در بین استان‌های مورد بررسی ۰/۵۲ و بیشترین آن ۰/۹۶ است. به‌عبارت‌دیگر، اختلاف کارایی اقتصادی-محیطزیستی میان کارآمدترین و ناکارآمدترین استان در زمینه تولید گندم ۰/۴۴ درصد است که میزان قابل‌توجهی است و نشان از قابلیت افزایش کارایی اقتصادی-محیطزیستی در ایران دارد.

جدول(۴) توزیع فراوانی و درصد کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید گندم در ایران

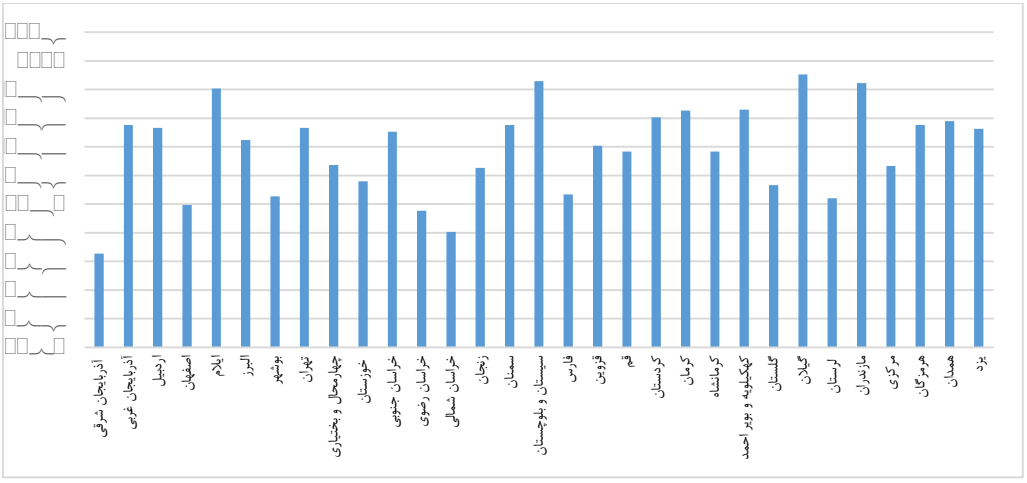
Table (4)Frequency distribution and percentage of economic-environmental efficiency of wheat production in Iran

دامنه کارایی **Efficiency range**	فراوانی **Frequency**	درصد **Percent**
0.5≤ TE<0.7	**17**	**3.66**
0.7≤ TE<0.9	**397**	**85.38**
0.9< TE	**51**	**10.96**
TE=1	**0**	
میانگین **Average**	**0.84**	
بیشینه **Max**	**0.96**	
کمینه **Min**	**0.52**	

از سویی با توجه به جدول (۴)، کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی بیش از ۳/۶ درصد استان‌ها بین ۰/۵ تا ۰/۷، ۸۵ درصد استان‌ها بین ۰/۷ تا ۰/۹ و کارایی بیش از ۱۰ درصد استان‌ها بیش از ۰/۹ است. در واقع، بیشترین فراوانی کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی در دامنه ۰/۷ تا ۰/۹ است. برخلاف میانگین به نسبت بالای کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی استان‌های کشور، اختلاف میان کارآمدترین و ناکارآمدترین استان در زمینه تولید گندم قابل‌توجه است. بنابراین، فضای لازم برای بهبود کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی بین استان‌ها وجود دارد.

میانگین کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید گندم استان‌های کشور در بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹ در نمودار (۳) ارائه شده‌است. باتوجه‌به نتایج، استان‌های آذربایجان‌شرقی، خراسان‌شمالی و خراسان‌رضوی کمترین کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی و استان‌های گیلان، سیستان‌وبلوچستان، مازندران و ایلام به‌ترتیب بیشترین کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید گندم را به‌خود اختصاص داده‌اند. لازم به توضیح است هر چند استان سیستان و بلوچستان در اقلیم خشک واقع شده است اما پائین بودن مصرف نهاده‌ها بویژه کودهای شیمیایی (۱۳۸ کیلوگرم در هکتار) باعث شده است از کارایی بالاتری برخوردار باشد. باتوجه به اینکه میانگین کل کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید گندم در کشور در حدود ۰/۸۴ درصد به دست آمده‌است، میزان کارایی برای ۱۷ استان شامل آذربایجان‌غربی، اردبیل، ایلام، البرز، تهران، خراسان‌جنوبی، سمنان، سیستان‌وبلوچستان، قزوین،

کردستان، کرمان، کهگیلویه‌وبویراحمد، گیلان، مازندران، هرمزگان، همدان، یزد، گلستان، کرمانشاه، زنجان، چهارمحال‌وبختیاری، همدان، گیلان، خراسان‌رضوی، بالاتر از میانگین کشوری است و برای ۱۴ استان شامل بوشهر، فارس، مرکزی، لرستان، اصفهان، آذربایجان‌شرقی، خراسان‌شمالی، قم، خوزستان، گلستان، کرمانشاه، زنجان، چهارمحال‌وبختیاری و خراسان‌رضوی کارایی کمتر از میانگین کشوری است.



نمودار (۳) میانگین کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید گندم به تفکیک استان‌های ایران طی دوره۱۳۹۹-۱۳۸۵

Chart(3) The average economic-environmental efficiency of wheat production by provinces of Iran during the period 1385-1399

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید گندم بر مبنای ردپای‌آب با استفاده از روش SFA برآورد شد. بنابر نتایج، میانگین اجزای این شاخص برای تولید گندم در ایران بالاتر از میانگین جهانی است که با ایجاد راهکارهایی مانند گسترش روش‌های آبیاری نوین، استفاده از رقم‌های اصلاح شده مقاوم و با عملکرد بالا و کاربرد بهینه کودهای شیمیایی می‌توان با کاهش حجم آب در تولید گندم، وضعیت شاخص ردپای‌آب در ایران را بهبود بخشید. همچنین بنابر نتایج ردپای‌آب آبی

اثرگذاری منفی و ردپای‌آب سبز اثرگذاری مثبت بر تولید گندم در ایران دارد. این وضعیت نشان می‌دهد که الگوی تولید گندم در بین استان‌های کشور با الگوهای توزیع شرایط آب و بارش هموخوانی چندانی ندارد، به این معنی که در استان‌هایی که میزان بارش و ردپای‌آب سبز بالاست به حتم تولید گندم بیشتر نیست؛ به‌طورمثال استان‌های خوزستان، کرمان و فارس که بالاترین میزان تولید گندم را دارند ردپای‌آب سبز به نسبت پایینی داشته‌اند.

همچنین نتایج نشان می‌دهد، استان‌های آذربایجان‌شرقی، خراسان‌شمالی و خراسان‌رضوی کمترین کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی را در تولید گندم در بین استان‌های کشور دارند که بخشی از آن به دلیل به نسبت بالا بودن ردپای آب آبی در این استان‌ها می باشد. استان‌های گیلان، مازندران و ایلام به دلیل بارش فراوان و بالا بودن ردپای‌آب سبز، بالاترین کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی را داشته‌اند. با اندازه‌گیری کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید گندم در استان‌های مختلف، می‌توان برای هر استان به ارائه‌ی هدف‌های جداگانه‌ای پرداخت. به‌طوری‌که برای استان‌های با کارایی کمتر و استان‌های با کارایی بیشتر هدف‌های جداگانه‌ای طرح شود. از سوی دیگر در اقتصادهایی که سطح فعالیت اقتصادی پایینی دارند، قانون‌ها و الزام‌های محیط‌زیستی که از سوی دولت مقرر شده ناکارآمد هستند. زیرا کاهش آلودگی نیازمند صرف هزینه است. براین مبنا، توصیه می‌شود در پژوهش‌های آتی اثرگذاری‌های سرمایه‌انسانی و اجتماعی بر کارایی اقتصادی-محیط‌زیستی تولید محصول‌های کشاورزی ارزیابی شود. همچنین ضرورت دارد برای کاهش آلودگی و حفظ محیط‌زیست با توجه به وضعیت استان‌های مختلف با توجه به ردپای آب در تولید گندم و کارایی اقتصادی- محیط‌زیستی روش‌های زیر دنبال شود: تغییر شیوه تولید، مدیریت کارآمدتر و استفاده از فناوری‌های برتر توسط استان‌های ناکارا (به عنوان مثال شیوه‌های نوین آبیاری برای کاهش ردپای‌آب آبی)، استفاده از کودهای سبز و کودهای شیمیایی کم‌خطر و مورد تایید نهادهای پژوهشی جهانی برای کاهش ردپای‌آب خاکستری به عنوان یکی از عامل‌های کاهنده میزان کارایی را نام برد. از سوی دیگر انگیزه‌های‌تشویقی و تنبیه برای کشاورزان نیز بسیار کارساز است. دولت باید برای تشویق بخش‌های کارا تدابیری انگیزشی بیندیشد برای مثال می‌تواند اولویت کاربرد منبع های با قیمت‌های کمتر را در اختیار کشاورزانی که با کاربرد کودهای شیمیایی و سمم های شیمیایی کمتر، آلودگی محیط‌زیستی کمتری تولید می‌کنند، قرار دهد. پرداخت یارانه به تولیدکنندگان کارا نیز موثر می‌باشد. از سوی

دیگر، باید مقررات محیط‌زیستی برای تولیدکنندگان تنظیم شود. برقراری مالیات بر محصول نامطلوب برای افزایش انگیزه تولیدکنندگان و کشاورزان در جهت به کارگیری روش‌ها و فناوری‌های سازگار با محیط‌زیست نیز بسیار کارساز خواهد بود.

منبع‌ها:

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.

Agustina, S. (2016). The influence of technical inefficiency level that involve farmer's behaviour on risk towards profit in rice production of Indonesia. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, *58*(10).

Aigner, D., Lovell, C. K., and Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. Journal of Econometrics, 6(1): 21-37.

Battese, G. E., and Coelli, T. J. (1995). A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. Empirical Economics, 20(2): 325-332.

Bonfiglio, A., Arzeni, A., and Bodini, A. (2017). Assessing eco-efficiency of arable farms in rural areas. Agricultural Systems, 151, 114-125.

Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., and Savenije, H. H. (2006). Water saving through international trade of agricultural products. Hydrology and Earth System Sciences, 10(3): 455-468.

Dashti, Q., Mohammadpour, Z and Ghahramanzadeh, M. (2020). Evaluating the relationship between economic efficiency and environmental efficiency in Iran's agricultural sector. Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 30 (4): 199-211. (In Farsi)

Döll, P., and Siebert, S. (2002). Global modeling of irrigation water requirements. Water resources research, 38(4): 8-1.

Emami Meybodi, A., Karimian, Z. And Rahmani Sefati, M. (2011). Measuring technical efficiency and productivity of Iranian petrochemical complexes (2001-2007). Journal of Energy Economics Studies, 29, 61-81. (In Farsi)

Fankhauser S., and Tol R.S. 2005. On climate change and economic growth. *Resource and Energy Economics 27*(1) :1-17.

Fathi, F., Sheikhzeinoddin, A., and Talebnejad, R. (2020). Environmental and economic risk management of seed maize production in Iran. *Journal of Cleaner Production*, *258*, 120772.

Forleo, M. B., Palmieri, N., Suardi, A., Coaloa, D., and Pari, L. (2018). The eco-efficiency of rapeseed and sunflower cultivation in Italy. Joining environmental and economic assessment. Journal of Cleaner Production, 172, 3138-3153.

Ho, T. Q., Hoang, V. N., Wilson, C., and Nguyen, T. T. (2018). Eco-efficiency analysis of sustainability-certified coffee production in Vietnam. Journal of cleaner production, 183, 251-260.

Hoekstra, A. Y., and Mekonnen, M. M. (2012). The water footprint of humanity. Proceedings of the national academy of sciences, 109(9): 3232-3237.

Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. (2007). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Management*, *21*(1): 35–48.

Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. (2008). Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources. *Blackwell Publishing, Oxford, UK*.

Jaramillo, F., and Destouni, G. (2015). Local flow regulation and irrigation raise global human water consumption and footprint. *Science*, *350*(6265): 1248-1251.

Kikha, A., Khanlari, A., Kikha, A. And Saboohi, M. (2020). The effect of climate change on land use and agricultural performance of Mazandaran province. Journal of Environmental Science and Technology, 22 (10): 93-104. (In Farsi)

Li, N., Xiao, X., Cao, G., and He, B. (2017). Agricultural eco-environment efficiency and shadow price measurement in Three Gorges Reservoir area under non-point source pollution constraints. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, *33*(11): 203-210.

Lovarelli, D., Bacenetti, J., and Fiala, M. (2016). Water Footprint of crop productions: A review. *Science of the Total Environment*, *548*, 236-251.

Mehregan, F. And Sidboyer, s. (2020). Investigating the Cost Effect of Environmental Pollution on Efficiency (Case Study: Economic Zones of China). Journal of Environmental Science and Technology, 22 (8): 363-376. (In Farsi)

Mekonnen, M. M., and Hoekstra, A. Y. (2010). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crops products. Hydrolgical Earth System Science, 15, 1577–1600.

Mekonnen, M. M., and Hoekstra, A. Y. (2011). *The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products*. (Value of Water Research Report Series; No. 48). Delft: Unesco-IHE Institute for Water Education.

Mojavarian, M., Ahmadi Keliji, S. And Amin-Ravan, M. (2016). Application of Ricardin method in studying the effect of climate change on agricultural land rents, 481,1-491. (In Farsi)

Molaei, M. and Molaei, F. (2015). Estimation of environmental efficiency of agriculture, agricultural knowledge and sustainable production, 25 (2): 91-101. (In Farsi)

Molaei, M., and Sani, F. (2015). Estimation of technical efficiency and environmental efficiency of Sarab dairy farms (data envelopment analysis approach). Animal Sciences Research, Scientific Research Journal of the Faculty of Agriculture, University of Tabriz, 25 (4), 141-155. (In Farsi)

Molaei, M., Hesari, N. Javan-Bakht, A. (2017). Estimating the environmental efficiency of input-oriented agricultural products (Case study: Environmental efficiency of rice production). Agricultural Economics (Economics and Agriculture), 11 (2), 157-172. (In Farsi)

Nowruzian, M., Esfandiari, M., Hosseini, M. And Musapur, Sh. (2019). Investigation of environmental efficiency of cotton growers in the country. Journal of Natural Environment, 72 (3): 389-402. (In Farsi)

Omrani, M. and Farajzadeh, Z. (2015). The role of capital types in the growth of Iran's agricultural sector. Agricultural Economics Research, 1 (7): 20-28. (In Farsi)

Rasooli Majd, N., Montaseri, M., Bahmanesh, J., and Rezaei, H. (2015). Identification and evaluation of the water footprint index, broken down by water, green water and gray water, by applying climate change. Master's Thesis, Faculty of Agriculture, Urmia University (In Farsi).

Robaina-Alves, M., Moutinho, V., and Macedo, P. (2015). A new frontier approach to model the eco-efficiency in European countries. *Journal of Cleaner Production*, *103*, 562-573.

Schaltegger, S., and Sturm, A. (1990). Ökologische rationalität: ansatzpunkte zur ausgestaltung von ökologieorientierten managementinstrumenten. *Die Unternehmung*, 273-290.

Song, J., and Chen, X. (2019). Eco-efficiency of grain production in China based on water footprints: A stochastic frontier approach. *Journal of Cleaner Production*, *236*, 117685.

Statistical Center of Iran. (2020). Retrieved from https://nnt.sci.org.ir/sites/Apps/yearbook/Lists/year_book_req/Item/newifs.aspx.

Thanawong, K., Perret, S. R., and Basset-Mens, C. (2014). Eco-efficiency of paddy rice production in Northeastern Thailand: a comparison of rain-fed and irrigated cropping systems. *Journal of Cleaner Production*, *73*, 204-217.

Tsigaris, P., and Wood, J. (2019). The potential impacts of climate change on capital in the 21st century. *Ecological economics*, *162*, 74-86.

Wu, J., and Wu, T. (2012). Sustainability indicators and indices: an overview. *Handbook of sustainability management*, 65-86.

Yadollahi, A. (2020). Analysis of grain technology in Iran. Third International Conference on Interdisciplinary Studies in Food Industry and Nutrition Sciences, Iran, Tehran (1399). (In Farsi)

Zhang, C., and Anadon, L. D. (2014). A multi-regional input–output analysis of domestic virtual water trade and provincial water footprint in China. *Ecological Economics*, *100*, 159-172.

Zhang, J., Terrones, M., Park, C. R., Mukherjee, R., Monthioux, M., Koratkar, N., and Chen, Y. (2016). Carbon science in 2016: Status, challenges and perspectives. *Carbon*, *98*(70): 708-732

Doi: 10.22034/IAES.2022.547974.1909

Agricultural Economics/Volume 16/Issue 3/1401

Measurement of eco-efficiency of wheat based on water footprint

Hamed Ghiyasi,Azar Sheikhzeinoddin[1]

Received: 1 Feb.2022 **Accepted:14 June.2022**

Extended Abstract

Abstract

Economic Ecological Efficiency is defined as the efficiency of using environmental resources to meet human needs. This concept can be considered as a suitable criterion for evaluating the sustainability of production and its economic efficiency. Due to the fact that the production of agricultural products is associated with environmental effects and the highest amount of water consumption is used to produce agricultural products on a global scale, so in this study, in order to investigate the environmental effects of wheat production, water index was used. For this purpose, first the traces of wheat water in the provinces of the country during the period 2000-2011 were calculated and then the economic- ecological efficiency of wheat production was estimated. The results of water footprint calculation showed that the provinces of Gilan, South Khorasan, Semnan and Sistan and Baluchestan have the average total of more water footprint in wheat production. Also, the average water, green and gray water footprint in the country during the study period was equal to 2625.7, 428.1 and 594.1 cubic meters per ton. The results of estimating the economic-ecological efficiency also showed that among the studied variables, compositional input and green water footprint have the most positive effect on improving the production value of wheat. The results also show that the provinces of East Azerbaijan, North Khorasan and Khorasan Razavi have the lowest average efficiency and the provinces of Gilan, Sistan and Baluchestan, Mazandaran and Ilam have the highest economic- ecological efficiency of wheat production, respectively. The average total economic-environmental efficiency

[1]Respectively: Ph.D Candidate & Assistant Professor Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
Email: azeinoddin@shirazu.ac.ir

of wheat production was estimated to be 0.84. Also, the results of estimating the inefficiency model showed that the economic-ecological efficiency of crop production is higher for areas with per capita GDP and higher rainfall. Therefore, it is suggested that in provinces with lower eco-efficiency, in order to preserve the environment, new irrigation methods are used to reduce the blue water footprint, and green fertilizers and low-risk chemical fertilizers are used to reduce the gray water footprint.
Keywords: Economic-ecological efficiency, Water footprint, Wheat, Stochastic frontier production function

Introduction

Iran is located in an arid and semi-arid region with diverse climates (hot and humid Caspian coasts, moderate central plateau, hot and dry south and cold mountains) (FAO, 2020). Due to the prevailing climatic diversity in Iran, wheat cultivation is carried out in all provinces of the country. Wheat occupies about 50% of the total cultivated area of Iran's agricultural lands (more than 2 million hectares of irrigated wheat and about 4 million hectares of dryland wheat) and produces about 7 million tons of wheat on average annually. (Agricultural statistics, 2019). According to the domestic demand (about 12 million tons), about 30 to 50 percent of the domestic demand for wheat is supplied through imports (Amarnameh Kavzuri, 2019). The provinces of Kurdistan with 530 thousand hectares, East Azerbaijan with 300 thousand hectares, Hamedan with 260 thousand hectares, Kermanshah with 147 thousand hectares and Zanjan with 245 thousand hectares have allocated the largest area under dry wheat cultivation, and Khuzestan provinces (20%), Fars (12%), Khorasan-Razavi (7%) and Golestan (6%) have taken the first to fourth positions respectively in terms of the area under blue wheat cultivation (Agricultural statistics, 2019).

Since the production of agricultural products is associated with the creation of environmental impacts, especially water and soil pollution (due to the use of pesticides and as a result, the loss of the environmental balance) (Thanawong et al., 2014). Therefore, there is a need for policymakers to have indicators in the field of the effects of agricultural activities on natural resources and the environment, in order to be able to measure the economic and environmental effects (Robaina- Alves et al., 2015). The most common of these indicators is the

water footprint index. This index was first introduced by Hoekstra (2002) and in recent years has been widely used by experts in different countries of the world (Hoeksta & Chapagain, 2007, 2008; Mekonnen & Hoekstra, 2011; Hoekstra & Mekonnen, 2012; Jaramillo & Destouni, 2015; Zhang & Anadon, 2014; Lovarelli, et al., 2016. Zhang et al., 2016; Fathi, et al., 2020).

Methodology

Considering the importance of sustainability of water resources, in this study, by considering the components of water footprint as input in the production function, the efficiency estimation was done using the SFA method for wheat production in Iran. For this purpose, the WF-SFA framework was used to analyze the economic-environmental efficiency of wheat production in this study. Therefore, in this study, in order to estimate the environmental effects, the water footprint index was used and the economic-environmental efficiency of wheat production was estimated. For this purpose, at the beginning, the water footprint components of wheat were calculated in the provinces producing this product. Then the economic-environmental efficiency of wheat production in the provinces of Iran was calculated.

After calculating the water footprint components of wheat in the provinces of the country following Battese & Coelli (1995), an SFA model was created for the wheat production function. The economic-environmental efficiency for the i-th province in the i-th year is defined as the ratio of the actual output to the border output as following equation:

$$E_{it} = \frac{exp\ (X_{it}\,\beta + v_{it} - u_{it}\ )}{exp\ (X_{it}\,\beta + v_{it}\ )} = \exp(-u_{it}\ )$$

Also, the effects of production inefficiency were defined by below equation (Song & Chen, 2019):

$$u_{it} = \boldsymbol{\delta}_0\ + \boldsymbol{\delta}_1\, PG_{it} + \boldsymbol{\delta}_2\, AR_{it} + \boldsymbol{\delta}_3\, IS_{it} + \boldsymbol{\delta}_4\, T_{it} + \boldsymbol{\delta}_t\, t + \ \mathrm{W}_{it}$$

that PG gross domestic product per capita (million tomans), (this variable shows the level of development and prosperity (Wu, 2012; Farajzadeh and Nematollahi, 2018)) of each province, and therefore its low level can be a factor of inefficiency calculated, AR is the amount of annual rainfall, IS is the ratio of the irrigated

cultivated area to the total cultivated area of the province, T is the average annual temperature (average annual temperature of each region in degrees Celsius). The maximum likelihood method was used to simultaneously estimate the parameters (parameters) of the stochastic frontier function and the inefficiency effects model.

Results and dis

According to the results, the average of the components of this index for wheat production in Iran is higher than the world average, which can be achieved by creating solutions such as the expansion of modern irrigation methods, the use of resistant and high-yielding modified cultivars, and the optimal use of chemical fertilizers. Wheat production improved the status of water footprint index in Iran. Also, according to the results, blue water footprint has a negative effect and green water footprint has a positive effect on wheat production in Iran. This situation shows that the pattern of wheat production among the provinces of the country is not very consistent with the patterns of distribution of water conditions and rainfall, which means that in the provinces where the amount of rainfall and green water footprint are high, wheat production is definitely not higher; For example, the provinces of Khuzestan, Kerman and Fars, which have the highest amount of wheat production, have relatively low green water footprints.

Also, the results show that the provinces of East Azerbaijan, North Khorasan and Razavi Khorasan have the lowest economic-environmental efficiency in wheat production among the provinces of the country, which is partly due to the relatively high-water footprint in these provinces. The provinces of Gilan, Mazandaran and Ilam have had the highest economic-environmental efficiency due to abundant rainfall and high green water footprint. By measuring the economic-environmental efficiency of wheat production in different provinces, it is possible to provide separate goals for each province.

JEL Classification: Q01 ،Q25 ،Q56

Keywords: **Economic-ecological efficiency, Water footprint, Wheat, Stochastic frontier production function**