



Evaluating Input-Oriented Cost and Environmental Efficiency in Leishter Plain Wheat Fields: Application of Material balance Principle and Data Envelopment Analysis

Fatemeh Moazzezi*¹ and Saeid Yazdani²

Article history: Submitted: 25 October 2022 Revised: 13 November 2023 Accepted: 2 December 2023 Available Onlin: 2 December 2023	How to cite this article: Moazzezi, F., and Yazdani, S. 2024. Evaluating Input-Oriented Cost and Environmental Efficiency in Leishter Plain Wheat Fields: Application of Material balance Principle and Data Envelopment Analysis, Rural Development Strategies, 11(1): 117-136. DOI: 10.22048/RDSJ.2023.367291.2058
--	--

Abstract

Today, in order to provide food security and respond to the increasing demand due to population growth, most countries, including Iran, have paid special attention to wheat production. The adoption of incentive policies by governments to increase the production of this product has led to the widespread use of various production inputs, including chemical fertilizers, which have the possibility of soil and water pollution. The increase of these pollutions has caused a change of attitude in the field of food production. One of the most important of these attitudes is the sustainable production of sufficient food along with attention to social, economic and environmental dimensions. Therefore, in order to achieve this goal, it is necessary to optimize and increase the environmental efficiency and cost in the consumption of chemical fertilizer inputs. For this purpose, this study has investigated the cost and environmental efficiency of wheat farmers in Gachsaran using Data Envelopment Analysis (DEA) method. The required data were obtained using simple random sampling method and completing the questionnaire from the farmers of Lishter Plain in Gachsaran in 2018. The results showed that the average cost efficiency under the assumption of constant return to scale and variable return to scale is 0.536 and 0.662, respectively, and the average environmental efficiency is 0.569 and 0.691, respectively. Therefore, the improvement in technical efficiency can significantly reduce production costs and environmental inefficiencies for farmers. Therefore, it is recommended that the government, in addition to providing training for farmers on the optimal use of chemical inputs, implement supportive policies to incentivize wheat farmers to transition towards organic cultivation and production. This approach not only enhances farmers' income but also ensures that consumers receive healthier products and improves environmental performance.

Keywords: Cost Efficiency, Environmental Efficiency, Data Envelopment Analysis, Material balance Principle, Gachsaran.

1- Assistant Professor, Economic, Social and Extension Research, Department, Guilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran

2- Department of Agricultural Economics, Faculty of Economics and Agricultural Development, University of Tehran, Karaj, Iran



Corresponding Author: famoazzezi@gmail.com

© 2022, University of Torbat Heydarieh. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).

مقاله پژوهشی

ارزیابی کارایی هزینه و زیست‌محیطی نهاده‌گرا در مزارع گندم دشت لیستر: کاربرد اصل تعادل مواد (MBP) و تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)

فاطمه معززی^{۱*} و سعید یزدانی^۲

تاریخ دریافت: ۳ آبان ۱۴۰۱

تاریخ بازنگری: ۲۲ آبان ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۱ آذر ۱۴۰۲

چکیده

امروزه جهت تأمین امنیت غذایی و پاسخ به تقاضای روز افزون ناشی از رشد جمعیت، اکثر کشورها و از جمله ایران به تولید گندم توجه ویژه دارند. اتخاذ سیاست‌های انگیزشی دولت‌ها جهت افزایش تولید این محصول، زمینه استفاده گسترده‌ی نهاده‌های مختلف تولید، از جمله کودهای شیمیایی که امکان آلودگی خاک و آب را دارد به دنبال داشته است. افزایش این آلودگی‌ها موجب تغییر نگرش در زمینه‌ی تولید غذا شده است. از مهم‌ترین این نگرش‌ها، تولید پایدار غذای کافی در کنار توجه به ابعاد اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی است. بنابراین جهت رسیدن به این هدف، بهینه‌سازی و افزایش کارایی زیست‌محیطی و هزینه در مصرف نهاده‌های کود شیمیایی ضروری است. بدین منظور این مطالعه به بررسی کارایی هزینه و کارایی زیست‌محیطی گندمکاران شهرستان گچساران با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها پرداخته است. داده‌های مورد نیاز با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده و تکمیل پرسشنامه از کشاورزان روستاهای دشت لیستر شهرستان گچساران در سال ۱۳۹۸ بدست آمد. نتایج نشان داد متوسط کارایی هزینه تحت فرض بازده ثابت به مقیاس و بازده متغیر به مقیاس به ترتیب ۰/۵۳۶ و ۰/۶۶۲ و میانگین کارایی زیست‌محیطی تحت فرض بازده ثابت به مقیاس و بازده متغیر به مقیاس به ترتیب ۰/۵۶۹ و ۰/۶۹۱ است. بنابراین امکان کاهش هزینه تولید و عدم کارایی زیست‌محیطی به میزان قابل توجهی برای کشاورزان با بهبود در کارایی فنی نیز وجود دارد. لذا توصیه می‌شود در کنار آموزش کشاورزان در استفاده‌ی بهینه از نهاده‌های شیمیایی، دولت می‌تواند با اتخاذ سیاست‌های حمایتی، گندمکاران را به سمت کشت و تولید ارگانیک این محصول سوق دهد تا ضمن تأمین درآمد آنان، محصول سالمتری به دست مصرف‌کنندگان برسد و عملکرد زیست‌محیطی آن‌ها را بهبود بخشد.

کلمات کلیدی: کارایی هزینه، کارایی زیست‌محیطی، تحلیل پوششی داده‌ها، اصل تعادل مواد، شهرستان گچساران.

۱- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

۲- استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
(*-نویسنده مسئول: famoazzezi@gmail.com)

مقدمه

با بررسی روند رشد جمعیت انتظار می‌رود جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ دو برابر شود و بر این اساس نیاز به غلات و مواد مغذی سه برابر خواهد شد (چندی^۱ و همکاران، ۲۰۱۹). از بین تمام محصولات کشاورزی و غلات در سطح جهان، گندم هم از نظر سطح زیر کشت هم از نظر میزان تولید، به همراه برنج و ذرت، جزء سه محصول عمده‌ی جهان محسوب می‌شود (فائو^۲، ۲۰۲۱). در ایران نیز، بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی میانگین تولید سالانه طی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰، حدود ۱۳ میلیون تن گندم، در کنار حدود ۳/۲ میلیون تن میانگین واردات، سبب شده تا این محصول به عنوان مهمترین گیاه زراعی استراتژیک، از جایگاه ویژه‌ی در امر برنامه‌ریزی، سیاست‌گذاری و تخصیص منابع و نهاده‌ها برخوردار گردد (وزارت جهاد کشاورزی، آمارنامه‌های کشاورزی، سال‌های ۱۳۹۵ الی ۱۴۰۰). حدود ۴۵ درصد از کالری و ۷۰ درصد از پروتئین مصرفی جمعیت ایران، از گندم تأمین می‌شود. این محصول در اغلب سال‌ها بیش از ۷۰ درصد سطح زیرکشت غلات و بیش از ۶۰ درصد کل تولید غلات را به خود اختصاص داده است (آمارنامه‌های کشاورزی، سال‌های ۱۳۹۵ الی ۱۴۰۰). بنابراین جهت تأمین امنیت غذایی و پاسخ به تقاضای روز افزون ناشی از جمعیت رو به رشد، اکثر کشورها بویژه ایران به تولید این محصول توجه ویژه داشته‌اند. اتخاذ سیاست‌های انگیزشی دولت جهت افزایش تولید گندم موجب ترغیب کشاورزان به افزایش سطح زیر کشت شده است. با در نظر گرفتن این که میزان زمین مورد استفاده برای تولید مواد غذایی طی چند دهه گذشته بسیار اندک تغییر کرده است و حتی ممکن است در بخش‌هایی از

جهان به دلیل شهرنشینی کاهش یافته باشد، بار مواد مغذی در واحد سطح به طور پیوسته در حال افزایش است. همه این‌ها نشان می‌دهد که تولید غذا باید بسیار فشرده‌تر و کارآمدتر از همیشه باشد (چندی و همکاران، ۲۰۱۹). این مسأله زمینه مصرف گسترده‌ی نهاده‌های مختلف تولید، از جمله مصرف کودهای شیمیایی را موجب شده است. طبق آمار مجموع کود اوره توزیع شده در سطح کشور طی سال‌های ۱۳۹۷ الی ۱۳۹۹ به ترتیب ۱/۵۹، ۱/۷۷ و ۱/۹۴ میلیون تن بوده است (وزارت جهاد کشاورزی، آمارنامه‌های کشاورزی).

کودها با غنی‌سازی خاک، وضعیت مواد مغذی و کیفیت خاک را بهبود می‌بخشند اما تنها زمانی که در دوز بهینه و توصیه شده استفاده شوند برای رشد محصول، عملکرد آن، پارامترهای کیفی و حتی برای سلامت خاک بسیار مهم هستند. گیاهان زراعی برای حفظ عملکرد فیزیولوژیکی طبیعی سلول خود به عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم نیاز دارند (هیجک^۳ و همکاران، ۲۰۱۸). به همین ترتیب از بین ۱۶ عنصر ضروری مورد نیاز برای رشد و نمو گیاهان، نیتروژن مقام اول را به خود اختصاص داده، و کمبود آن باعث کندی رشد و محدودسازی عملکرد کمی و کیفی می‌شود، اما استفاده بیش از حد از نیتروژن منجر به تاخیر در بلوغ و کیفیت پایین برگ می‌شود (شارما و چیتانی^۴، ۲۰۱۷). حتی زمانی که این مواد شیمیایی در شرایط ایده‌آل استفاده می‌شوند، میانگین میزان جذب نیتروژن توسط گیاهان فقط تا ۵۰ درصد است و ۲۰-۲ درصد آن تبخیر می‌شود، ۲۵-۱۵ درصد با ترکیبات آلی در خاک واکنش می‌دهد و ۱۰-۲ درصد باقی مانده وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود (چندی و همکاران، ۲۰۱۹؛ جارویس^۵ و همکاران ۲۰۱۱). فسفر

3- Hijbeek

4- Sharma and Chetani

5- Jarvis

1- Chandini

2- FAO

نیز زمانی که در مقایسه با سایر عناصر غذایی به مقدار زیادی به کار برده می‌شود، تا حدود ۹۰ درصد از آن به صورت ترکیب با سایر عناصر فلزی در خاک رسوب می‌کند و سبب آلودگی‌های بعدی فسفره می‌شود (آدیسمو^۱ و همکاران، ۲۰۰۹).

مصرف این کودها به دلایلی همچون ارزان بودن (به دلیل یارانه‌های دولتی)، در دسترس بودن و سهولت تهیه توسط کشاورزان، بی‌رویه بوده و کارایی پایینی دارند (فاجریا^۲، ۲۰۱۴؛ راون و جانسون^۳، ۱۹۹۹). با این حال مصرف بی‌رویه و شدید کودهای شیمیایی باعث بروز مشکلات زیست‌محیطی جدی (مانند از دست دادن تنوع زیستی، گرم شدن کره زمین و تخریب لایه ازن)، مشکلات بهداشتی خاک و گیاه از طریق ورود فلزات سنگین موجود در برخی کودها به زنجیره غذایی از طریق جذب از خاک، می‌شود (بیجی سینگ و کراسول^۴، ۲۰۲۱). برخی مطالعات نشان دادند استفاده بیش از حد و ناکارآمدی از کودهای شیمیایی نیز باعث ایجاد مشکلات زیادی مانند خطرات زیست‌محیطی مرتبط با فقر (نارلوچ و بنگلور^۵، ۲۰۱۸)، ایمنی مواد غذایی (سوک^۶ و همکاران، ۲۰۱۸)، آلودگی هوا (پانگفو لونهن^۷ و همکاران، ۲۰۱۹) و آلودگی آب (کورگیالاس^۸ و همکاران، ۲۰۱۷) شده است. بنابراین امکان آلودگی خاک و آب در نتیجه مصرف کودهای شیمیایی و سموم ضد آفت، نیز فراهم می‌شود (بیشت و سینگ^۹، ۲۰۲۱). از سوی دیگر، آلودگی‌ها و پیامدهای ناشی از مصرف گسترده‌ی نهاده‌های شیمیایی، سبب تغییر نگرش در زمینه‌ی تولید غذا شده است. یکی از مهم‌ترین این نگرش‌ها، تولید پایدار غذای کافی از طریق کشاورزی

- 1- Adesemoye
- 2- Fageria
- 3- Raun and Johnson
- 4- Bijay-Singh and Craswell
- 5- Narloch and Bangalore
- 6- Seok
- 7- Paungfoo-Lonhienne
- 8- Kourgialas
- 9- Bisht and Singh

ارگانیک، کشاورزی پایدار یا کشاورزی اکولوژیک در کنار توجه به ابعاد اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی است (چندی و همکاران، ۲۰۱۹). امروزه به علت هزینه‌های سنگین کودهای شیمیایی، آگاهی زیست‌محیطی در زمینه تأثیر استفاده از کود بر آلودگی آب، خاک و هوا و ایجاد نگرش مثبت در مورد خطرات آن، تأثیر تشویقی در افزایش کارایی دارد. در حالی که مصرف کمتر مواد مغذی آلودگی را کاهش می‌دهد، این امر مستلزم آن است که کشاورزان شیوه‌های مدیریت بهتر مواد مغذی را انجام دهند (هو^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۱). بهترین رویکرد مدیریتی برای کاهش جریان مواد مغذی، بهبود کارایی مصرف کود در سطح مزرعه است (ما^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۴؛ بیجی سینگ و کراسول، ۲۰۲۱). بنابراین بهبود استانداردهای آموزشی مروجین، افزایش آگاهی و درک هزینه‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف بیش از حد در مصرف کود می‌تواند به کاهش میزان آلودگی ناشی از استفاده از کود در سیستم‌های تولید محصولات کشاورزی کمک کند (بورا^{۱۲}، ۲۰۲۲) و بدین وسیله از هزینه‌های تولید کاسته و سود بیشتری نصیب کشاورزان شود (فاجریا، ۲۰۱۴). راندمان کود نیتروژن در برنج تنها ۳۰-۴۰ درصد و در سایر غلات ۶۰-۵۰ درصد است. راندمان کود فسفر در اکثر محصولات ۲۰-۱۵ درصد و پتاسیم ۸۰-۶۰ درصد است. راندمان کم بازیابی مواد مغذی نه تنها هزینه تولید محصول را افزایش می‌دهد بلکه باعث آلودگی محیط زیست نیز می‌شود (عمرا^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۹؛ بیجی سینگ و همکاران، ۲۰۲۰). در دهه‌های گذشته بیشتر هدف بررسی اثرات افزایش مصرف نیتروژن بر عملکرد گیاهان مورد توجه بوده، درحالی که هم‌اکنون بیشتر بر بهینه‌سازی و کاهش مصرف نیتروژن تأکید می‌شود

- 10- Ho
- 11- Ma
- 12- Bora
- 13- Omara

معمای سیاستی را پیش روی سیاست‌گذاران و همین‌طور کشاورزان قرار داده است. بر این اساس ضرورت مطالعه بررسی کارایی زیست‌محیطی و کارایی هزینه کشاورزان در استفاده از کودهای شیمیایی با توجه به معضل در حال رشد مسائل زیست‌محیطی و هزینه‌های جانبی که فعالیت‌های مختلف بر کیفیت محیط ایجاد می‌کنند، احساس می‌گردد. با اندکی تأمل در مطالعات مختلف، خلاء چنین مطالعه‌ای نیز احساس می‌شود. در زمینه‌ی بهینه‌سازی مصرف کودهای شیمیایی به ویژه بررسی همزمان اثرات زیست‌محیطی کودهای شیمیایی و کارایی هزینه و زیست‌محیطی استفاده از آن‌ها، با استفاده از الگوها و مدل‌های ریاضی مبتنی بر داده‌های تجربی، پژوهش‌های کمی صورت گرفته است.

برخی مطالعات کارایی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی را مورد بررسی قرار داده‌اند که هرکدام به نوبه خود با استفاده از روش‌ها و مدل‌های مختلف به نتایج مؤثری در این زمینه دست یافته‌اند. به عنوان مثال، پارسا و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از تابع فاصله‌ای و داده‌های تابلویی نشان دادند در اکثر استان‌های کشور، کارایی فنی زیست‌محیطی در طول زمان در حال کاهش بوده و روند نزولی داشته است. مولائی و ثانی (۱۳۹۴ الف) با استفاده از روش DEA نشان دادند که کارایی زیست‌محیطی بخش کشاورزی در طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۷۳ با در نظر گرفتن محصولات بد، کمتر از کارایی در غیاب آن محصولات است. این موضوع نشان می‌دهد که شرایط زیست‌محیطی به صورت معنی‌داری بر کارایی اثر می‌گذارد و لذا واقع‌بینانه است که محصولات خوب و بد در محاسبات کارایی لحاظ گردد. در مطالعه‌ی دیگر مولائی و همکاران (۱۳۹۶) با برآورد کارایی فنی و زیست‌محیطی نهاد-محور برای برنجکاران شهرستان بابلسر و با استفاده از تابع مرزی نشان دادند که کارایی زیست‌محیطی به مراتب کمتر از کارایی فنی است و بایستی به منظور برآورد نزدیک به واقعیت کارایی تولید، زیانبار بودن نهاده‌های شیمیایی

(آلکساندراتوس و برونیزنا، ۲۰۱۲). به عبارت دیگر افزایش تولید و رشد در بهره‌وری به قیمت تحمیل هزینه به محیط‌زیست طبیعی به دست می‌آید، اما امروزه در صدد کاهش این هزینه هستند. بنابراین چالش‌های زیست‌محیطی کشاورزی به واسطه اثرات منفی ناشی از کاشت محصولات بر منابع آب و خاک ایجاد می‌شود و لذا کاهش کودهای شیمیایی تأثیر جانبی مثبت قابل توجهی در کاهش آلودگی محیط‌زیست دارد (سسلیو فیلهو^۲ و همکاران، ۲۰۲۲). به همین منظور، برخی کشورها مجموعه‌ی از سیاست‌ها را برای کاهش میزان کودهای شیمیایی ارائه کردند (ژنگ و همکاران، ۲۰۲۲).

یک راه حل اصلی برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی و مازاد مواد مغذی، رسیدن به کارایی بالاتر در استفاده از این مواد است. با این حال، مزارع با اهداف پولی مانند سود تحریک می‌شوند و معمولاً مزارع کسب و کارگرا، اغلب سعی در به حداقل رساندن هزینه‌های تولید دارند. اما دستیابی به کارایی هزینه، ممکن است منجر به کارایی مواد مغذی نشود (تانه نگوین^۳ و همکاران، ۲۰۱۲؛ پانگفو لونیهین^۴ و همکاران، ۲۰۱۹). نتایج تجربی برخی مطالعات نشان داد که تلاش برای بهبود کارایی هزینه علی‌رغم صرفه‌جویی قابل توجه در هزینه‌های تولید، منجر به مصرف بیشتر مواد مغذی برای بیش از ۳۰ درصد از مزارع و انتخاب عملیات کارآمد از نظر زیست‌محیطی همچنین مستلزم هزینه‌های تولید بالاتر برای بیش از ۶۰ درصد مزارع می‌شود (هو و همکاران، ۲۰۱۸؛ هو و همکاران، ۲۰۲۰). بنابراین با توجه به ضرورت افزایش تولید و پاسخ به تقاضای روز افزون جمعیت از یک سو و حفظ محیط‌زیست و کاهش اثرات زیست‌محیطی استفاده از نهاده‌های شیمیایی از سوی دیگر، یک

1- Alexandratos and Bruinsma

2- Cecilio Filho

3- Thanh Nguyen

4- Paungfoo-Lonhienne

در فرآیند تولید لحاظ شود. همچنین محاسبه کارایی فنی و زیست‌محیطی گاوداری‌های شیری با استفاده از DEA نشان داد که گاوداری‌هایی با کارایی فنی بالاتر، آلاینده‌های کمتری تولید کرده و از کارایی زیست‌محیطی بالاتری برخوردار هستند (مولائی و ثانی، ۱۳۹۴ ب). در این خصوص جعفرنیا و اسماعیلی (۱۳۹۲) در تحلیل کارایی فنی واحدهای پرواربندی شهرستان شیراز با ارزیابی اثرات زیست‌محیطی نشان دادند که مقادیر کارایی با در نظر گرفتن شاخص‌های زیست‌محیطی به صورت معنی‌داری کمتر از کارایی در غیاب آن شاخص‌ها است. نوروزیان و همکاران (۱۴۰۰) با هدف تعیین و تحلیل کارایی زیست‌محیطی استان‌های تولیدکننده پنبه با بهره‌گیری از DEA نشان دادند که علی‌رغم توانایی بالای این استان‌ها برای فعالیت در مقیاس بهینه کشت محصول پنبه، کارایی زیست‌محیطی پایینی دارند و از نظر کارایی فنی نیز در سطح بالایی قرار ندارند. سیدی و دانشور (۱۳۹۳) با روش تحلیل فراگیر داده‌ها به بررسی کارایی فنی، تخصیصی، هزینه و سود کشاورزان پنبه کار بشرویه پرداخته و نشان دادند که کشاورزان پنبه کار، کارایی هزینه و سود کمتری نسبت به کارایی فنی و تخصیصی دارند. احمدزاده و همکاران (۱۳۹۹) با بررسی کارایی محیط‌زیستی شالیکاران استان گیلان با استفاده از تابع فاصله جهتدار و در نظر گرفتن شرط تعادل مواد نشان دادند که میانگین معیار کارایی با و بدون در نظر گرفتن مازاد مواد مغذی، از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با هم دارند و لحاظ نکردن مازاد مواد مغذی در مدل، میزان کارایی را به اندازه ۱۷ درصد بیشتر از مقدار واقعی آن نشان می‌دهد. همچنین نشان دادند مزارعی که کارایی فنی بالاتری دارند از نظر محیط‌زیستی نیز کاراتر عمل کرده‌اند.

نتایج مطالعات انجام شده در سایر کشورها نیز بیانگر آن است که آلودگی محیط‌زیست ناشی از استفاده مازاد نهاده‌ها و مواد مغذی کشاورزی در سال‌های اخیر نگرانی تمامی کشورهای

جهان است. بنابراین بهبود کارایی زیست‌محیطی و بهره‌وری استفاده از این نهاده‌ها یک راه حل مهم برای رفع این مشکل است (وانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). ارزیابی علمی کارایی زیست‌محیطی، ارزیابی دقیق سطح واقعی یک اکوسیستم را برای تحقق بهره‌برداری کارآمد از منابع کشاورزی تسهیل می‌کند (هوانگ^۲ و همکاران، ۲۰۲۲). به عنوان مثال، تانه نگوین^۳ و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از DEA و اصل تعادل مواد (MBE) و داده‌های ۹۶ مزرعه برنج در استان گانگوون کره جنوبی، کارایی هزینه و کارایی زیست‌محیطی مزارع برنج را بررسی و نشان دادند که بهبود در کارایی فنی منجر به کاهش هزینه‌های تولید و افزایش کارایی زیست‌محیطی می‌شود. با این حال، حرکت مزارع از وضعیت عملکرد فعلی خود به سمت عملکرد بالقوه و کارآمد از نظر زیست‌محیطی، بدون هزینه نیست. لی^۴ و همکاران (۲۰۱۷) در چین با مطالعه‌ی کارایی زیست‌محیطی تولیدات کشاورزی نشان دادند که دلیل زیان‌های زیست‌محیطی و اکولوژیکی ناشی از استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی و آفتکش‌ها، در صورت لحاظ کردن اثرات زیست‌محیطی در بخش کشاورزی، کارایی در این بخش کاهش می‌یابد. هوانگ و همکاران (۲۰۲۲) کارایی زیست‌محیطی مزارع کشت برنج را با استفاده از دو روش ارزیابی چرخه زندگی (LCA) و DEA در چین بررسی کردند و نشان دادند که میانگین کارایی زیست‌محیطی ۰/۵۱ است. به طور دقیق‌تر، سهم مزارع در گروه‌های با راندمان پایین، متوسط و بالا به ترتیب ۸۷/۰۳، ۱/۸۹ و ۱۱/۰۸ درصد با میانگین مقادیر کارایی تا ۰/۴۲، ۰/۸۶ و ۱/۱۴ بود. علاوه بر این، کاهش کاربرد کودها و آفت‌کش‌ها به میزان ۵۰ درصد می‌تواند کارایی زیست‌محیطی

1- Wang

2- Huang

3- Thanh Nguyen

4- Li

ناکارآمدی را می‌توان از واحدهای کارآمد تفکیک کرد و منابع و مقادیر ناکارآمدی آن‌ها را نیز ارزیابی کرد. بنابراین در شرایط فوق تحلیل پوششی داده‌ها روش مناسبی برای اندازه‌گیری انواع کارایی می‌باشد (ژانگ^۵ و همکاران، ۲۰۱۴؛ لیم^۶ و همکاران، ۲۰۱۱؛ کوئلی و همکاران، ۲۰۰۵). علاوه بر این کوئلی و همکاران (۲۰۰۷) معیاری جهت تعیین کارایی محیط‌زیستی ارائه کردند که در آن شرایط تعادل مواد (MBE) را وارد مدل DEA نهاده‌گرا کرده و با این روش مواد مغذی برای هر مزرعه را به حداقل رساندند. سپس کارایی محیط‌زیستی هر مزرعه را بر اساس نسبت حداقل مواد مغذی مورد نیاز به مواد مغذی مورد استفاده با فرض ثابت بودن سطح محصول محاسبه کردند. بنابراین، معیار کارایی محیط‌زیستی پیشنهاد شده توسط آن‌ها می‌تواند با ثابت ماندن همان سطح از ستاده، برای به حداقل رساندن کل مواد مغذی موجود در نهاده‌ها استفاده شود.

در اغلب مطالعات فوق، کارایی زیست‌محیطی محصول‌گرا مبنی بر اینکه در فرآیند تولید همراه با تولید محصول اصلی (خوب)، محصول یا محصولات بدی (مانند نیتروژن، فسفر و یا سایر آلاینده‌ها) تولید می‌شود، برآورد شده است. اما ارزیابی کارایی فنی و زیست‌محیطی نهاده‌گرا و کارایی هزینه و زیست‌محیطی نهاده‌گرا کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین با عنایت به مطالب پیش گفته و مزیت روش تحلیل پوششی داده‌ها و اصل تعادل مواد، مطالعه حاضر با تأکید بر بهینه‌سازی مصرف کودهای شیمیایی در کشت گندم با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و کاربرد اصل تعادل مواد (MBE) به بررسی و برآورد کارایی هزینه و زیست‌محیطی نهاده‌گرا (نهاده‌های بد از جمله کودهای شیمیایی در کنار نهاده‌های خوب مانند آب و دیگر نهاده‌ها) برای گندم‌کاران

سیستم‌های تولید برنج را تا ۶ درصد افزایش دهد و ارزش آن را به ۰/۵۴ برساند. بنابراین کاهش مصرف کودها و سموم دفع آفات و افزایش راندمان بهره‌برداری، از راهکارهای موثر برای بهبود تولید برنج سبز است. پیشگر^۱ و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی کارایی تولید گندم در لهستان نشان دادند که مدل DEA مبتنی بر ستاده‌های نامطلوب می‌تواند عملکرد این ستاده‌ها را بهتر منعکس نماید. لذا این روش مناسبترین روش برای به حداقل رساندن کارایی تولید گندم و در عین حال به حداقل رساندن ستاده‌های نامطلوب عنوان شد. تسوجی موت^۲ و همکاران (۲۰۱۹) معتقدند که کارایی مصرف نیتروژن از طریق یافتن کمبود عناصر غذایی موجود در خاک از قبیل فسفر، گوگرد و روی قابل بهبود است. به علاوه کمبود فسفر و عوامل محیطی نظیر سرمازدگی، کارایی مصرف نیتروژن در تولید برنج را تحت تأثیر قرار می‌دهد. سائلی^۳ (۲۰۱۷) با بررسی کارایی زیست‌محیطی مزارع شالیزار تایلند با استفاده از تابع فاصله جهت دار نشان داد در این مزارع با وجود کارایی فنی نسبتاً بالا، مازاد مصرف نیتروژن و فسفر مشهود است.

همانطور که ملاحظه شد در اغلب مطالعات پیش گفته برای تعیین کارایی استفاده و کاربرد بهینه نهاده‌های کشاورزی در محصولات مختلف از روش‌های مختلفی استفاده شده است. در بین تمامی روش‌ها، روش DEA به عنوان یک روش ناپارامتریک، در بخش کشاورزی بسیار استفاده شده است. این روش بدون نیاز به هیچ پیش فرضی در خصوص شکل تابع تولید، اجازه می‌دهد تا چندین نهاده و ستاده را به طور همزمان در نظر بگیرد. همچنین در اختیار داشتن قیمت عوامل تولید نیز ضرورت ندارد. در این روش واحدهای تصمیم‌گیری (DMUs^۴)

1- Pishgar
2- Tsujimoto
3- Saelee
4- Decision Making Unit

5- Zhang
6- Lim

دشت لیستر در شهرستان گچساران پرداخته است.

q و ۴- همگنی +۱ در w (واریان^۴، ۱۹۹۲؛ کومباکار و لاول^۵، ۲۰۰۰).

مواد و روش‌ها

کارایی هزینه

یک راه مناسب برای توصیف تکنولوژی تولید چند-نهاد و چند-محصول، استفاده از مجموعه تکنولوژی (T) است. در نظر بگیرید که واحدهای تصمیم‌گیری (DMU^۱) یعنی مزارع، M ستاده q را با استفاده از K نهاد x تولید می‌کنند. با فرض اینکه $q \in \mathcal{R}_+^M$ ، $x \in \mathcal{R}_+^K$ است، مجموعه تکنولوژی (T) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$T = \{(q, x) : x \text{ can produce } y\} \quad (۱)$$

این مجموعه متشکل از همه بردارهای (q, x) است، به طوری که بردار نهاد x می‌تواند بردار محصول q را تولید کند. فرض بر این است که تکنولوژی تولید، اصول استاندارد شامل تحدب، دسترسی قوی، نزدیک بودن و محدود بودن را برآورده می‌کند (فار و گروسکوف^۲، ۲۰۰۰). تأمین این اصول برای معتبر بودن DEA، مستلزم آن است که تمام نهاده‌ها (X) با یکدیگر و تمام ستاده‌ها (Q) نیز به جای یکدیگر قابل جایگزینی باشند. قابلیت جایگزینی را می‌توان برای نهاده‌ها و ستاده‌های کشاورزی فرض کرد، اما در صنایع دیگر اغلب نقض می‌شود (بارنوم و گلیسون^۳، ۲۰۱۱).

با در نظر گرفتن w به عنوان یک بردار از قیمت‌های نهاد اکیدا مثبت، توابع هزینه به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$C(q, w) = \min_x \{(w'x \langle x, q \rangle) \in T\} \quad (۲)$$

توجه داشته باشید که تابع هزینه دارای ویژگی‌های مهم زیر است: ۱- غیر منفی، ۲- غیر کاهش‌ی در w، ۳- غیر کاهش‌ی در

مرز تولید، حداقل سبدهای نهاد مورد نیاز برای تولید محصولات مختلف، یا حداکثر محصول قابل تولید با سبدهای نهاد مختلف و تکنولوژی مورد استفاده را مشخص می‌کند. مرز هزینه حداقل هزینه مورد نیاز برای تولید سبد معینی از محصولات را با توجه به قیمت نهاده‌ها و تکنولوژی استفاده شده مشخص می‌کند. کارایی فنی نهاد-گرا یا نهاد محور (TE) به مسأله کاهش متناسب مقادیر نهاده‌ها در حین تولید سطح معینی از مقادیر محصول می‌پردازد. کارایی فنی نهاد-گرا (TE) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$TE = x_{TE} / x = w'x_{TE} / w'x \quad (۳)$$

که در آن x_{TE} بردار نهاد کارا از نظر فنی است.

کارایی هزینه نهاد-گرا (CE) نسبت کوچکترین هزینه کل مرتبط با بردار نهاد x_{CE} (یعنی $w'x_{CE} = \sum_{k=1}^K w_k x_{CEk}$) به هزینه کل مرتبط با بردار نهاد مشاهده شده، x است (یعنی $w'x = \sum_{k=1}^K w_k x_k$).

$$CE = w'x_{CE} / w'x = (w'x_{TE} / w'x) \times (w'x_{CE} / w'x_{TE}) = TE \times CAE \quad (۴)$$

که در آن CAE به کارایی تخصیصی هزینه نهاد-گرا اشاره دارد، که بصورت زیر بدست می‌آید:

$$CAE = w'x_{CE} / w'x_{TE} \quad (۵)$$

این تجزیه، دو منبع بهبود در کارایی اقتصادی واحدهای تصمیم‌گیری یعنی مزارع را نشان می‌دهد. مؤلفه اول به کاهش نسبی در بردارهای نهاد اشاره دارد و مؤلفه دوم به ترکیب ارزان‌تر نهاده‌ها مربوط می‌شود.

کارایی زیست‌محیطی

در طول چند دهه گذشته، توجه فزاینده‌ی به آلودگی‌های محیط‌زیست طبیعی ناشی از فعالیت‌های اقتصادی شده است. محققان نیاز به تعدیل روش‌های سنتی را برای ادغام نگرانی‌های زیست‌محیطی در معیارهای استاندارد کارایی فنی و اقتصادی تشخیص داده‌اند. رویکرد سنتی که در اکثر مطالعات تجربی استفاده شده این است که اثر زیست‌محیطی را به عنوان یک محصول بد یا یک نهاده مضر زیست‌محیطی در توابع تولید لحاظ کرده است (بال^۱ و همکاران، ۱۹۹۴؛ فار و همکاران، ۱۹۸۹؛ فار و همکاران، ۱۹۹۶؛ پیتمن^۲، ۱۹۸۳؛ تایتیکا^۳، ۱۹۹۷؛ یایساوارنگ و کلاین^۴، ۱۹۹۴). با این حال، همه این روش‌ها اصل تعادل مواد (MBP^۵) را تأمین نمی‌کنند (کویلی^۶ و همکاران، ۲۰۰۷).

اصل تعادل مواد بر اساس قانون بقای جرم حاکم است که بیان می‌کند مواد در یک سیستم تولید از بین نمی‌روند و اینکه نهاده‌های مواد به انباشته شدن موجودی یا ستاده مواد ختم می‌شوند (دالی^۷، ۱۹۸۶). MBP به این معنی است که تعادل مواد مغذی (u) برابر است با نهاده مواد مغذی منهای ستاده مواد مغذی. بعبارت دیگر، u به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$u = ax - bq \quad (۶)$$

که در آن a و b نشان دهنده محتوی مواد مغذی نهاده‌ها و ستاده‌ها هستند. این احتمال وجود دارد که برخی از نهاده‌ها دارای مقادیر صفر از مواد مغذی باشند، به عنوان مثال نیروی کار و ماشین‌آلات.

برخی مطالعات به جای معرفی تعادل مواد مغذی (u) به

عنوان یک نهاده یا ستاده جدید در تکنولوژی تولید، حداقل کردن u را پیشنهاد کرده‌اند. سه استراتژی کلی برای حل این مسأله بهینه‌سازی وجود دارد. نخست، u را می‌توان با منقبض کردن $a'x$ با ستاده ثابت معین حداقل نمود. دوم، u را می‌توان با گسترش $b'x$ در نهاده‌های ثابت معین حداقل کرد و در نهایت u را می‌توان با منقبض کردن $a'x$ و گسترش $b'x$ حداقل نمود. در این مقاله به منظور تسهیل تجزیه و تحلیل کارایی زیست‌محیطی در ارتباط با کارایی هزینه نهاده‌گرا، اولین استراتژی که در دیگر مطالعات تجربی استفاده شده است را دنبال خواهیم کرد (هوانگ و کویلی، ۲۰۱۱؛ رینهارد و تیسن، ۲۰۰۰؛ کویلی و همکاران، ۲۰۰۷؛ هوانگ و علاءالدین^۸، ۲۰۰۱؛ ولچ و بارنوم^۹، ۲۰۰۹).

نهاده‌گرایی (نهاده محور بودن) موقعیت‌هایی را در نظر می‌گیرد که q ثابت است و تعادل مواد مغذی زمانی به حداقل می‌رسد که محتوای مواد مغذی نهاده کل ($N = a'x$) به حداقل برسد. واحدهای تصمیم‌گیری به جای به حداقل رساندن نهاده‌ها، محتویات مواد مغذی کل در بردارهای نهاده را حداقل می‌کنند. این کار به این دلیل انجام می‌شود که واحد تصمیم‌گیری در صورتی که تعادل مواد مغذی کمتری ایجاد نماید از نظر زیست‌محیطی کارآمدتر است.

$$N(q, a) = \min_x \{a'x \mid x, q \in T\} \quad (۷)$$

X_{NE} بردار نهاده که شامل حداقل محتوی مواد مغذی است را نشان می‌دهد. بنابراین حداقل محتوی مواد مغذی برابر $a'X_{NE}$ است. محتوی مواد مغذی در بردار نهاده مشاهده شده $a'x$ است. کارایی زیست‌محیطی نهاده‌گرا (NE) به عنوان نسبت حداقل محتوی مواد مغذی به محتوی مواد مغذی مشاهده شده تعریف می‌شود:

- 1- Ball
- 2- Pittman
- 3- Tyteca
- 4- Yaisawarng and Klein
- 5- Material balance principle
- 6- Coelli
- 7- Daly

ثابت محصول برای حداقل تعادل مواد مغذی (یعنی کارآمدی زیست‌محیطی با محوریت مواد مغذی داشته باشد)، مزارع باید تا حد امکان از نهاده‌های غیرمغذی (به عنوان مثال، نیروی کار و ماشین‌آلات) استفاده کنند و از نهاده‌های حاوی مواد مغذی فقط در حداقل سطح مورد نیاز برای دستیابی به ستاده مطلوب استفاده نمایند. نمودار ۱ برای یک محصول و دو نهاده x_1 و x_2 این موضوع را نشان می‌دهد. فرض کنید x_1 نهاده محتوی مواد مغذی (یعنی کود شیمیایی) و x_2 نهاده غیر مغذی است (یعنی نیروی کار). خط تغذیه همسان (هم‌مغذی) موازی با محور افقی خواهد بود و بر منحنی تولید همسان (هم‌مغذی) موازی با محور افقی منحنی افقی است در نقطه N مماس می‌شود. نقطه N دارای کارایی زیست‌محیطی تغذیه گرا است.

$$NE = a'x_{NE} / a'x \quad (8)$$

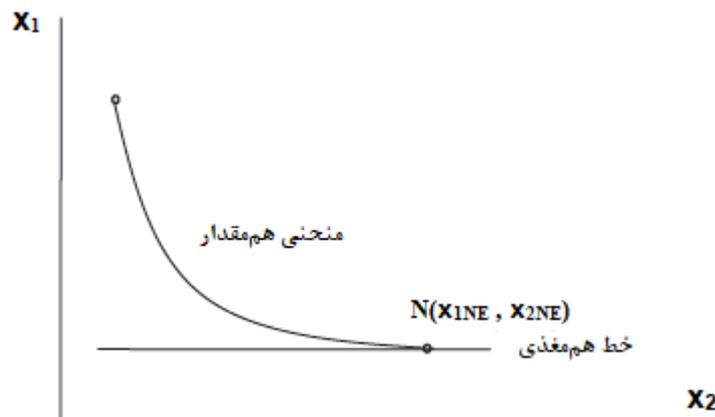
NE همچنین به TE و کارایی تخصیصی مواد مغذی گرا (NAE) قابل تجزیه است:

$$NE = a'x_{NE} / a'x = (a'x_{TE} / a'x) \times (a'x_{NE} / a'x_{TE}) = TE \times NAE \quad (9)$$

که NAE را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$NAE = a'x_{NE} / a'x_{TE} \quad (10)$$

بنابراین NE را می‌توان با فرآیندی مشابه کارایی هزینه تخمین زد با این تفاوت که در آن بردار نهاده محتوی مواد مغذی (a) به جای بردار نهاده قیمت (w) استفاده می‌شود. توجه داشته باشید در چارچوب نهاده‌گرا یا نهاده محور، مزارع با استفاده از نهاده‌های حاوی مواد مغذی کمتر تمایل به کسب امتیاز کارایی زیست‌محیطی بالاتری دارند. برای تولید یک سطح



شکل ۱. حداقل کردن مواد مغذی با وجود یک نهاده مغذی (x_1) و غیر مغذی (x_2)

مزارع با استفاده از نهاده‌های آزاد بیشتر به امتیاز بالاتری از کارایی هزینه دست خواهند یافت.

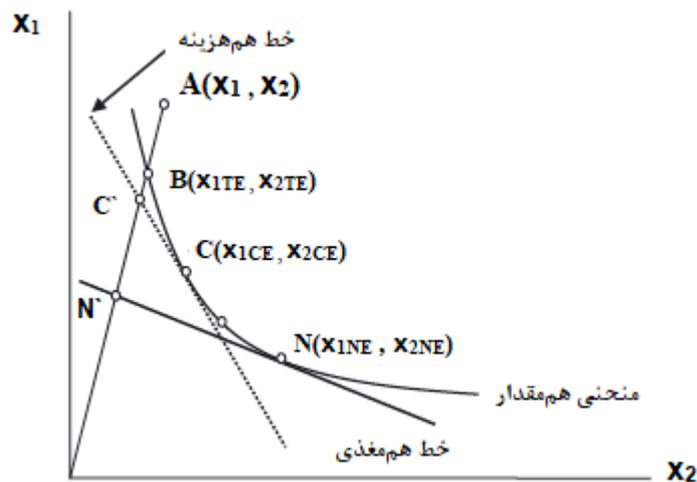
پیوند بین کارایی هزینه و کارایی زیست‌محیطی

کارایی هزینه با روابط بین قیمت واحد هر نهاده و بین قیمت واحد هر محصول تعیین می‌شود. کارایی زیست‌محیطی با روابط

منطق مشابهی برای تحلیل کارایی هزینه اعمال می‌شود که در آن مزارع از نهاده‌هایی استفاده می‌کنند که قیمت‌های مثبت دارند و برخی نیز آزاد هستند. برای تولید سطح ثابتی از محصول با حداقل هزینه، مزارع باید تا حد امکان از نهاده‌های آزاد (مجانی) استفاده کنند و از نهاده‌های غیرآزاد فقط در سطح حداقل استفاده کنند. با توجه به همین سطح از کارایی فنی،

منحنی تولید همسان نمایش داده شده‌اند. در نقطه C خط هزینه همسان بر منحنی تولید همسان مماس است در حالی که خط هم‌مغذی در نقطه N بر منحنی تولید همسان مماس است. نقطه C کمترین هزینه تولید را ایجاد می‌کند در حالی که نقطه N به کمترین مصرف مواد مغذی اشاره دارد.

بین مقادیر واحد مواد مغذی از هر نهاده و مقادیر واحد مواد مغذی از هر محصول تعیین می‌شود. به این معنی که، کارایی هزینه بر اساس رابطه بین قیمت‌ها است، در حالی که کارایی زیست‌محیطی بر اساس رابطه بین مقادیر مواد مغذی است. شکل ۲ این روابط را برای دو نهاده (x1 و x2) و یک محصول (q) نشان می‌دهد. در شکل ۲ خطوط هم‌هزینه و هم‌مغذی و



شکل ۲. منحنی تولید همسان و حداقل کردن هزینه و مواد مغذی در نهاده‌ها

زیست‌محیطی (نقطه N) باشد. به طور مشابه افزایش در NAE بسته به جهت حرکت به سمت یا به دور از موقعیت کارایی هزینه (نقطه C)، می‌تواند منجر به هزینه بیشتر یا کمتر شود. تفاوت بین کارایی زیست‌محیطی و کارایی هزینه چند پیامد مهم برای مطالعات تجربی ایجاد می‌کند. نخست، می‌توان محاسبه کرد که انتقال از نقطه دارای کارایی هزینه به نقطه کارآمد از نظر زیست‌محیطی چقدر هزینه دارد. این هزینه به عنوان هزینه سایه‌ای کاهش در مصرف مواد مغذی تفسیر شود. این تجزیه و تحلیل هزینه برای پاسخ به این سوال که «کارا بودن از نظر زیست‌محیطی چقدر برای کشاورزان هزینه دارد؟» کمک کننده است.

دوم، می‌توان اندازه‌گیری کرد که با حرکت از نقطه حداقل

با توجه به اینکه خط هم‌مغذی (خط مواد مغذی همسان) با خط هم‌هزینه (خط هزینه همسان) یکسان نیست، هر نقطه داده مشاهده شده مانند نقطه A سه منبع ناکارآمدی را نشان می‌دهد: (۱) $TE = OB/OA$ ، (۲) $CAE = OC'/OB$ و (۳) $NAE = ON'/OB$.

تجزیه‌ها در روابط (۴) و (۹) نیز در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. بهبود در CE می‌تواند با افزایش TE یا افزایش CAE و یا هر دو مرتبط باشد. به طور مشابه، بهبود در NE می‌تواند با افزایش در TE و یا NAE ایجاد شود. بنابراین، بهبود در TE، هر دو کارایی هزینه و زیست‌محیطی را افزایش می‌دهد. با این حال، افزایش در CAE می‌تواند منجر به افزایش یا کاهش در NE شود، بسته به اینکه این حرکت به سمت یا به دور از نقطه کارایی

کردن مواد مغذی به نقطه حداقل کردن هزینه، چقدر مصرف مواد مغذی بیشتری درگیر خواهد شد. این معیاری از آسیب به محیط‌زیست را زمانی که کشاورزان هزینه‌های خود را با توجه به شرایط خاص بازار به حداقل می‌رسانند، فراهم می‌کند. این نوع از تحلیل‌های تجربی می‌تواند اطلاعات مهمی برای تحلیل سیاستی عرضه نماید. به عنوان مثال، سیاست‌هایی را می‌توان برای تنظیم یا تعدیل هزینه‌های نهاده‌ها طراحی کرد به طوری که خط هم‌هزینه با خط هم‌مغذی منطبق شود و دو نقطه C و N یکسان شوند.

داده‌ها و روش تخمین

از آنجا که هدف این پژوهش برآورد کارایی هزینه و زیست‌محیطی گندمکاران دشت لیستر از شهرستان گچساران است، لذا داده‌های مورد نیاز از طریق تهیه پرسشنامه بر اساس جامعه آماری منطقه و اطلاعات تکمیلی از گزارشات و اطلاعات مرکز خدمات کشاورزی منطقه لیستر و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی و مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان گچساران و همچنین آمارنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی گرفته شده است. بنابراین نمونه مورد مطالعه از طریق نمونه‌گیری تصادفی انتخاب و پرسشنامه مربوطه از طریق مصاحبه با آن‌ها تکمیل و

اطلاعات مورد نیاز بدست آمد.

به منظور برآورد کارایی هزینه و کارایی زیست‌محیطی از روش DEA استفاده شد. این روش به مفروضات رفتار کشاورزان (به عنوان مثال حداقل کردن هزینه یا حداقل کردن مواد مغذی) و همچنین به فرض توزیع شرایط ناکارآمدی نیاز ندارد. اما در چارچوب DEA، لازم است فناوری تولید بازده ثابت نسبت به مقیاس (CRS) یا بازده متغیر نسبت به مقیاس (VRS) مشخص شود. لذا بدین منظور با استفاده از تابع تولید کاب-داگلاس و در نظر گرفتن هر دو فرض تکنولوژی CRS و VRS و به کمک نرم افزار DEAP داده‌ها مورد تجزیه و تحیل قرار گرفت و نتایج بدست آمد.

جدول ۱ بیانگر متغیرها و آماره‌های توصیفی مربوط به نمونه مورد مطالعه است. نهاده‌های مورد استفاده شامل مقدار زمین (هکتار)، مقدار بذر مصرفی (کیلوگرم)، تعداد نیروی کار (روز نفر)، مقدار استفاده از ماشین‌آلات (ساعت)، مقدار کود فسفات (کیلوگرم)، مقدار کود اوره (کیلوگرم)، مقدار کود پتاس (کیلوگرم) و مقدار علف‌کش مصرفی (لیتر) می‌باشند. طبق این جدول، هر کشاورز به طور میانگین دارای سطح زیر کشتی حدود ۶ هکتار است که به طور متوسط مقدار ۲۷ تن گندم تولید می‌کند.

جدول ۱. آماره‌های توصیفی سالانه متغیرهای نهاده‌ها و محصول

متغیر	میانگین	انحراف استاندارد	حداقل	حداکثر
مقدار تولید گندم (تن)	۲۶/۹	۲۱/۷	۲/۸	۹۸
سطح زیر کشت (هکتار)	۵/۹۳	۳/۷۳	۱	۱۶
مقدار بذر مصرفی (کیلوگرم)	۱۴۱۵	۹۱۶	۲۵۰	۴۰۰۰
تعداد نیروی کار (روز نفر)	۳۱/۵	۴۰/۴	۱	۲۲۴
مقدار ماشین‌آلات (ساعت)	۷/۵۵	۰/۶۹	۶/۷۵	۹/۷۵
مقدار کود فسفات (کیلوگرم)	۳۴۲	۲۵۴	۵۰	۱۴۰۰
مقدار کود اوره (کیلوگرم)	۶۱۲	۳۷۹	۱۰۰	۱۶۰۰
مقدار کود پتاس (کیلوگرم)	۳۱۶	۱۹۹	۵۰	۸۰۰
مقدار علف‌کش مصرفی (لیتر)	۱۰/۸	۷/۳۶	۰	۳۲

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج

درصد (تحت فرض VRS) کمتر از مواد مغذی مانند فسفر و ازت هستند. مقدار کمتر این عناصر زمینه آسیب کمتر به محیط زیست از جمله منابع آب و خاک را فراهم خواهد کرد. ناکارایی تخصیصی زیست‌محیطی (مواد مغذی) و ناکارایی فنی به اتفاق هم زمینه ناکارایی زیست‌محیطی را فراهم نموده‌اند. این نتایج نشان می‌دهد که ترکیب فعلی نهاده‌ها از نظر تخصیص زیست‌محیطی، نسبتاً از ترکیب بهینه زیست‌محیطی فاصله داشته و ممکن است دلیل اصلی ناکارایی زیست‌محیطی، کارایی تخصیصی مواد مغذی نهاده‌های مورد استفاده مانند کود شیمیایی باشد. بنابراین بهبود در کارایی تخصیصی زیست‌محیطی اثر معنی‌دارتری بر کارایی زیست‌محیطی دارد. این نتایج از ضریب همبستگی بین کارایی زیست‌محیطی با کارایی تخصیصی زیست‌محیطی و کارایی فنی (به ترتیب ۰/۵۲۵ و ۰/۴۵) نیز قابل ملاحظه است.

فرض CRS زمانی مناسب است که بنگاه‌ها در وضعیت بهینه‌ی خود عمل کنند. به عبارتی نیاز به بهبود اندازه بنگاه برای بهبود کارایی خود نداشته باشند (شورتال و بارنزف، ۲۰۱۳). اما عواملی چون رقابت ناقص و محدودیت منابع مالی باعث می‌شود که یک واحد تولیدی نتواند در مقیاس بهینه عمل کند و کارایی فنی بدست آمده تحت بازده ثابت به مقیاس خالص نبوده و با کارایی مقیاس (VRS) همراه است. بنابراین اگر بین مقادیر کارایی فنی واحد تولیدی از دو روش VRS و CRS اختلاف وجود داشته باشد نشان دهنده‌ی این است که واحد تولیدی با عدم کارایی مقیاس مواجه است و مقدار عدم کارایی مقیاس از اختلاف بین کارایی فنی از دو روش VRS و CRS بدست می‌آید. همچنین کارایی مقیاس از نسبت کارایی فنی در حالت بازده ثابت تقسیم بر کارایی فنی در حالت بازده متغیر بدست می‌آید. بر این اساس نتایج کارایی مقیاس در جدول (۲) نیز ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود بین دو کارایی فنی

نتایج حاصل از DEA تحت فرض‌های بازده ثابت و متغیر نسبت به مقیاس در جدول ۲ خلاصه شده است. متوسط کارایی هزینه تحت فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس (CRS) و بازده متغیر نسبت به مقیاس (VRS) به ترتیب ۰/۵۳۶ و ۰/۶۶۲ بدست آمد که بیانگر آن است که تولیدکنندگان یا کشاورزان مورد مطالعه می‌توانند هزینه‌های کل خود را تحت فرض‌های CRS و VRS به ترتیب حدود ۴۶ و ۳۴ درصد کاهش دهند بدون این که موجب هر گونه کاهشی در سطح تولید محصول گندم خود شوند. این ناکارایی هزینه در نتیجه هر دو ناکارایی فنی و ناکارایی تخصیصی هزینه اتفاق می‌افتد. میانگین نمره کارایی فنی تحت فرض‌های CRS و VRS به ترتیب ۰/۷۴۳ و ۰/۹۶۱ بدست آمد که نشان می‌دهد مزارع به طور متوسط بایستی بتوانند سطح فعلی محصول خود را با حدود ۲۵ و ۴ درصد نهاده کمتر تولید نمایند. میانگین نمره کارایی تخصیصی هزینه تحت فرض‌های CRS و VRS (۰/۷۳۲ و ۰/۶۸۹) نیز دلالت بر توانایی کاهش هزینه‌های تولید بیشتر با تغییر ترکیب نهاده‌ها هستند (۲۶/۸ و ۳۱/۱ درصد). ضریب همبستگی بین کارایی هزینه با کارایی تخصیصی هزینه و کارایی فنی به ترتیب ۰/۲۳۱ و ۰/۷۴۵ بدست آمد. ملاحظه می‌شود که همبستگی کارایی هزینه با کارایی فنی خیلی بیشتر از همبستگی آن با کارایی تخصیصی است. بنابراین اثر کارایی فنی خیلی قوی‌تر از کارایی تخصیصی است.

میانگین کارایی زیست‌محیطی و کارایی تخصیصی زیست‌محیطی تحت فرض CRS به ترتیب ۰/۵۶۹ و ۰/۷۸۴ و تحت فرض VRS به ترتیب ۰/۶۹۱ و ۰/۷۲۱ بدست آمد. کارایی زیست‌محیطی نشان می‌دهد که مزارع مورد مطالعه به طور متوسط قادر به تولید سطح فعلی محصول خود با سبدهای از نهاده‌ها که شامل ۴۳/۱ درصد (تحت فرض CRS) و ۳۰/۹

مقیاس عمل می‌کنند. بنابراین مزارع نمونه مورد بررسی بایستی سطح تولید خود را افزایش دهند. به عبارت دیگر، هزینه متوسط هر واحد تولیدی می‌تواند به وسیله افزایش اندازه مزرعه کاهش یابد.

CRS و VRS تفاوت وجود داشته که بیانگر عدم کارایی مقیاس است. لذا متوسط کارایی مقیاس ۷۷/۳ درصد می‌باشد که نشان دهنده عدم فعالیت مزارع نمونه در مقیاس مطلوب است. بر اساس این نتایج می‌توان گفت که مزارع تحت بازده صعودی به

جدول ۲. اندازه کارایی هزینه و کارایی زیست محیطی

بازده	نوع کارایی	میانگین	انحراف استاندارد	حداقل	حداکثر
بازده ثابت نسبت به مقیاس (CRS)	کارایی فنی	۰/۷۴۳	۰/۱۸۱	۰/۴۲۹	۱
	کارایی تخصیصی هزینه	۰/۷۳۲	۰/۱۱۱	۰/۴۶۹	۱
	کارایی هزینه	۰/۵۳۶	۰/۱۲۹	۰/۳۲۷	۱
	کارایی تخصیصی زیست محیطی	۰/۷۸۴	۰/۱۷۵	۰/۴۳۳	۱
	کارایی زیست محیطی	۰/۵۶۹	۰/۱۴۳	۰/۲۸۹	۱
بازده متغیر نسبت به مقیاس (VRS)	کارایی فنی	۰/۹۶۱	۰/۰۸۲	۰/۷۷۶	۱
	کارایی تخصیصی هزینه	۰/۶۸۹	۰/۰۱۰	۰/۵۱۴	۱
	کارایی هزینه	۰/۶۶۲	۰/۰۳۴	۰/۵۱۰	۱
	کارایی تخصیصی زیست محیطی	۰/۷۲۱	۰/۰۹۰	۰/۴۶۱	۱
	کارایی زیست محیطی	۰/۶۹۱	۰/۰۵۲	۰/۳۷۴	۱
	کارایی مقیاس	۰/۷۷۳	۰/۱۸۲	۰/۴۵۱	۱

مأخذ: یافته های تحقیق

نیروی کار، زمین، کود و سایر نهاده ها) و همین طور با بهبود کارایی مقیاس (افزایش مقیاس تولید) خود به کارایی زیست محیطی و کارایی هزینه بالاتر دست یابند. بنابراین می‌توان گفت که بدون سیاست‌ها و مداخلات سیاستی دولت در بازار، کارایی زیست محیطی و کارایی مزارع مذکور قابل افزایش است. به عنوان مثال برنامه‌های آموزشی فنی برای کشاورزان که به افزایش کارایی فنی آن‌ها کمک می‌کند، می‌تواند اثر قابل توجهی بر هر دو کارایی زیست محیطی و اقتصادی تولید گندم در منطقه مورد مطالعه داشته باشد. علاوه بر این حذف یارانه‌های نهاده کود شیمیایی منجر به تشویق کشاورزان برای استفاده کمتر از آن خواهد شد. بنابراین حذف یارانه کود و تعیین مالیات بر نهاده‌های محتوی مواد مغذی (به عنوان مثال، کود و سم) سیاست‌های مشترکی برای مقابله با استفاده بیش از حد از مواد مغذی در بخش کشاورزی است.

نتایج جدول ۳ نیز نشان داد که تحت فرض‌های CRS و VRS به ترتیب فقط ۲۰ و ۳۷/۸ درصد مزارع از نظر فنی بر روی مرز تولید عمل می‌کنند در حالی که تحت فرض CRS فقط ۲/۲۲ درصد و تحت فرض VRS فقط ۴/۴۴ از مزارع از نظر هزینه دارای کارایی کامل بودند. همچنین تنها ۲/۲۲ و ۶/۶۶ درصد مزارع به ترتیب تحت فرض‌های CRS و VRS دارای کارایی کامل زیست محیطی بودند. علاوه بر این در حالت CRS، صفر و در حالت VRS، ۴/۴۴ درصد مزارع بطور همزمان دارای کارایی هزینه و کارایی زیست محیطی کامل بودند. بنابراین ملاحظه می‌شود که تنها در حالت VRS دو مزرعه هر دو کارایی مذکور را به طور کامل دارا است. این نتایج بیانگر وجود پتانسیل قوی برای بهبود هر دو عملکرد زیست محیطی و اقتصادی مزارع مورد مطالعه جهت تولید گندم است. کشاورزان مورد مطالعه می‌توانند با بهبود کارایی فنی (یعنی با مصرف کمتر

جدول ۳. توزیع فراوانی مزارع کارا

بازده متغیر نسبت به مقیاس (VRS)		بازده ثابت نسبت به مقیاس (CRS)		بازده
درصد	تعداد	درصد	تعداد	انواع کارایی
۳۷/۸	۱۷	۲۰	۹	کارایی فنی کامل = ۱
۴/۴۴	۲	۴/۴۴	۲	کارایی تخصیصی کامل = ۱
۴/۴۴	۲	۲/۲۲	۱	کارایی هزینه کامل = ۱
۶/۶۶	۳	۲۰	۹	کارایی تخصیصی زیست‌محیطی کامل = ۱
۶/۶۶	۳	۲/۲۲	۱	کارایی زیست‌محیطی کامل = ۱
۴/۴۴	۲	۰	۰	کارایی هزینه و کارایی زیست‌محیطی کامل = ۱

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتیجه‌گیری

در این مطالعه بر اساس مطالعه کوتلی و همکاران (۲۰۰۷) با ترکیب اصل تعادل مواد و روش DEA اقدام به برآورد و تجزیه و تحلیل کارایی هزینه و زیست‌محیطی کشاورزان گندم‌کار منطقه مورد مطالعه در شهرستان گچساران شده است. بر اساس یافته‌ها متوسط کارایی هزینه تحت فرض CRS و VRS به ترتیب ۰/۵۳۶ و ۰/۶۶۲ بدست آمد که بیانگر امکان افزایش این کارایی بدون تغییر در سطح تولید گندم است. از آنجا که کارایی هزینه، حاصلضرب کارایی فنی و تخصیصی است و با توجه به مقادیر برآورده شده برای این دو کارایی، امکان افزایش کارایی هزینه از نظر فنی با مصرف کمتر نهاده‌ها و از نظر تخصیصی با تغییر ترکیب نهاده‌ها وجود دارد. بر اساس مقدار ضریب همبستگی بدست آمده بین کارایی هزینه با کارایی تخصیصی هزینه و کارایی فنی، اثر کارایی فنی بر افزایش کارایی هزینه تحت هر دو فرض CRS و VRS بسیار قوی‌تر از کارایی تخصیصی است. این نتایج با نتایج مطالعات تانه‌نگوین و همکاران (۲۰۱۲) و سیدی و دانشور (۱۳۹۳) همسو می‌باشد. نتایج میانگین کارایی زیست‌محیطی تحت فرض CRS و VRS (به ترتیب ۰/۵۶۹ و ۰/۶۹۱) بیانگر بهینه نبودن مقدار و ترکیب مواد مغذی (نهاده کود شیمیایی) است و لذا امکان بهبود عدم کارایی زیست‌محیطی با کاهش ناکارایی تخصیصی زیست‌محیطی (مواد مغذی) و ناکارایی فنی به اتفاق هم به

میزان قابل توجهی برای کشاورزان مورد مطالعه وجود دارد. از طرفی نتایج نشان داد بر خلاف کارایی هزینه، اثر کارایی فنی بر کارایی زیست‌محیطی مزارع، تنها تحت فرض VRS قوی‌تر از اثرات کارایی تخصیصی مواد مغذی مورد استفاده است. در این خصوص نتایج همسویی در مطالعات احمدزاده و همکاران (۱۳۹۹)، تانه‌نگوین و همکاران (۲۰۱۲)، نوروزیان و همکاران (۱۴۰۰)، مولائی و همکاران (۱۳۹۶) ملاحظه شد. از طرفی نتایج بیانگر عدم کارایی مقیاس و عدم فعالیت مزارع نمونه در مقیاس مطلوب است. لذا مزارع نمونه می‌توانند با افزایش سطح تولید خود هزینه متوسط هر واحد تولیدی را کاهش و کارایی هزینه را افزایش دهند. بر این اساس نتایج مشابهی را می‌توان در مطالعه نوروزیان و همکاران (۱۴۰۰) و تانه‌نگوین و همکاران (۲۰۱۲) مشاهده نمود.

مقایسه نتایج کارایی فنی با کارایی زیست‌محیطی نشان از توجه کم گندم‌کاران به مسائل زیست‌محیطی و استفاده‌ی نابهینه از نهاده‌های شیمیایی (سم و کود) دارد. بنابراین ضرورت دارد برنامه‌ریزی در راستای استفاده بهتر از ظرفیت‌های موجود به منظور افزایش تولید به عنوان راه حل اولیه مدنظر قرار گیرد. بر این اساس برنامه‌های آموزشی برای کشاورزان گندم‌کار در مورد نحوه استفاده از نهاده‌ها و چگونگی استفاده کاراتر از مواد مغذی، به مزارع برای مصرف نهاده‌های کمتر و مشکلات زیست‌محیطی کمتر کمک خواهد کرد. لذا توصیه می‌شود با

رساندن هزینه‌های تولید، نیز عملکرد زیست‌محیطی خود را بهبود بخشند. علاوه بر این سرمایه‌گذاری بیشتر در گزینه‌های سیاستی دیگری همچون وضع مالیات بر مقدار مصرف کود شیمیایی، حذف یارانه‌ها و یا ارائه طرح‌های تشویقی، می‌تواند در کاهش مازاد نهاده‌های مغذی مفید باشد. این مطالعه زمینه گسترش و بهبود بیشتر را دارد. به عنوان مثال با کاربرد روش پارامتری تحلیل مرزی تصادفی می‌توان متغیرهای مهم دیگری مانند کیفیت زمین، شرایط آب و هوایی، تحریف بازار و غیره را به منظور بهبود دقت برآورد کارایی هزینه و محیط‌زیست در مدل لحاظ نمود. افزون بر آن تحلیل تعیین‌کننده‌هایی از عوامل فضایی و مکانی در عملکرد زیست‌محیطی مزارع می‌تواند دنبال شود و زمینه طرح سیاست‌های مفید بیشتر را فراهم نماید. ضمن اینکه گسترش مقیاس این تحقیق در سطح ملی می‌تواند نتایج قابل اعتماد و کاربردی‌تر را فراهم نماید.

برگزاری دوره‌های آموزشی و ترویجی در زمینه‌ی کاربرد درست و بهینه‌ی این نهاده‌های مغذی تولید، با ارتقای سطح دانش کشاورزان به کاهش هدر رفت عامل‌های تولید کمک شود. هر چند با توجه به نتایج کارایی فنی و کارایی زیست‌محیطی، بدون مداخلات سیاستی مهم، گندمکاران مورد مطالعه قادر به بهبود کارایی زیست‌محیطی و اقتصادی (هزینه) خود بواسطه کارایی فنی بیشتر خواهند شد.

یافته‌های این مطالعه کاربردهای سیاستی مهم دیگری نیز در پی خواهد داشت. لذا در کنار آموزش کشاورزان به استفاده‌ی بهینه از نهاده‌های شیمیایی، دولت می‌تواند با اتخاذ سیاست‌های حمایتی، گندمکاران را به سمت کشت و تولید ارگانیک این محصول سوق دهد تا ضمن تأمین درآمد آنان، محصول سالمتری به دست مصرف‌کنندگان برسد. همچنین سیاست‌گذاران با مداخله در بازار و تنظیم و تعدیل قیمت نهاده‌ها، می‌توانند این امکان را فراهم نمایند تا مزارع با به حداقل

منابع

https://jae.marvdasht.iau.ir/article_249.html
سیدی، س.م.، و دانشور کاخکی، م. ۱۳۹۳. اقتصاد تولید پنبه: مطالعه کارایی هزینه و سود کشاورزان پنبه‌کار بشرویه. *اقتصاد و توسعه کشاورزی*، ۲۸(۴)، ۳۶۷-۳۶۰.
<https://doi.org/10.22067/JEAD2.V0I0.37266>
مولائی، م.، و ثانی، ف. ۱۳۹۴ الف. برآورد کارایی زیست‌محیطی در بخش کشاورزی. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۵(۲)، ۱۰۱-۹۱.
https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_3842.html
مولائی، م.، و ثانی، ف. ۱۳۹۴ ب. برآورد کارایی فنی و کارایی زیست‌محیطی گاوداری‌های شیری شهرستان سراب (رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها). نشریه پژوهش‌های علوم دامی،

احمدزاده، س.ص.، امیرنژاد، ح.، و حسینی یکانی، س.ع. (۱۳۹۹). تحلیل کارایی محیط‌زیستی مزارع برنج در استان گیلان با تأکید بر شرط تعادل مواد. *اقتصاد و توسعه کشاورزی*، ۳۴(۱)، ۱۵-۲۷.
<https://doi.org/10.22067/JEAD2.VI0.82723>
پارسا، پ.، جلائی اسفندآبادی، س.ع.، و صادقی، ز. (۱۳۹۷). محاسبه کارایی فنی زیست‌محیطی در استان‌های ایران. *فصلنامه اقتصاد محیط‌زیست و منابع طبیعی*، ۲(۲)، ۸۱-۱۰۳.
<https://doi.org/10.22054/EENR.2016.8408>
جعفرنیا، م.، و اسماعیلی، ع. ۱۳۹۲. به کارگیری اثرات زیست‌محیطی در تحلیل کارایی فنی: مطالعه موردی پرواربندی شهرستان شیراز. تحقیقات اقتصاد کشاورزی، شماره ۲، ۱۶۴-۱۵۱.

- Journal Productivity Analysis, 35(3), 243–262. <https://doi.org/10.1007/s11123-010-0194-y>
- Bijay-Singh, and Craswell, E. 2021. Fertilizers and nitrate pollution of surface and ground water: An increasingly pervasive global problem. *SN Appl Sci* 3:518. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04521-8>
- Bijay-Singh, Varinderpal-Singh, and Ali, AM. 2020. Site-specific fertilizer nitrogen management in cereals in South Asia. *Sustain Agric Rev* 39:137–178. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38881-2_6
- Bisht, N., and Singh Chauhan, P. 2021. Excessive and Disproportionate Use of Chemicals Cause Soil Contamination and Nutritional Stress. *Soil Contamination - Threats and Sustainable Solutions*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.94593>
- Bora, K. 2022. Spatial patterns of fertilizer use and imbalances: Evidence from rice cultivation in India. *Environ Chall* 7:100452. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100452>
- Chandini, R. K., Kumar, R., and Om, P. 2019. The Impact of Chemical Fertilizers on our Environment and Ecosystem. In *Research Trends in Environmental Sciences*, 2nd Edition, 71–86. <https://www.researchgate.net/publication/331132826>
- Cecílio Filho, A.B., Nascimento, C.S., de, B., Pereira, J., and Nascimento, C.S. 2022. Nitrogen fertilisation impacts greenhouse gas emissions, carbon footprint, and agronomic responses of beet intercropped with arugula. *Journal Environmental Management*, 307, 114568. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114568>
- Coelli, T., Rao, D.S.P., and Batteseo, G.E. 2005. *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. Kluwer academic publisher. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5493-6>
- ۱۴۱–۱۵۵، (۴)۲۵
https://animalscience.tabrizu.ac.ir/article_4551.html
- مولایی، م.، حصارى شرمه، ن.، و جوان بخت، ع. ۱۳۹۶. برآورد کارایی زیست‌محیطی نهاده-محور محصولات کشاورزی (مطالعه موردی: کارایی زیست‌محیطی تولید برنج). *اقتصاد کشاورزی*، ۱۱(۲)، ۱۵۷–۱۷۲. <https://doi.org/10.22034/IAES.2017.26798>
- نوروزیان، م.، حسینی، س.م.، اکبری، ا.، و دادرس مقدم، ا. ۱۴۰۰. عوامل موثر بر کارایی زیست‌محیطی کلزاکاران در استان‌های ایران (رهیافت اقتصاد سنجی مکانی). *تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۱۳(۴)، ۶۰–۷۷. <https://doi.org/10.30495/JAE.2021.21934.2043>
- وزارت جهاد کشاورزی ایران، ۱۴۰۰. مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، آمارنامه‌های کشاورزی محصولات زراعی، ۱۴۰۰–۱۳۹۵. <https://amar.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/amar99-1400.pdf>
- Adesemoye, A.O., Torbert, H.A., and Klopper, J.W. 2009. Plant growth promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers. *Microbial Ecology*, 58: 921-929. <https://doi.org/10.1007/s00248-009-9531-y>
- Alexandratos, N., and Bruinsma, J. 2012. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO. <https://www.fao.org/3/ap106e/ap106e.pdf>
- Ball, V., Lovell, C., Nehring, R., and Somwaru, A. 1994. Incorporating undesirable outputs into models of production: An application to US agriculture. *Cahiers d'Economie et Sociologie Rurales*. 31, 59–74. <https://doi.org/10.3406/reae.1994.1406>
- Barnum, D.T., and Gleason, I.M. 2011. Measuring efficiency under fixed proportion technologies.

- 251–260.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.147>
- Ho, T.Q., Hoang, V., and Wilson, C. 2021. Trade-off analysis of cost and nutrient efficiency of coffee farms in Vietnam: A more generalised approach. *Journal of Environmental Management*, 279: 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111601>
- Hong, H.K., Ha, S.H., Shin, C.K., Park, S.C., and Kim, S.H. 1999. Evaluating the efficiency of system integration projects using data envelopment analysis (DEA) and machine learning. *Expert Systems with Applications*, 16(3): 283–296. [https://doi.org/10.1016/S0957-4174\(98\)00077-3](https://doi.org/10.1016/S0957-4174(98)00077-3)
- Hoang, V.N., and Alauddin, M. 2012. Input-orientated data envelopment analysis framework for measuring and decomposing economic, environmental and ecological efficiency: An application to OECD agriculture. *Environmental Resource Economics*, 51: 431–452. <https://doi.org/10.1007/s10640-011-9506-6>
- Hoang, V.N., and Coelli, T. 2011. Measurement of agricultural total factor productivity growth incorporating environmental factors: A Nutrients balance approach. *Journal Environmental Economics Management*, 62(3): 462–474. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2011.05.009>
- Huang, M., Zeng, L., Liu, C., Li, X., and Wang, H. 2022. Research on the Eco-Efficiency of Rice Production and Its Improvement Path: A Case Study from China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(14):8645. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148645>
- Jarvis, S., Hutchings, N., Brentrup, F., Olesen, J.E., and Van Der Hock, K.W. 2011. Nitrogen flows in farming systems across Europe. In: *The European Nitrogen Assessment: source, effects and policy perspectives*. Cambridge University
- Coelli, T., Lauwers, L., and Van Huylenbroeck, G. 2007. Environmental efficiency measurement and the materials balance condition. *Journal Productivity Analysis*, 28, 3–12. <https://doi.org/10.1007/s11123-007-0052-8>
- Daly, H.E. 1986. Thermodynamic and economic concepts as related to resource-use policy: Comment. *Land Economics*, 62(3), 319–322. <https://doi.org/10.2307/3146396>
- Fageria, N.K. 2014. *Nitrogen Management in Crop Production*. New York: CRC Press. ISBN: 978-1-4822-2283-8.
- FAO. 2021. *World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2021*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb4477en>
- Färe, R., and Grosskopf, S. 2000. Theory and application of directional distance functions. *Journal Productivity Analysis*, 13: 93–103. <https://doi.org/10.1023/A:1007844628920>
- Färe, R., Grosskopf, S., and Tyteca, D. 1996. An activity analysis model of the environmental performance of firms—Application to fossil-fuel-fired electric utilities. *Ecological Economics*, 18: 161–175. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(96\)00019-5](https://doi.org/10.1016/0921-8009(96)00019-5)
- Färe, R., Grosskopf, S., Lovell, C., and Pasurka, C. 1989. Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable: A Nonparametric approach. *Review Economic Statistics*, 71: 90–98. <https://doi.org/10.2307/1928055>
- Hijbeek, R., Ten Berge, HFM., Whitmore, AP., Barkusky, D., Schroder, JJ., and Van Ittersum, MK. 2018. Nitrogen fertilizer replacement values for organic amendments appear to increase with N application rates. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 110(1):105–115. <https://doi.org/10.1007/s10705-017-9875-5>
- 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,

- <https://doi.org/10.2134/age2018.10.0045>
- Paungfoo-Lonhienne, C., Redding, M., Pratt, C., and Wang, W. 2019. Plant growth promoting rhizobacteria increase the efficiency of fertilisers while reducing nitrogen loss. *Journal of Environmental Management*, 233: 337–341. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.052>
- Pishgar Komleh, S.H., Zylowski, T., Rozakis, S., and Kozyra, J. 2020. Efficiency under different methods for incorporating undesirable outputs in an LCA+DEA framework: A case study of winter wheat production in Poland. *Environmental Management*, 260: 110-138. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110138>
- Pittman, R.W. 1983. Multilateral productivity comparisons with undesirable outputs. *Economics Journal*, 93, 883–891. <https://doi.org/10.2307/2232753>
- Reinhard, S., Knox Lovell, C., and Thijssen, G. 1999. Econometric estimation of technical and environmental efficiency: an application to dutch dairy farms. *American Journal of Agricultural Economics*. 81: 44-60. <https://doi.org/10.2307/1244449>
- Reinhard, S., and Thijssen, G. 2000. Nitrogen efficiency of dutch dairy farms: A shadow cost system approach. *European Review Agricultural Economics*, 27, 167–186. <https://doi.org/10.1093/erae/27.2.167>
- Raun, W.R., and Johnson, G.V. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal*, 91: 357-363. <https://doi.org/10.2134/agronj1999.00021962009100030001x>
- Saelee, W. 2017. Environmental Efficiency Analysis of Thai Rice Farming. PhD Thesis, university of reading, School of Agriculture, Policy and Development. <https://core.ac.uk/download/pdf/151208994.pdf>
- Seok, J.H., Saghaian, S., and Reed, M.R. 2018. The Signaling Effect and the impact of high maximum residue limit standards on U.S. vegetable exports. *Economic Analysis Policy*, Part III, Chapter 10. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511976988.013>
- Kourgialas, N.N., Karatzas, G.P., and Koubouris, G.C. 2017. A GIS policy approach for assessing the effect of fertilizers on the quality of drinking and irrigation water and wellhead protection zones (Crete, Greece). *Journal of Environmental Management*, 189:150–159. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.038>
- Kumbhakar, S., and Lovell, C.A.K. 2000. *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge University Press, New York. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139174411>
- 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: 203-210. <https://www.ingentaconnect.com/content/tcsae/tcsae/2017/00000033/00000011/art00026>
- Lim, S., Bae, H., and Lee, L.H. 2011. A study on the selection of benchmarking paths in DEA. *Expert Systems with Applications*, 38(6): 7665–7673. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.12.148>
- Ma, L., Feng, S., Reidsma, P., Qu, F., and Heerink, N. 2014. Identifying entry points to improve fertilizer use efficiency in Taihu Basin, China. *Land Use Policy*, 37:52–59. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.01.008>
- Narloch, U., and Bangalore, M. 2018. The multifaceted relationship between environmental risks and poverty: new insights from Vietnam. *Environmental Development Economics*, 23, 298–327. <https://doi.org/10.1017/S1355770X18000128>
- Omara, P., Aula, L., Oyebiyi, F. and Raun, W.R. 2019. World Cereal Nitrogen Use Efficiency Trends: Review and Current Knowledge. *Agrosystems, Geosciences and Environment*, 2:180045.

- electricity generation. *Ecological Economics*, 68: 2336–2343. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.03.004>
- Xilong, Y., Wei, F., Xiaoling, Z., Wenxi, W., Chentao, Z., and Shaqiu, Y. 2018. Measurement and decomposition of industrial green total factor water efficiency in China, *Journal of Cleaner Production*, 198:144-1156. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.138>
- Yaisawarng, S., and Klein, D.J. 1994. The effects of sulfur dioxide controls on productivity change in the U.S. electric power industry. *Review Economic Statistics*, 76: 447–460. <https://doi.org/10.2307/2109970>
- Zessner, M., and Lampert, C. 2002. The Use of regional material balances in water quality management. *Urban Water*, 4, 73–78. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00054-1](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00054-1)
- Zhang, H., Zhang, Y. and Zhang, R. 2014. Dimension-Specific Efficiency Measurement Using Data Envelopment Analysis, *Mathematical Problems in Engineering*, Article ID 247248. <https://doi.org/10.1155/2014/247248>
- Zheng, S., Yin, K., and Yu, L. 2022. Factors influencing the farmer's chemical fertilizer reduction behavior from the perspective of farmer differentiation. *Heliyon* 8, e11918. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11918>
- Wang, N., Jin, X., Ye, S.T., Gao, Y. and Li, X.F. 2017. Optimization of agricultural input efficiency for wheat production in China applying data envelopment analysis method. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15(3), pp.293-305. https://doi.org/10.15666/aeer/1503_293305
- 59: 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2018.04.004>
- Sharma, A., and Chetani, R.A. 2017. Review on the Effect of Organic and Chemical Fertilizers on Plants. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET)*, 677-680. <https://doi.org/10.22214/IJRASET.2017.2103>
- Shortall, O.K., and Barnes, A.P. 2013. Greenhouse gas emissions and the technical efficiency of farmers. *Journal of Ecological Indicators*, 29: 478-488. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.01.022>
- Thanh Nguyen, T., Hoang, V.N., and Seo, B. 2012. Cost and environmental efficiency of rice farms in South Korea. *Agricultural Economics*, 43: 369-378. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2012.00589.x>
- Tsujimoto, Y., Rakotoson, T., Tanaka, A., and Saito, K. 2019. Challenges and opportunities for improving N use efficiency for rice production in sub-Saharan Africa. *Plant Production Science*, 22(4): 413–427. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2019.1617638>
- Tyteca, D. 1997. Linear programming models for the measurement of environmental performance of firms, Concepts and empirical results. *Journal Productivity Analysis*, 8; 183–197. <https://doi.org/10.1023/A:1013296909029>
- Varian, H.R. 1992. *Microeconomic Analysis*. Norton, New York. <https://secure.nodebox.net/gkjfduhfy/11-prof-christophe-gleichner/9788130908632-microeconomic-analysis.pdf>
- Welch, E., and Barnum, D. 2009. Joint environmental and cost efficiency analysis of