ISSN(Print): 2008-6407 ISSN (Online): 2423-7248

Research Paper

Effect of Efficiency Improvement on Pollution Caused by Overuse of Chemical Fertilizers of Rice Cultivation in Guilan Province

Seyedeh Sedigheh Ahmadzadeh[1], Hamid Amirnejad[1*], Seyed Ali Hosseini Yakani[1]

1– Department of Agricultural Economics, Agricultural Engineering College, Sari Branch, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

Received: 2020/03/20
Accepted: 2020/11/30
PP:147-163

Use your device to scan and read the article online

DOI: 10.30495/jae.2022.24090.2134

Keywords:
Directional Distance Function, Profit Efficiency, Technical Efficiency, Rice Farmers of Guilan Province

Abstract

Introduction: The purpose of this study is to compare the experimental results obtained from estimating the technical and profit efficiency of rice farmers in Guilan province and determining the effect of efficiency improvement on pollution caused by overuse of chemical fertilizers in 2018-2019.

Materials and Methods: For analysis of technical and profit efficiency, the directional distance function has been used. Farms were classified into three groups according to region (east, center and west). Also, the farms were divided into 5 groups based on rice varieties (Hashmi variety, Ali Kazemi variety, Shiroudi variety, Jamshidi variety and Khazar variety). R, GAMS and Excel software were used in this study.

Findings: The results showed that improving the technical efficiency lead to the reduction of nutrients surplus discharged into the environment. But, the profit efficiency mostly increases the amounts of nutrients surplus discharged into the environment. Base on results, technical efficiency improvement reduces the amount of nutrients surplus discharged into the environment for Hashemi variety by 3.5 to 38.8 kg/ha, Ali Kazemi variety by 0.4 to 23.3 kg/ha, Jamshidi variety by 7.6 to 42 kg/ha, Khazar variety by 2.9 to 20.7 kg/ha and Shiroudi variety by 18 to 48.6 kg/ha.

Conclusion: If the rice farmers of Gilan province become technically efficient, this will lead to the reduction of pollution in all areas. Considering that the excessive use of chemical fertilizers leads to the discharge of nutrients surplus into the environment, therefore encouraging rice farmers to perform soil test and optimum use of chemical fertilizers can lead to reduced pollution and increased technical efficiency.

Citation: Ahmadzadeh, S.S., Amirnejad, H., Yakani, S.A.H., Effect of Efficiency Improvement on Pollution Caused by Overuse of Chemical Fertilizers of Rice Cultivation in Guilan Province: Agricultural Economics Research. 2022; 14 (2): 147- 163.

***Corresponding Author:** Hamid Amirnejad
Address: Department of Agricultural Economics, Agricultural Engineering College, Sari Branch, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
Tell: 09111275328
Email: hamidamirnejad@outlook.com

Extended Abstract

Introduction

Rice is considered one of the most important agricultural crops, which has the largest cultivated area in the country after wheat and cotton (1). Guilan province ranks second in rice production in the country with 236,431 hectares of rice cultivation and 912,016 tons of paddy production (2). The production and economy of rice in Gilan is extremely important. Considering the employment of more than 50% of the residents of the province in rice cultivation and Production of 31.2% of the country's rice, full attention should be paid to the cultivation of this product. One of the basic issues in rice production is the introduction of nutrients surplus from rice fields into the environment, which is caused by the lack of optimal use of chemical fertilizers (4, 27). According to the studies, the surplus of nutrients resulting from rice cultivation that causes problems for human health is nitrogen surplus (NS) and phosphorus surplus (PS). A part of the surplus nitrogen entering the environment causes pollution of surface and underground waters with nitrates, which are the most important sources of drinking water, and the other part that evaporates into the atmosphere as ammonia will lead to acid rain. PS also causes surface water pollution with nutrients and harms fish and plant life (5).

Materials and Methods

The aim of this study is to estimate the technical efficiency and profit efficiency of rice production in Guilan province. For analysis of technical and profit efficiency, the directional distance function has been used (19). In the present study, the efficiency of farms along with material balance conditions has been investigated (8). Therefore, the efficiency analysis emphasizes the reduction of nitrogen and phosphorus production due to rice cultivation systems, which can be achieved through improving the efficiency in the use of nutrients. Farms were classified into three groups according to region (east, center and west). Also, the farms were divided into 5 groups based on rice varieties (Hashmi variety, Ali Kazemi variety, Shiroudi variety, Jamshidi variety and Khazar variety). R, GAMS and Excel software were used in this study. The data was obtained using cross-sectional data and completing the questionnaires from 570 rice farmers in Guilan province and the Rice Research Institute in 2017-2018. First, Farms were classified into three groups according to region (east, center and west). Also, the farms were divided into 5 groups based on rice varieties (Hashmi variety, Ali Kazemi variety, Shiroudi variety, Jamshidi variety and Khazar variety). Then, farms with a negative and zero nutrient surplus were removed from the sample. Therefore, the presence of outliers in the dataset is identified by using the data cloud method and finally, 388 questionnaires were used. R, GAMS and Excel software were used in this study.

Findings

In the production of Hashemi variety, the results indicate that almost half of the Hashemi rice farmers in the eastern region and more than half of the Hashemi rice farmers in the center of the province are technically efficient. In the eastern region of the province, 6 percent of Hashemi farms are profitable, and in the western and central regions, 8 and 10 percent of the farms are profitable, respectively. Regarding the Ali-Kazemi variety, more than 80% of the rice farmers of this variety in the central and western regions are technically efficient. In terms of profit, Ali Kazemi rice farmers in the eastern region are more efficient than rice farmers in the western and central regions. Considering that the production of Shiroudi variety is mainly in the west of Gilan province, less than 40% of these rice farmers are technically efficient and about 5% are profitable. Jamshidi variety is mainly cultivated in the central and eastern regions of the province. Technically, these farms in the east of the province are more efficient than the center, but in terms of profit, Jamshidi rice farms in the center are more efficient. Khazar rice farmers in the western region have more technical efficiency than rice farmers of this variety in the center. 4.3% of the Khazar variety farms in the west and 4% in the center of the province are profitable, which is a very low percentage. The average scores of TIE obtained from

DDF1, in all the groups under investigation, showed that there is a possibility of reducing the consumption of inputs by at least 0.7% to a maximum of 12.4% in the province, considering the constant the current level of rice production.

The average scores of TIE obtained from the DDF2 criterion in all the studied groups are in the range of 0.8% to 14.5%. This indicates that the studied farms can increase the amount of rice production from 0.8% to 14.5%, by improving their technical efficiency with the available amount of consumption inputs. The results of the average TIE scores obtained from the DDF3 criterion also indicate that by improving the efficiency in the studied farms, it is possible to increase production and reduce the current consumption of inputs at the same time. Also, the results showed that improving the technical efficiency lead to the reduction of nutrients surplus discharged into the environment. But, the profit efficiency mostly increases the amounts of nutrients surplus discharged into the environment. Base on results, technical efficiency improvement reduces the amount of nutrients surplus discharged into the environment for Hashemi variety by 3.5 to 38.8 kg/ha, Ali Kazemi variety by 0.4 to 23.3 kg/ha, Jamshidi variety by 7.6 to 42 kg/ha, Khazar variety by 2.9 to 20.7 kg/ha and Shiroudi variety by 18 to 48.6 kg/ha.

Discussion

Based on the obtained results, the discharge rate of NS and PS to the environment is different in the studied groups; as a result, their fertilizer requirements will also be different. Even some farms in the present study had negative or zero NS and PS, so soil testing by farmers should become a principle so that the fertilizer consumption is appropriate to the needs of each farm. But since the use of more fertilizer reduces the risk of crop reduction and may be cheaper and more accessible than soil testing, it encourages farmers to use fertilizer at a higher rate than the optimal economic and environmental rate. Therefore, it is suggested that the government provides the necessary facilities with support packages and the establishment of relevant laboratories. Considering the high consumption of chemical fertilizers in rice production, the government can reduce the environmental problems resulting from rice production by supporting rice farmers with high efficiency and preparing standards and issuing certificates for products with less environmental impact and creating a culture of buying and consuming healthy products even at a higher price among people in the community. Also, it is suggested that in future research and when planning for agricultural development policies, in addition to considering the technical efficiency of different agricultural products, the condition of nutrient balance be investigated so that the appropriate DDF can be found to improve efficiency and also reduce the consequences of suboptimal use of chemical fertilizers.

Conclusion

In some areas, improving efficiency in the direction of DDF_1 has been more effective in discharging less nutrients surplus into the environment, because reducing the consumption of inputs, including chemical fertilizers, will lead to a reduction in the consumption of nutrients and, as a result, reducing its excess entry into the environment. Therefore, if the rice farmers of Gilan province become technically efficient, this will definitely lead to the reduction of pollution in all regions. However, this issue is not always true regarding profit efficiency (DDF4) because this model reduces surplus nutrient discharge in some cases and increases it in other cases. Therefore, only paying attention to the profits efficiency of farmers without considering the material balance condition can be misleading and have serious negative consequences for the environment. Therefore, in ranking farms based on profit efficiency, should be more careful.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All subjects full fill the informed consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Seyedeh Sedigheh Ahmadzadeh, Hamid Amirnejad, Seyed Ali Hosseini Yakani; Methodology and data analysis: Seyedeh Sedigheh Ahmadzadeh, Hamid Amirnejad, Seyed Ali Hosseini Yakani; Supervision and final writing: Seyedeh Sedigheh Ahmadzadeh.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

شاپا الکترونیکی: ۷۲۴۸-۲۴۲۳ شاپا چاپی: ۶۴۰۷-۲۰۰۸

مقاله پژوهشی

اثر بهبود کارایی بر آلودگی حاصل از مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی در کشت برنج استان گیلان

سیده صدیقه احمدزاده[۱]، حمید امیرنژاد[۱*]، سید علی حسینی یکانی[۱]

۱- گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۰
شماره صفحات: ۱۶۳-۱۴۷

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

DOI: 10.30495/jae.2022.24090.2134

واژه‌های کلیدی:
تابع فاصله جهت‌دار، کارایی سود، کارایی فنی، شالی‌کاران استان گیلان

چکیده

مقدمه و هدف: هدف این مطالعه مقایسه نتایج تجربی حاصل از تخمین کارایی فنی و کارایی سود شالی‌کاران استان گیلان و تعیین تأثیر بهبود کارایی بر مقدار آلودگی حاصل از مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در تحلیل کارایی فنی و سود از تابع فاصله جهت‌دار استفاده شد. مزارع از لحاظ منطقه در سه گروه دسته‌بندی شدند (شرق، مرکز و غرب). هم‌چنین، مزارع بر اساس ارقام برنج (رقم هاشمی، رقم علی کاظمی، رقم شیرودی، رقم جمشیدی و رقم خزر) نیز به ۵ گروه تقسیم شدند. در این مطالعه از نرم‌افزارهای R، GAMS و Excel استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بهبود کارایی فنی باعث کاهش تخلیه مازاد مواد مغذی به محیط زیست شده اما بهبود کارایی سود، در بیش‌تر موارد تخلیه مازاد مواد مغذی به محیط را افزایش می‌دهد. بر اساس نتایج، بهبود کارایی فنی مقدار تخلیه مازاد مواد مغذی به محیط زیست را در رقم هاشمی به مقدار ۳/۵ تا ۳۸/۸ درصد، رقم علی‌کاظمی ۰/۴ تا ۲۳/۳ درصد، رقم جمشیدی ۷/۶ تا ۴۲ درصد، رقم خزر ۲/۹ تا ۲۰/۷ درصد و رقم شیرودی ۱۸ تا ۴۸/۶ درصد در هر هکتار کاهش می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری: اگر شالی‌کاران استان گیلان از نظر فنی کارا شوند این امر منجر به کاهش آلودگی در تمام مناطق خواهد شد. با توجه به اینکه استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی منجر به تخلیه مازاد مواد مغذی به محیط زیست می‌شود، ترغیب شالی‌کاران به انجام آزمون خاک و استفاده بهینه از کودهای شیمیایی می‌تواند مقدمات کاهش آلودگی و افزایش کارایی فنی را فراهم آورد.

* **نویسنده مسئول:** حمید امیرنژاد
نشانی: گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
تلفن: ۰۹۱۱۱۲۷۵۳۲۸
پست الکترونیکی: hamidamirnejad@outlook.com

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقدمه

برنج یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی بشمار می‌رود که پس از گندم و پنبه بیش‌ترین سطح زیرکشت را در کشور دارا است. بر پایه آخرین آمار سازمان خوار و بار کشاورزی سطح زیرکشت این محصول در کشور بیش از ۵۷۱ هزار هکتار در سال ۲۰۱۷ بوده که ارزش ناخالص تولیدی معادل ۱۴۷۳ /۳۴ میلیون دلار بر پایه قیمت‌های ثابت سال ۲۰۰۶ و ۲۷۶۵/۷۹ میلیون دلار بر پایه قیمت‌های جاری داشته است (۱).

با وجود برنج‌کاری در ۱۶ استان کشور استان‌های مازندران، گیلان، گلستان، فارس و خوزستان از استان‌های عمده تولیدکننده این محصول می‌باشند و استان‌های مازندران، گیلان و گلستان سهم بیش‌تری در تولید برنج دارند. ۸۳ میلیون تن محصولات زراعی در سال ۹۵-۱۳۹۴ در کشور تولید شده است که مقدار ۲۲/۴۱ میلیون تن معادل ۲۷ درصد آن غلات می‌باشد. مقدار تولید شلتوک ۱۳/۰۴ درصد از کل مقدار غلات تولیدی بوده که حدود ۸۲ درصد از آن در استان‌های شمالی مازندران، گیلان وگلستان تولید می‌شود. در این بین، استان گیلان با متوسط سطح زیرکشت ۲۳۶۴۳۱ هکتار برنج و تولید ۹۱۲۰۱۶ تن شلتوک دارای رتبه دوم تولید برنج در کشور می‌باشد (۲). میانگین مصرف سرانه برنج در ایران حدود ۳۶-۳۴ کیلوگرم بوده و مردم گیلان با ۵۳ کیلوگرم مصرف سرانه، بیش‌ترین مصرف سرانه برنج را در ایران دارند (۳). شهرستان رشت به‌عنوان مرکز استان با داشتن ۶۲۳۳۶ هکتار برنج‌کاری و تولید سالیانه بالغ بر ۲۶۱ هزار تن برنج سفید، ۲۶ درصد از سطح زیرکشت برنج‌کاری استان گیلان و حدود ۱۱ درصد از سطح زیرکشت برنج کشور را به‌خود اختصاص داده و بزرگ‌ترین شهرستان برنج‌کاری کشور می‌باشد (۲) .تولید و اقتصاد برنج در گیلان از اهمیتی بسیار برخوردار است، به‌گونه‌ای که اشتغال بیش از ۵۰ درصد از ساکنان استان و اختصاص حدود ۳۱/۲ درصد از تولید کل شلتوک کشور به گیلان، کشت و کار و اقتصاد آن را در مقامی قرار می‌دهد که در خور توجهات همه‌جانبه است. اما یکی از موضوعات اساسی در تولید برنج، ورود مازاد مواد مغذی[۱] ناشی از عدم مصرف بهینه کودهای شیمیایی از مزارع برنج به محیط اطراف می‌باشد (۴). بر اساس مطالعات انجام‌شده، مازاد مواد مغذی حاصل از کشت برنج که باعث بروز مشکلاتی برای سلامتی انسان می‌شود مازاد نیتروژن (NS)[۲] و مازاد فسفر (PS)[۳] است. بخشی از مازاد نیتروژن ورودی به محیط زیست باعث آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی به نیترات می‌شود که مهم‌ترین منابع آب آشامیدنی هستند و بخشی دیگر هم که به عنوان آمونیاک به جو تبخیر می‌شود منجر به وقوع باران اسیدی خواهد شد. PS نیز باعث آلودگی آب‌های سطحی به مواد مغذی شده و به ماهی‌ها و زندگی گیاهان آسیب می‌رساند (۵).

آب آلوده به نیترات، خطراتی را برای سلامتی انسان بویژه برای کودکان به‌همراه دارد. افرادی که محصولاتی با مقادیر زیاد نیترات مصرف می‌کنند و از چاه‌های آلوده به نیترات آب می‌نوشند، به خاطر اثرات طولانی مدت نیترات‌ها ریسک ابتلا به انواع گوناگون سرطان در آن‌ها افزایش می‌یابد. بزرگ‌ترین خطر مسمومیت با نیترات سندرم کودک آبی است و کودکانی که از آب حاوی نیترات استفاده می‌کنند بویژه نوزادان زیر ۴ ماه به آن مبتلا می‌شوند (۶). نسبت کودی (ترکیب شیمیایی عناصر غذایی پرمصرف) در جهان به‌صورت (پتاسیم) ۲۶- (فسفر) ۳۷- (ازت) ۱۰۰ است، اما این نسبت در کشور ما نامتعادل بوده و برابر با (پتاسیم) ۰۷- (فسفر) ۳۴- (ازت) ۱۰۰ است (۷). از آن جا که در حال حاضر عمده‌ی کودهای مصرفی کشور را کودهای نیتراتی و فسفاتی تشکیل می‌دهند این امر عملا زنگ خطری برای تولید محصولات کشاورزی سالم است. بنابراین، با توجه به مسایل عنوان‌شده درباره مشکلات محیطی و انسانی، توجه به پیامدهای محیطی کشت برنج در استان گیلان نیز یکی از جانبه‌هایی است که باید مورد توجه اساسی قرار گیرد.

پژوهشگران در مطالعه‌ای با بررسی کارایی محیط‌زیستی و شرایط توازن مواد در واحدهای تولید خوک در بلژیک نشان دادند که مدل‌های کارایی که نهاده‌های مضر محیطی یا ستاده نامطلوب را در مدل‌های کارایی تولید استاندارد وارد می‌کنند ممکن است در زمانی که شرایط توازن مواد (MBC)[۴] قابل اجرا است با این شرایط در تناقض باشند. هنگامی که ستاده و یا نهاده‌های مضر محیطی در مدل کارایی گنجانده شوند، تنها مزارع کارا که بر روی مرز امکانات تولید در حال تولید هستند، با شرایط MBC سازگار بوده و کارایی آن‌ها تغییر نمی‌کند در حالی که شرایط مزارع ناکارا که زیر مرز تولید قرار دارند، ناپایدار خواهد بود. میانگین کارایی فنی برابر ۰/۸۹۷ نشان داد که واحدهای تولیدی خوک باید بتوانند خروجی کنونی خود را با ۱۰/۳ درصد نهاده کم‌تر تولید کنند و میانگین کارایی محیط‌زیستی برابر ۰/۸۴۳ نیز نشان داد که واحدهای تولیدی باید بتوانند خروجی کنونی خود را با مجموعه نهاده‌هایی تولید کنند که حاوی ۱۵/۷ درصد فسفات کم‌تر باشد. بر اساس نتایج، حرکت از نقطه کمینه‌سازی مازاد مواد مغذی به نقطه کمینه‌سازی هزینه، هزینه واحدها را به مقدار ۴/۶ درصد کاهش داده و حرکت از نقطه کمینه‌سازی هزینه به نقطه کمینه‌سازی مواد مغذی، موجب کاهش ورودی‌های مواد مغذی به مقدار ۵/۳ درصد خواهد شد. یافته‌های این مطالعه هم‌چنین، نشان داد که پتانسیل قابل‌توجهی برای کاهش آلودگی مواد مغذی واحدهای مورد بررسی از راه بهبود کارایی وجود دارد (۸). در مطالعه‌ای دیگر کارایی هزینه و محیط‌زیستی (مواد مغذی مورد استفاده) ۹۶ شالی‌کار در استان گانگون کره جنوبی طی سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۰۳ مورد بررسی قرار گرفت. در تحلیل کارایی محیط‌زیستی، از دو ماده مغذی مصرفی در مزارع برنج (نیتروژن و فسفر) برای محاسبه قدرت آلایندگی استفاده شد، با فرض وزن ثابت یک برای نیتروژن و ۱۰ برای فسفر، این وزن‌های ثابت در سایر مطالعات محیطی نیز استفاده شده است (۸، ۹ و ۱۰). یافته‌های این پژوهش نشان داد که بهبود کارایی فنی منجر به کاهش هزینه‌های تولید و بهبود عملکرد محیطی خواهد شد، با این وجود، کشاورزان مقدار کمی از هزینه‌های کنونی خود را در زمینه عملیات کارآمد سازگار با محیط زیست صرف می‌کنند. به

[۱] Nutrient Surplus
[۲] Nitrogen surplus
[۳] Phosphorus Surplus
[۴] Material Balance Condition

طور میانگین این جنبش محیطزیستی، هزینه‌های تولید را ۱۱۹ درصد کاهش داده است. هم‌چنین، نتایج نشان داد که برای مزرعه‌های دارای کارای فنی، بین هزینه و کارایی محیطزیستی یک رابطه متقابل وجود دارد. در انتها پیشنهاد شد جهت بهبود هزینه و عملکرد محیطزیستی مزارع برنج، سیاست‌های محیطزیستی مجددا طراحی شود (۱۱). محققان در مطالعه‌ای قیمت سایه‌ای نیتروژن و کارایی فنی را برای کشاورزی حفاظت‌شده در مالاوی برآورد کردند. در این مطالعه از یک تابع فاصله جهت‌دار استفاده شد. قیمت سایه‌ای منعکس‌کننده همبستگی میان کود نیتروژن و دستیابی به مقدار مشخصی از تولید می‌باشد. بر اساس نتایج پژوهش ناکارآمدی فنی قابل‌توجه در سیستم تولید وجود داشت. .قیمت‌های سایه‌ای برآورد شده در مزارع متفاوت بوده و به طور میانگین بالاتر از قیمت مرجع نیتروژن تجاری بدست آمد. هم‌چنین، نتایج مطالعه نشان داد که اصلاح برنامه‌های حمایت از قیمت کنونی که به طور غیرمستقیم موجب اصلاح خاک می‌شود، مفید خواهد بود (۱۲). در مطالعه‌ای دیگر کارایی محیطزیستی برنج‌کاران کشور تایلند با استفاده از شرط تعادل مواد برآورد شد. بمنظور تخمین کارایی فنی نه گروه مشاهده‌شده برنج‌کاران در این کشور تابع فاصله جهت‌دار با جهت‌های گوناگون استفاده شد. بر اساس نتایج میانگین کارایی فنی کشاورزان تایلندی از ۸۴/۱ درصد تا ۹۹ درصد بسته به نوع انتخاب بردار جهت محاسبه شد. تخمین کارایی مازاد مواد مغذی جهت‌دار[1] در سیستم‌های کشاورزی برنج تایلند نیز نشان داد مقدار تخلیه مازاد نیتروژن به محیط زیست توسط برنج‌کاران تایلندی به طور میانگین از ۲۰/۱ تا ۵۰/۷ کیلوگرم در هکتار و تخلیه مازاد فسفر به محیط از ۱۱ تا ۲۸/۷ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. بر اساس این مطالعه، مزارع با بهترین عملکرد در نه گروه مشاهده‌شده می‌توانند با استفاده کم‌تر از نهاده‌ها بویژه نهاده-های مضر محیط زیست مانند کود نیتروژن و فسفر سود بیش‌تری نسبت به سایر مزارع در گروههای مربوطه بدست آورند (۱۳). بررسی بهره‌وری کل عوامل تولید و کارایی محیطزیستی کشاورزی در نه کشور آسیای شرقی نشان داد تفاوت‌های زیادی در رشد بهره‌وری و کارایی محیطزیستی بخش کشاورزی در بین کشورهای نمونه وجود دارد و کاهش بهره‌وری در این کشورها به‌دلیل کاهش کارایی فنی بوده است. هم‌چنین، بر اساس نتایج، در طول دوره‌ی مطالعه کشورهای تایوان، ژاپن و کره دارای رشد بهره‌وری بالا بوده و از لحاظ محیطزیستی کاملاً کارا عمل کردند در حالی که کشور تایلند کم‌ترین مقدار کارایی محیطزیستی را در این دوره داشته است. بنابراین، روش‌های تولید در بخش کشاورزی کشورهای تایوان، ژاپن و کره می‌توانند به عنوان مرجع خوبی برای شش کشور دیگر باشند (۱۴). پژوهشگران در مطالعه‌ای به بررسی چگونگی بهبود بازده کود در شرایط کارایی مصرف نیتروژن (N)، یعنی افزایش عملکرد دانه در هر کیلوگرم N مصرفی، در تولید برنج پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که کارایی مصرف N از راه یافتن بی‌ثباتی مکانی در کمبود عناصری از قبیل فسفر، گوگرد، روی و سمیت آهن قابل بهبود است. هم‌چنین، تعامل بین کمبود فسفر (P) و عوامل محیطی نظیر سرمازدگی نیز ممکن است کارایی مصرف N در تولید برنج را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین، پیشنهاد شد مدیریت مناسب N و P نباید صرفاً بر اساس خصوصیات مواد مغذی مزرعه باشد بلکه باید شرایط آب و هوایی، دوره کاشت و مدت زمان رشد ارقام نیز در نظر گرفته شود (۱۵). در مطالعه‌ای دیگر تأثیر گسترش مقیاس تولید برنج بر بهبود کارایی محیط زیستی برنج در کشور ژاپن مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه روش تحلیل پوششی داده‌ها به دو صورت نهاده‌گرا و ستاده‌گرا مورد استفاده قرار گرفت. پتانسیل آلودگی ناشی از مازاد مواد مغذی (P, N) از جمله نگرانی‌های محیطزیستی مرتبط با تولید برنج در ژاپن هستند که به‌عنوان نهاده در مدل DEA مورد ارزیابی قرار گرفتند. مقایسه مزارع نشان داد گسترش اندازه مزارع برنج باعث کاهش قابل-توجهی در مصرف بعضی از نهاده‌ها از قبیل کودهای شیمیایی در هر هکتار شده و این کار روشی مؤثر برای بهبود کارایی محیطزیستی تولید برنج در ژاپن می‌باشد. در این مطالعه تحقق اقتصاد مقیاس و کاهش مصرف کودهای شیمیایی به‌عنوان مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر در بهبود کارایی محیطزیستی شناخته شدند (۱۶). نتایج یک مطالعه در زمینه کارایی محیطزیستی تولید برنج در شهرستان بابلسر نشان داد میانگین کارایی فنی در این شهرستان برابر با ۸۷ درصد بوده که نشان از شکاف کارایی ۳۸ درصدی بین شالیزارها دارد. میانگین کارایی محیطزیستی نیز برابر با ۷۷ درصد محاسبه شد که نشان از توجه کم شالی‌کاران به مسائل محیطزیستی و استفاده نابهینه از نهاده‌های کود و سم دارد (۱۷). بررسی کارایی تولید خرما در شهرستان بم نشان دادند همه نهاده‌های تولیدی بیش‌تر از مقدار بهینه استفاده شدند و بیش‌ترین اختلاف مصرف به‌ترتیب در نهاده‌های کود حیوانی، کود شیمیایی، استفاده از ماشین‌آلات و آب بوده است. بر اساس نتایج کشاورزان این شهرستان دارای ۳۴ درصد عدم کارایی در مصرف کودشیمیایی بودند (۱۸).

تابع فاصله جهت‌دار، می‌تواند به پژوهشگران کمک کند تا از انتخاب دلخواه بین DEA نهاده‌گرا و ستاده‌گرا جلوگیری شود (۱۹ و ۲۰). این روش بر خلاف مدل‌های تحلیل پوششی نهاده‌گرا و یا ستاده‌گرا، برای محاسبه کارایی اجازه می‌دهد که به‌گونه هم‌زمان به مقادیر ستاده اضافه و از مقادیر نهاده کاسته شود. این معیار از روش‌های کارا به‌منظور کمینه‌سازی هزینه بالقوه (هزینه فرصت) بهره می‌جوید که کمینه کردن این هزینه‌ها باعث افزایش کارایی بنگاهها می‌شود (۲۱). بنابراین، در این مطالعه از تابع فاصله جهت‌دار در تعیین کارایی محیطزیستی استفاده شده است.

استان گیلان با متوسط سطح زیرکشت ۲۳۶۴۳۱ هکتار برنج و تولید ۹۱۲۰۱۶ تن شلتوک دارای رتبه دوم تولید برنج در کشور می‌باشد (۲). تولید و اقتصاد برنج در گیلان از اهمی‌تی بسیار برخوردار است، به گونه‌ای-که اشتغال بیش از ۵۰ درصد از ساکنان استان و اختصاص حدود ۳۱/۲ درصد از تولید کل شلتوک کشور به گیلان (۲)، کشت و کار و اقتصاد آن را در مقامی قرار می‌دهد که در خور توجهات همه‌جانبه است. از سوی دیگر، مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی باعث سمی و سرطان‌زا شدن محصولات کشاورزی می‌شود. با توجه به آمار بالای انواع سرطان بویژه سرطان معده در ایران که شایع‌ترین نوع سرطان در گیلان نیز محسوب می‌شود ادامه روند تولید محصولات کشاورزی مسموم و سرطان‌زا باعث

[1] Directional Nutrient Surplus Efficiency

افزایش این آمار خواهد شد (۲۲). از این رو تمرکز اصلی این پژوهش، ارزیابی عملکرد فنی و آلودگی ناشی از مازاد مواد مغذی در مزارع برنج استان گیلان می‌باشد. مازاد مواد مغذی حاصل از کشت برنج که باعث مشکلات محیط‌زیستی می‌شود مازاد نیتروژن و فسفر است. بنابراین در این مطالعه، کارایی مزارع به‌همراه شرایط تعادل مواد بررسی شده است. تحلیل کارایی در این مطالعه بر کاهش تولید نیتروژن و فسفر ناشی از سیستم‌های کشت برنج تأکید دارد که از راه بهبود کارایی در استفاده از مواد مغذی قابل حصول می‌باشد.

روش پژوهش

شرط تعادل مواد (MBC)

شرط تعادل مواد مغذی به‌صورت تفاوت بین مقدار مواد مغذی است که توسط نهاده‌ها وارد مزرعه شده منهای مقدار مواد مغذی که توسط محصول از مزرعه خارج می‌شود. معیار مازاد مواد مغذی، به صورت یک تابع خطی از بردارهای نهاده و ستاده و به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود (۸):

$$z = aX - bY \qquad z \in R_+ \tag{۱}$$

در این مطالعه تحلیل کارایی بر اساس داده‌های هر مزرعه از شالی‌کاران مورد بررسی در استان گیلان می‌باشد. $x^i = (x_1^i, x_2^i, \ldots, x_k^i)$ بردار نهاده‌های مصرفی با k نهاده (شامل متغیرهای سطح زیرکشت (X_1) بر حسب هکتار، کود پتاسیم (X_2) بر حسب کیلوگرم، کود نیتروژن (X_3) بر حسب کیلوگرم، کود فسفر (X_4) بر حسب کیلوگرم، کود حیوانی (X_5) بر حسب کیلوگرم، سموم (X_6) بر حسب لیتر، بذر (X_7) بر حسب کیلوگرم، عملیات شخم (X_8) بر حسب ساعت، نیروی کار (X_9) بر حسب تومان و شاخص دیویژیا (X_{10}))[1] بر حسب تومان است. شاخص دیویژیا بیانگر مجموع سایر هزینه‌های تولید است که این هزینه‌ها به‌عنوان نهاده وارد مدل نشدند. این هزینه‌ها از قبیل هزینه آبیاری، پلاستیک خزانه، حمل و نقل و ... می‌باشد که به عنوان یک متغیر و بر حسب تومان محاسبه شده است. $y^i = (y_1^i, y_2^i, \ldots, y_{m_1}^i)$ نیز بردار ستاده شامل برنج تولیدی در هر مزرعه می‌باشد. a بردار $K \times 1$ مواد مغذی موجود در نهاده و b بردار $M \times 1$ مواد مغذی موجود در ستاده بوده که بردارهای ثابت و غیرمنفی می‌باشند. بنابراین در این مطالعه، بردار مقدار نیتروژن و فسفر موجود در نهاده‌ها به‌ترتیب برابر با رابطه‌های (۲) و (۳) می‌باشند:

$$a_N = [0 \quad 0 \quad 0.0046 \quad 0 \quad 0.00019 \quad 0 \quad 0.0137 \quad 0 \quad 0 \quad 0]_{1\times10} \tag{۲}$$

$$a_P = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0.002 \quad 0.000056 \quad 0 \quad 0.0025 \quad 0 \quad 0 \quad 0]_{1\times10} \tag{۳}$$

بردار مقدار نیتروژن و فسفر موجود در ستاده نیز به‌ترتیب برابر با رابطه‌های (۴) و (۵) می‌باشند:

$$b_N = [0.0137]_{1\times1} \tag{۴}$$

$$b_P = [0.0025]_{1\times1} \tag{۵}$$

میانگین مقدار نیتروژن موجود در کوهای نیتروژنه، کودهای حیوانی و دانه برنج به‌ترتیب برابر با ۰/۴۶، ۰/۰۱۹ و ۱/۳۷ درصد و متوسط مقدار فسفر موجود در کودهای فسفر، کودهای حیوانی و دانه برنج نیز به‌ترتیب برابر با ۰/۲، ۰/۰۰۵۶ و ۰/۲۵ درصد می‌باشد (۲۳). تابع فاصله جهت‌دار (DDF) به صورت رابطه (۶) می‌باشد (۱۹):

$$D_T(x, y, g_x, g_y) = \max_{\beta} \{\beta : (x - \beta g_x, y + \beta g_y) \in T\}, \quad x \in R_+^k, y \in R_+^m \tag{۶}$$

مسئله بهینه‌سازی متناظر با معیار DDF مورداستفاده جهت ارزیابی کارایی مزرعه صفر را در جهت بردار (g_x, g_y) و با فناوری بازدهی متغیر نسبت به مقیاس می‌توان به‌صورت مدل (۷) نوشت (۱۳):

$$\begin{aligned} & D_T(x^0, y^0; g_x, g_y) = \max_{\beta^0, \lambda^i} \ \beta^0 \\ \textit{Subject to} \quad & x_k^0 - \beta^0 g_x \geq \sum_{i=1}^{n} \lambda^i x_k^i \ , \ k = 1, \ldots, k \\ & y_m^0 + \beta^0 g_y \leq \sum_{i=1}^{n} \lambda^i y_m^i \ , \ m = 1, \ldots, m \\ & \sum_{i=1}^{n} \lambda^i = 1 \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned} \tag{۷}$$

β^0 در مدل (۷) نشان‌دهنده ناکارایی فنی مزرعه صفر، λ^i برداری غیر منفی با ابعاد $n \times 1$ است که بیانگر وزن‌های مجموعه مرجع[2] برای یک مزرعه ناکارا بوده و n تعداد مزارع مورد بررسی است که برابر با ۳۸۸ مزرعه می‌باشد. بر اساس مدل (۷) اگر $D_T(x^0, y^0; g_x, g_y) = 0$ مزرعه کارا بوده و اگر $D_T(x^0, y^0; g_x, g_y) > 0$ مزرعه ناکارا است. در این مدل بردار جهت از پیش‌تعیین‌شده بوده و برابر با رابطه (۸) می‌باشد:

$$D_T\left(x, y; \frac{1}{\sum_{k=1}^{k} w_k + \sum_{m=1}^{m} p_m}, \frac{1}{\sum_{k=1}^{k} w_k + \sum_{m=1}^{m} p_m}\right) \tag{۸}$$

با توجه به مدل (۷) خواهیم داشت:

تابع هدف:

$$\max_{\beta^0, \lambda^i} \beta^0 = \max_{\beta^0, \lambda^i} \left[1 \ \underbrace{0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \cdots \ 0}_{n=388}\right] \tag{۹}$$

[1] Divisia Index

[2] Reference set

محدودیت نخست:

$$\beta^0 g_{x_1} + \lambda^1 x_1^1 + \lambda^2 x_1^2 + \lambda^3 x_1^3 + \ldots + \lambda^{388} x_1^{388} \le x_1^0$$
$$\beta^0 g_{x_1} + \lambda^1 x_1^1 + \lambda^2 x_1^2 + \lambda^3 x_1^3 + \ldots + \lambda^{388} x_1^{388} \le x_1^0$$
$$\vdots$$
$$\beta^0 g_{x_7} + \lambda^1 x_7^1 + \lambda^2 x_7^2 + \lambda^3 x_7^3 + \ldots + \lambda^{388} x_7^{388} \le x_7^0 \quad (۱۰)$$

محدودیت دوم:

$$\beta^0 g_{y_1} - \lambda^1 y_1^1 - \lambda^2 y_1^2 - \lambda^3 y_1^3 - \ldots - \lambda^{388} y_1^{388} \le -y_1^0 \quad (۱۱)$$

محدودیت سوم:

$$0 + \lambda^1 + \lambda^2 + \lambda^3 + \ldots + \lambda^{388} = 1 \quad (۱۲)$$

کارایی سود جهت‌دار[1]

این معیار به‌صورت رابطه (۱۳) می‌باشد (۱۹):

$$D_T^*(x,y;p,w) := D_T^*(x,y;g_x^*,g_y^*) = \max_{\beta} \{\beta : (x-\beta g_x^*, y+\beta g_y^*) \in T\}, x \in R_+^k, y \in R_+^m \quad (۱۳)$$

(p,w) بردار قیمت‌های بازاری نهاده‌ها و ستاده‌ها است و $(g_x^*,g_y^*) = \tau(x-x^*,y-y^*)$ و $\tau = [\pi(p,w)-(py-wx)]^{-1}$ باید با توجه به قید نرمال‌سازی قیمت یعنی قید ($pg_y^* + wg_x^* = 1$) محاسبه شوند. عناصر (g_x^*,g_y^*) می‌توانند مقادیر مثبت و یا منفی باشند. مسأله مربوط به بهینه‌سازی معیار کارایی سود جهت‌دار مزرعه، تحت فرض بازده متغیر نسبت به مقیاس به‌صورت مدل (۱۴) می‌باشد (۱۹):

$$D_T^*(x^0,y^0;p,w) = \max_{\beta^0,\lambda^i,g_x^*,g_y^*} \beta^0$$
$$subject\ to: \quad x_k^0 - \beta^0 g_{xk}^* \ge \sum_{i=1}^n \lambda^i x_k^i, k = 1,\ldots,k$$
$$y_m^0 + \beta^0 g_{ym}^* \le \sum_{i=1}^n \lambda^i y_m^i, m = 1,\ldots,m$$
$$\sum_{m=1}^m p_m g_{ym}^* + \sum_{k=1}^k w_k g_{xk}^* = 1$$
$$\sum_{i=1}^n \lambda^i = 1 \qquad \lambda \in R_+^i \quad (۱۴)$$

بر اساس مدل (۱۴)، زمانی که $D_T^*(x,y;p,w) = 0$ است، مزرعه از نظر سود کارا است و $D_T^*(x^0,y^0;p,w) > 0$ مزرعه از نظر سود ناکارا است. این مدل به‌دلیل وجود متغیرهای $\beta^0 g_{xk}^*$ و $\beta^0 g_{ym}^*$ یک مدل غیرخطی است، اما می‌توان آن را با تغییر متغیرها به‌صورت رابطه‌های (۱۵) و (۱۶)، به یک مدل خطی تبدیل کرد (۱۳):

$$(۱۵)\ \gamma_{ym}^0 = \beta^0 g_{ym}^*, \quad m = 1,\ldots,m$$

(۱۶)

$$\gamma_{xk}^0 = \beta^0 g_{xk}^*, \quad k = 1,\ldots,k$$

به این ترتیب با جانشینی $g_{xk}^* = \gamma_{xk}^0 / \beta^0$ و $g_{ym}^* = \gamma_{ym}^0 / \beta^0$ در محدودیت $\sum_{m=1}^m p_m g_{ym}^* + \sum_{k=1}^k w_k g_{xk}^* = 1$ داریم:

$$\sum_{m=1}^m p_m (\gamma_{ym}^0 / \beta^0) + \sum_{k=1}^k w_k (\gamma_{xk}^0 / \beta^0) = 1 \quad (۱۷)$$

به بیان ساده‌تر خواهیم داشت:

$$\sum_{m=1}^m p_m \gamma_{ym}^0 + \sum_{k=1}^k w_k \gamma_{xk}^0 = \beta^0, \qquad \beta^0 > 0 \quad (۱۸)$$

در نتیجه مدل (۱۴) به شکل مدل (۱۹) تغییر خواهد یافت (۱۳):

$$D_T^*(x^0,y^0;p,w) = \max_{\beta^0,\lambda^i,g_x^*,g_y^*} \beta^0$$
$$subject\ to \quad x_k^0 - \gamma_{xk}^0 \ge \sum_{i=1}^n \lambda^i x_k^i, k = 1,\ldots,k$$
$$y_m^0 + \gamma_{ym}^0 \le \sum_{i=1}^n \lambda^i y_m^i, m = 1,\ldots,m$$
$$\sum_{m=1}^m p_m \gamma_{ym}^0 + \sum_{k=1}^k w_k \gamma_{xk}^0 = \beta^0, \qquad \beta^0 > 0$$
$$\sum_{i=1}^n \lambda^i = 1 \qquad \lambda \in R_+^i \quad (۱۹)$$

در این مدل بردار جهت از پیش‌تعیین‌شده نبوده و برابر است با:

$$D_T^*\left(x,y;\frac{(x-x^*)}{(py^*-wx^*)-(py-wx)},\frac{(y-y^*)}{(py^*-wx^*)-(py-wx)}\right) \quad (۲۰)$$

با توجه به مدل (۱۹) خواهیم داشت:

تابع هدف:

[1] Directional Profit Efficiency Measure

$$\max_{\beta^0,\lambda^j,g_x^*g_y^*}\beta^0 = \max_{\beta^0,\lambda^j,g_x^*g_y^*}\left[1 \quad \underbrace{0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad \cdots \quad 0}_{n+m+k=399}\right] \tag{۲۱}$$

محدودیت نخست:

$$\begin{aligned}
&0\beta^0+\lambda^1x_1^1+\lambda^2x_1^2+\lambda^3x_1^3+\ldots+\lambda^{388}x_1^{388}\\
&+0\gamma_{y_1}^0+\gamma_{x_1}^0+0\gamma_{x_2}^0+\cdots+0\gamma_{x_7}^0\le x_1^0\\
&0\beta^0+\lambda^1x_2^1+\lambda^2x_2^2+\lambda^3x_2^3+\ldots+\lambda^{388}x_2^{388}\\
&+0\gamma_{y_1}^0+0\gamma_{x_1}^0+\gamma_{x_2}^0+\cdots+0\gamma_{x_7}^0\le x_2^0\\
&\vdots\\
&0\beta^0+\lambda^1x_7^1+\lambda^2x_7^2+\lambda^3x_7^3+\ldots+\lambda^{388}x_7^{388}\\
&+0\gamma_{y_1}^0+0\gamma_{x_1}^0+0\gamma_{x_2}^0+\cdots+\gamma_{x_7}^0\le x_7^0
\end{aligned} \tag{۲۲}$$

محدودیت دوم:

$$\begin{aligned}
&0\beta^0-\lambda^1y_1^1-\lambda^2y_1^2-\lambda^3y_1^3-\ldots-\lambda^{388}y_1^{388}\\
&+\gamma_{y_1}^0+0\gamma_{x_1}^0+0\gamma_{x_2}^0+\cdots+0\gamma_{x_7}^0\le -y_1^0
\end{aligned} \tag{۲۳}$$

محدودیت سوم:

$$\begin{aligned}
&-\beta^0+0\lambda^1+0\lambda^2+0\lambda^3+\ldots+0\lambda^{388}\\
&+p_1^0\gamma_{y_1}^0+w_1^0\gamma_{x_1}^0+w_2^0\gamma_{x_2}^0+\cdots+w_7^0\gamma_{x_7}^0=0
\end{aligned} \tag{۲۴}$$

محدودیت چهارم:

$$\begin{aligned}
&0+\lambda^1+\lambda^2+\lambda^3+\ldots+\lambda^{388}\\
&+0\gamma_{y_1}^0+0\gamma_{x_1}^0+0\gamma_{x_2}^0+\cdots+0\gamma_{x_7}^0=1
\end{aligned} \tag{۲۵}$$

شناسایی داده‌های پرت با استفاده از روش ابر داده[1]

کیفیت داده‌ها مسئله مهمی در تعیین کارایی است. مشاهدات کارآمد از لحاظ تئوری راهبردهایی را برای مدیریت در مورد چگونگی بهبود عملکرد مشاهدات ناکارآمد ارائه می‌دهد. حال اگر یک یا چند مورد از مشاهدات کارا پرت باشند این راهبردها می‌تواند بی‌معنی و حتی گمراه‌کننده باشند. از این رو، بهتر است قبل از تحلیل کارایی روش‌های مناسبی برای تشخیص و حذف داده‌های پرت در نظر گرفته شود (۲۴). روش ابر داده ارائه‌شده در این مطالعه برای اولین بار در ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد. مفهوم این روش را می‌توان به شرح زیر توضیح داد:

ماتریس ترکیبی [XY] شامل ماتریس ورودی X و ماتریس خروجی Yبرای یک مجموعه n مزرعه‌ای است که می‌تواند به صورت رابطه (۲۶) نوشته شود:

$$[XY]=\begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \ldots & x_k^1 & y_1^1 & y_2^1 & \ldots & y_m^1\\ x_1^2 & x_2^2 & \ldots & x_k^2 & y_1^2 & y_2^2 & \ldots & y_m^2\\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ x_1^n & x_2^n & \ldots & x_k^n & y_1^n & y_2^n & \ldots & y_m^n \end{bmatrix}_{n\times(k+m)} \tag{۲۶}$$

هریک از ردیف‌ها در این ماتریس نشان‌دهنده یک مزرعه است که می‌تواند به عنوان یک ابر داده در فضای $R_+^k\times R_+^m$ باشد. حجم ابر داده (|Z|) از راه دترمینان ضرب داخلی ماتریس ترکیبی [XY] قابل محاسبه می‌باشد (رابطه ۲۷):

$$|Z|=|[XY]'[XY]| \tag{۲۷}$$

مفهوم روش ابر داده برای شناسایی داده‌های پرت در مجموعه داده‌ها به این صورت است که حجم ابر داده در رابطه (۲۶) با حذف یک یا چند داده پرت از مجموعه داده‌ها تغییر خواهد کرد. اگر مزرعه‌ای از ماتریس ترکیبی [XY] خارج شود (یعنی هر ردیف ماتریس ترکیبی حذف شود)، ممکن است حجم ابر داده مزارع باقی‌مانده کاهش یابد. اگر این مزرعه از وسط فضای ابری حذف شده باشد، حجم ابر داده مزارع باقی‌مانده تغییر نخواهد کرد. این امر نشان می‌دهد که این مزرعه جز مزارع پرت نیست. از طرف دیگر، اگر این مزرعه از خارج فضای ابری باقی‌مانده حذف شود، حجم ابر داده مزارع باقیمانده بسیار کوچک‌تر خواهد بود و این نشان می‌دهد که این مزرعه یک مزرعه پرت است. از این رو، برای بررسی وجود داده پرت در مجموعه داده می‌توان چگونگی تغییر حجم ابر را با حذف یک یا چند مزرعه از مجموعه داده، مورد بررسی قرار داد (۲۵). اگر مزرعه i حذف شود، با فرض این که $|Z^{(i)}|$ حجم جدید ابر داده بوده و برابر با دترمینان ضرب داخلی بعد از حذف مزرعه i باشد، $R^{(i)}$ نیز نسبت حجم جدید ابر داده، $|Z^{(i)}|$، به حجم قدیم ابر داده، $|Z|$، می‌باشد (رابطه ۲۸):

$$R^{(i)}=\frac{|Z^{(i)}|}{|Z|} \tag{۲۸}$$

اگر $R^{(i)}$ نزدیک به یک باشد، مزرعه i پرت نیست زیرا $|Z^{(i)}|$ خیلی تغییر نکرده است. از طرف دیگر، اگر $R^{(i)}$ بسیار کوچک‌تر از یک باشد مزرعه i به طور بالقوه پرت است. مزرعه‌ای که کم‌ترین ارزش $R^{(i)}$ را دارد، مزرعه پرت می‌باشد. بنابراین، مزارع پرت از راه کم‌ترین مقدار $R^{(i)}$ شناسایی می‌شوند که با $R_{\min}^{(i)}$ نشان داده می‌شوند. این روش می‌تواند جهت شناسایی گروههای پرت از راه حذف دو یا چند مزرعه از ابر داده استفاده شود. اگر یک گروه r مزرعه‌ای که پرت هستند از ابر داده حذف شود، بر اساس رابطه ۲۹ خواهیم داشت:

$$R^{(r)}=\frac{|Z^{(r)}|}{|Z|} \tag{۲۹}$$

گروهی از مزارع که کم‌ترین مقدار $R^{(r)}$ را دارند به‌عنوان داده‌های پرت شناسایی می‌شوند. سپس می‌توان از روش گرافیکی برای ترسیم جفت‌های

[1] Data Cloud Method

مرتب شده بین $(R_{\min}^{(r)} r, log(R^{(r)}/))$ استفاده کرد که r در آن تعداد مزارع حذف شده می‌باشد. روش ابر داده می‌تواند در مواردی با تعداد زیاد ورودی و خروجی نیز اعمال شود و با استفاده از تحلیل گرافیکی، امکان شناسایی داده‌های پرت را در مجموعه داده فراهم می‌کند (۲۶). با تمرکز بر تغییر حجم ابر داده وقتی یک یا چند مزرعه از نمونه حذف می‌شوند می‌توان از روش بالا برای شناسایی داده‌های پرتی که روی مرز کارایی اثرگذارند استفاده کرد (۲۵).

با وجود خطرات مصرف بیش از حد مواد مغذی در تولیدات کشاورزی که منجر به مشکلات محیطی و انسانی می‌شود، بر اساس بررسی‌های انجام‌شده تاکنون مطالعه‌ای در کشور شرط توازن مواد را در مبحث کارایی در نظر نگرفته که در این مطالعه به این مورد پرداخته شده است. پژوهش حاضر به لحاظ هدف کاربردی و از شاخه مبدانی می‌باشد. برای گردآوری داده‌های لازم از ابزار پرسش‌نامه استفاده شده است. جامعه آماری این پژوهش، برنج‌کاران استان گیلان بوده که با استفاده از فرمول کوکران حجم نمونه در این مطالعه ۳۸۳ مزرعه تعیین شد. از آن جا که در این مطالعه تعدادی از مزارع با مازاد مواد مغذی منفی و صفر باید از نمونه حذف شوند و همچنین، ممکن است تعدادی از مزارع به‌عنوان داده‌های پرت شناسایی شده و از نمونه حذف گردند و با عنایت به اینکه کم‌ترین تعداد نمونه قابل‌قبول برای این مطالعه ۳۸۳ نمونه می‌باشد، بنابراین، با توجه به نتایج حاصل از پرسش‌نامه اولیه در مرحله پایلوت، درصد پرسش‌نامه‌هایی که به دلیل مازاد مواد مغذی منفی (۳۲درصد) یا صفر (۳درصد) و شناسایی‌شدن به‌عنوان داده‌های پرت (۱۳ درصد) حذف می‌شوند، محاسبه شد. از این رو، جهت رعایت کم‌ترین تعداد نمونه مورد نیاز، تعداد ۵۷۰ پرسش‌نامه تکمیل شد. بمنظور اجتناب از اریب ناشی از مطالعه بر روی نمونه دارای صفات و ویژگی‌های متفاوت از نظر تفاوت‌های آب و هوایی و خاک، مزارع از لحاظ منطقه‌ای در سه گروه دسته‌بندی شدند (شرق، مرکز و غرب). سپس، در هر منطقه شهرستان‌هایی که سطح زیرکشت بالاتری داشتند جهت نمونه‌گیری انتخاب شدند. به این ترتیب، در این مطالعه شهرستان‌های آستانه، لاهیجان رودسر و لنگرود در منطقه شرق، شهرستان‌های شفت، صومعه‌سرا، فومن، رضوانشهر و تالش در منطقه غرب و شهرستان رشت در مرکز استان به عنوان نمونه انتخاب شدند. شهرستان‌های مورد مطالعه در مجموع بیش از ۹۰ درصد سطح زیرکشت برنج استان را به‌خود اختصاص دادند. به این ترتیب، می‌توان برخی از ناهمگنی‌های موردانتظار در تفاوت آب و هوایی، خاک و در نتیجه تأثیر آن‌ها در مقدار کارایی را حذف کرد. علاوه بر این، به‌منظور حذف اثر ناهمگنی در متغیر ستاده، مزارع بر اساس ارقام برنج (رقم هاشمی، رقم علی‌کاظمی، رقم شیرودی، رقم جمشیدی و رقم خزر) نیز به ۵ گروه تقسیم شدند. ارقام هاشمی و علی‌کاظمی در هر سه منطقه، رقم جمشیدی در شرق و مرکز، رقم خزر در مرکز و غرب و رقم شیرودی نیز در غرب استان کشت می‌شوند. بنابراین، در این مطالعه ۱۱ گروه از شالی‌کاران استان گیلان به‌عنوان نمونه مورد بررسی قرار گرفتند. تعداد ۲۱ پرسش‌نامه به دلیل کامل‌نبودن داده‌ها حذف شدند. سپس جهت برآورد کارایی در ابتدا مقدار مازاد مواد مغذی در گروههای مورد بررسی محاسبه و مزارعی که دارای مازاد مواد مغذی صفر یا منفی بودند (۹۶ مزرعه) از نمونه حذف شده و مزارع باقیمانده جهت بررسی داده‌های پرت با استفاده از روش ابر داده مورد استفاده قرار گرفتند. بعد از حذف مزارع پرت (۶۵ مزرعه) در هریک از گروههای مورد مطالعه، در مجموع داده‌های ۳۸۸ مزرعه مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه جهت تخمین مدل‌ها و بررسی نتایج از نرم‌افزارهای R ، GAMS و Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

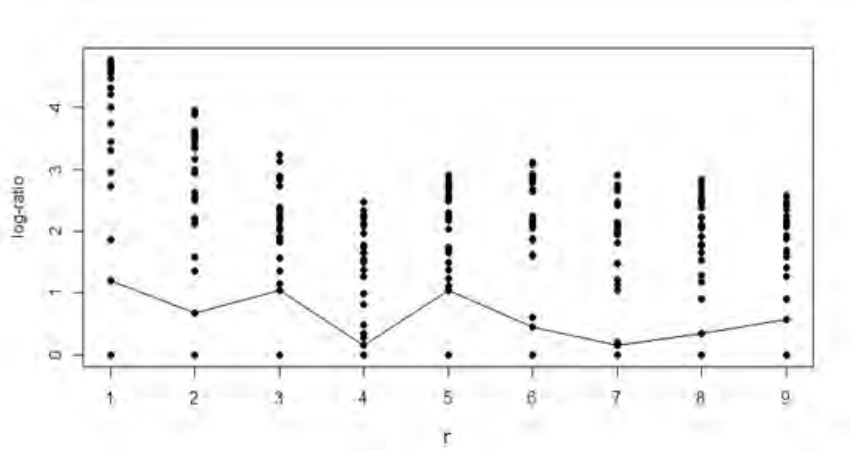
تعداد مشاهدات مورد بررسی ارقام گوناگون برنج در این مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- تعداد مشاهدات طبقه‌بندی شده بر اساس منطقه و ارقام گوناگون برنج

منطقه	ارقام برنج					کل مشاهدات
	هاشمی	علی‌کاظمی	شیرودی	جمشیدی	خزر	
شرق	۴۹	۲۰	–	۵۲	–	۱۲۱
مرکز	۲۹	۱۸	–	۲۸	۲۵	۱۰۰
غرب	۴۸	۱۸	۵۵	–	۴۶	۱۶۷
کل مشاهدات	۱۲۶	۵۶	۵۵	۸۰	۷۱	۳۸۸

منبع: یافته‌های پژوهش

شکل (۱) نمودار جفت‌های مرتب‌شده تعداد مزارع حذف‌شده و نسبت لگاریتم $(r, \log(R^{(r)}/R_{\min}^{(r)}))$ را برای رقم علی‌کاظمی در شرق استان نشان می‌دهد. نقاط اوج در r=۳ و r=۵ نشان می‌دهد که مزارع پرت بالقوه در گروههای ۳ و یا ۵ وجود دارند.



شکل ۱- نسبت لگاریتم جهت شناسایی مزارع پرت رقم علی‌کاظمی در شرق استان

بر اساس جدول (۲)، r=۵ نسبت به r=۳ مقدار $R_{\min}^{(r)}$ کم‌تری دارد. بنابراین، با استفاده از روش ابر داده، مزارع گروه r=۵ به‌عنوان مزارع پرت شناسایی می‌شوند. در واقع، مزارع ۱، ۱۳، ۴، ۲ و ۲۴ باید از نمونه مورد نظر حذف شوند.

جدول ۲- مقادیر $R_{\min}^{(r)}$ و تعداد مزارع حذفی در هر گروه از مزارع پرت برای برنج علی‌کاظمی در شرق استان

$R_{\min}^{(r)}$	مشاهدات حذف شده									r
۷/۴e-۳	۲۴									**۱**
۹/۲e-۵	۲	۲۴								**۲**
۱/۵e-۶	۴	۲	۲۴							**۳**
۳/۵e-۸	۱۸	۴	۲	۲۴						**۴**
۱/۹e-۱۰	۱	۱۳	۴	۲	۲۴					**۵**
۱/۶e-۱۲	۱	۹	۱۳	۴	۲	۲۴				**۶**
۲/۱e-۱۴	۱۸	۱	۹	۱۳	۴	۲	۲۴			**۷**
۲/۱e-۱۶	۱۰	۱۸	۱	۹	۱۳	۴	۲	۲۴		**۸**
۲/۴e-۱۸	۲۲	۱۰	۱۸	۱	۹	۱۳	۴	۲	۲۴	**۹**

میانگین مقدار مصرف کودهای شیمیایی در هر هکتار از اراضی شالی‌کاری مورد بررسی در جدول (۳) ارائه شده است. بر اساس داده‌های این جدول، شالی‌کاران رقم شیرودی بیش‌ترین مقدار مصرف کودهای شیمیایی را در بین شالی‌کاران سایر ارقام مورد بررسی داشته و پس از آن شالی‌کاران ارقام خزر و جمشیدی در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

جدول ۳- میانگین مقدار مصرف کودهای شیمیایی بر اساس منطقه و ارقام گوناگون برنج (هکتار)

منطقه	ارقام برنج				
	هاشمی	علی‌کاظمی	شیرودی	جمشیدی	خزر
شرق	۲۴۵/۰	۲۴۲/۹	–	۲۶۱/۹	–
مرکز	۲۳۴/۷	۲۲۳/۴	–	۲۴۴/۹	۳۴۴/۴
غرب	۲۳۵/۷	۲۳۰/۹	۴۶۸/۸	–	۳۳۷/۷

منبع: یافته‌های پژوهش

از آن جا که انتخاب بردار جهت برای روش DDF اختیاری است و مقادیر TE[1]، با توجه به جهت بهبودی که انتخاب می‌شود، متفاوت خواهد بود در این مطالعه برای بررسی اینکه چه جهتی برای بهبود برنج‌کاری در استان گیلان مناسب است از چهار بردار جهت گوناگون (DDF_1 تا DDF_4) بمنظور تعیین کارایی شالی‌کاران در این استان استفاده شده است. DDF_1 ناکارایی فنی شالی‌کاران استان گیلان را در جهت کاهش نهاده‌ها با تولید سطح ثابتی از محصول و با در نظر گرفتن نهاده‌های مورداستفاده در هر مزرعه محاسبه می‌کند. DDF_2 سطح ناکارایی فنی شالی‌کاران را در جهت افزایش محصول با استفاده از سطح ثابتی از نهاده‌ها و با در نظر گرفتن محصول تولیدی در هر مزرعه محاسبه می‌کند. DDF_3 ناکارایی فنی شالی‌کاران استان گیلان را در جهت افزایش ستاده‌ها و کاهش نهاده‌ها به‌گونه هم‌زمان محاسبه می‌کند. DDF_4 نیز جهت بررسی کارایی سود شالی‌کاران استفاده شده است. نتایج ناکارایی فنی (TIE)[2] شالی‌کاران بعد حذف مزارع پرت و در جهت‌های گوناگون در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴- برآورد نتایج ناکارایی برای ارقام گوناگون برنج در هر منطقه با استفاده از مدل DDF

منطقه	بردار جهت	هاشمی		علی‌کاظمی		شیرودی		خزر		جمشیدی	
		میانگین (درصد)	درصد مزارع مرزی	میانگین (درصد)	درصد مزارع مرزی	میانگین (درصد)	درصد مزارع مرزی	میانگین (درصد)	درصد مزارع مرزی	میانگین (درصد)	درصد مزارع مرزی
شرق	DDF_1	۵/۵	۴۸/۹	۲/۸	۶۵/۰	–	–	–	–	۶/۹	۵۳/۸
	DDF_2	۵/۸	۴۸/۹	۲/۹	۶۵/۰	–	–	–	–	۷/۵	۵۱/۹
	DDF_3	۳/۱	۴۸/۹	۱/۶	۶۵/۰	–	–	–	–	۳/۹	۵۳/۸
	DDF_4	۲/۴	۶/۱	۹/۶	۱۰/۰	–	–	–	–	۴۹/۹	۵/۷
مرکز	DDF_1	۴/۳	۵۸/۶	۰/۸	۸۳/۳	–	–	۳/۸	۷۲/۰	۱۰/۳	۳۵/۷
	DDF_2	۴/۳	۵۸/۶	۰/۸	۸۳/۳	–	–	۳/۷	۷۲/۰	۱۰/۳	۳۵/۷
	DDF_3	۱/۴	۷۹/۳	۰/۰۴	۸۳/۳	–	–	۲/۱	۷۲/۰	۴/۳	۵۰/۰
	DDF_4	۱۶/۲	۱۰/۳	۲۲/۰	۵/۵	–	–	۰/۷	۴/۰	۰/۷	۱۰/۷
غرب	DDF_1	۱۰/۲	۳۵/۴	۰/۷	۸۸/۹	۱۲/۴	۳۸/۱	۳/۱	۶۳/۰	–	–
	DDF_2	۱۰/۲	۳۵/۴	۰/۸	۸۸/۹	۱۴/۵	۳۲/۷	۳/۲	۶۳/۰	–	–
	DDF_3	۴/۰	۴۵/۸	۰/۴	۸۸/۹	۷/۵	۳۸/۱	۱/۷	۶۳/۰	–	–
	DDF_4	۱۰/۷	۸/۳	۱/۴۴	۱۱/۱	۲۴/۷	۵/۴	۷/۰	۴/۳	–	–

منبع: یافته‌های پژوهش

در تولید رقم هاشمی، نتایج حاکی از آن است که تقریباً نیمی از برنج‌کاران هاشمی در منطقه شرق و بیش از نیمی از برنج‌کاران این رقم در مرکز استان از نظر فنی کارا هستند. در حالی که این تعداد در غرب استان بسیار پایین‌تر و در حدود ۳۵ درصد است. به بیان دیگر، کشاورزانی که رقم هاشمی را در منطقه شرق و مرکز کشت می‌کنند کارایی بیش‌تری نسبت به کشاورزان این رقم در منطقه غرب دارند. هم‌چنین، در منطقه شرق استان، ۶ درصد مزارع از نظر سود کارا بوده و در مناطق غرب و مرکزی نیز به‌ترتیب ۸ و ۱۰ درصد از مزارع از لحاظ سود کارا عمل می‌کنند. این در حالی است که میانگین سطح ناکارایی سود برای مزارع رقم هاشمی در شرق استان کم‌تر از مناطق مرکزی و غرب بوده و برنج‌کاران رقم هاشمی در منطقه شرق عملکرد بهتری نسبت به سایر برنج‌کاران هاشمی داشتند. در مورد رقم علی‌کاظمی نیز، بیش از ۸۰ درصد از کل برنج‌کاران این رقم در مناطق مرکز و غرب از لحاظ فنی کارا هستند. افزون بر این، نتایج نشان داد که میانگین نمرات ناکارایی بدست‌آمده از مدل‌های DDF_1 تا DDF_3 مزارع رقم علی کاظمی در مناطق مرکز و غرب تقریباً مشابه و پایین‌تر از میانگین نمرات ناکارایی بدست‌آمده از این مدل‌ها در منطقه شرق است. این بدان معناست که کشاورزان مناطق مرکزی و غرب نسبت به کشاورزان منطقه شرق در تولید رقم علی‌کاظمی از لحاظ فنی کارامدتر هستند، اما از لحاظ سود برنج‌کاران منطقه شرق کاراتر از برنج‌کاران منطقه غرب و مرکز عمل می‌کنند. با توجه به اینکه تولید رقم شیرودی به‌طور عمده در غرب استان گیلان صورت می‌گیرد، کم‌تر از ۴۰ درصد این برنج‌کاران از نظر فنی و در حدود ۵ درصد نیز از نظر سود کارا هستند. میانگین سطح ناکارایی سود در کشت این رقم نیز از میانگین سطح ناکارایی فنی بیش‌تر است. رقم جمشیدی به گونه عمده در مناطق مرکزی و شرق استان کشت می‌شود که این مزارع از نظر فنی در شرق استان کاراتر از مرکز هستند، اما از نظر سود مزارع کشت برنج جمشیدی در مرکز از کارایی بالاتری برخوردار هستند.

بر اساس نتایج، میانگین نمرات ناکارایی بدست‌آمده از مدل‌های DDF_1 تا DDF_3 مزارع برنج خزر در منطقه غرب پایین‌تر از مزارع برنج خزر در مرکز است. این بدان معناست که شالی‌کاران رقم خزر در منطقه

[1] Technical Efficiency

[2] Technical Inefficiency

غرب کارایی فنی بیش‌تری نسبت به شالی‌کاران این رقم در مرکز دارند. ۴/۳ درصد از مزارع رقم خزر در غرب و چهار درصد نیز در مرکز استان از لحاظ سود کارا هستند که درصد بسیار پایینی است، اما شالی‌کاران رقم خزر در مرکز با میانگین ناکارایی ۰/۷ درصد به مراتب ناکارایی سود پایین‌تری نسبت به شالی‌کاران غرب استان با میانگین ناکارایی هفت درصد دارند. بنابراین، از لحاظ کارایی سود، بر خلاف نتایج کارایی فنی، این شالی‌کاران در مرکز عملکرد بهتری دارند.

بر اساس نتایج جدول (۴)، میانگین نمرات TIE بدست‌آمده از معیار DDF_1، در همه گروههای تحت بررسی امکان کاهش کمینه ۰/۷ درصد تا بیشینه ۱۲/۴ درصدی مصرف نهاده‌ها با ثابت در نظر گرفتن سطح تولید کنونی برنج در استان وجود دارد. میانگین نمرات TIE بدست‌آمده از معیار DDF_2 در تمام گروههای مورد بررسی در بازه ۰/۸ درصد تا ۱۴/۵ درصد است این امر بیانگر آن است که مزارع مورد بررسی با بهبود کارایی فنی خود می‌توانند با مقدار موجود نهاده‌های مصرفی مقدار تولید برنج را به طور میانگین از ۰/۸ تا ۱۴/۵ درصد افزایش دهند. نتایج میانگین نمرات TIE بدست‌آمده از معیار DDF_3 نیز حاکی از آن است که با بهبود کارایی در مزارع مورد بررسی امکان افزایش تولید و کاهش مصرف کنونی نهاده‌ها به‌صورت هم‌زمان وجود دارد.

درصد تغییرات مازاد مواد مغذی برای رقم هاشمی با استفاده از معیارهای گوناگون کارایی در مناطق مورد بررسی در جدول (۵) نشان داده شده است. توجه به نتایج بردارهای جهت (DDF_1 تا DDF_3) به‌سمت مرزهای کارایی فنی نشان می‌دهند که می‌توان در هر سه منطقه تخلیه NS و PS را به محیط پیرامون کاهش داد. با این حال، رویکرد کارایی مزرعه نسبت به مرز بیشینه سود (DDF_4) به‌جز مقدار PS در منطقه شرق، مقدار NS و PS تخلیه‌شده به محیط را در سایر مناطق افزایش می‌دهد. بیش‌ترین مقدار تخلیه NS و PS در مرکز استان و به‌ترتیب برابر با ۱۰۴/۲ درصد و ۲۶۳/۹ درصد می‌باشد. در مورد رقم هاشمی اعمال مدل DDF_1 امکان ورود کم‌تر NS به محیط پیرامون را فراهم می‌کند.

جدول ۵- درصد تغییرات مازاد مواد مغذی بر اساس منطقه و ارقام گوناگون برنج (هکتار)

منطقه	بردار جهت	هاشمی		علی کاظمی		جمشیدی		خزر		شیرودی	
		درصد تغییرات		درصد تغییرات		درصد تغییرات		درصد تغییرات		درصد تغییرات	
		NS	PS	NS	PS	NS	PS	NS	PS	NS	PS
شرق	DDF_1	-۱۸/۴	-۲۸/۱	-۱۷/۷	-۲۳/۳	-۲۷/۰	-۲۷/۴	–	–	–	–
	DDF_2	-۷/۴	-۴/۸	-۴/۸	-۳/۵	-۷/۶	-۷/۶	–	–	–	–
	DDF_3	-۹/۶	-۷/۳	-۵/۹	-۴/۷	-۱۱/۳	-۱۰/۴	–	–	–	–
	DDF_4	۳۳/۰	-۳۶/۱	۵۶۶/۱	۱۲۰/۲	۴/۵	۸۴/۰	–	–	–	–
مرکز	DDF_1	-۲۱/۷	-۱۵/۲	-۳/۶	-۶/۳	-۴۱/۲	-۴۲/۰	-۱۳/۴	-۱۸/۷	–	–
	DDF_2	-۴/۶	-۴/۰	-۱/۰	-۰/۷	-۱۵/۶	-۱۳/۸	-۴/۹	-۲/۹	–	–
	DDF_3	-۴/۰	-۳/۵	-۱/۴	-۱/۱	-۱۳/۴	-۱۲/۴	-۶/۷	-۴/۸	–	–
	DDF_4	۱۰۴/۲	۲۶۳/۹	۸۷/۷	۳۸۰/۷	-۶۰/۱	۲۷۸/۰	۲۳/۶	۳۸/۹	–	–
غرب	DDF_1	-۸۳۸	-۳۷/۹	-۴/۹	-۳/۵	–	–	-۱۳/۲	-۲۰/۷	-۴۸/۶	-۴۰/۲
	DDF_2	-۱۴/۸	-۱۰/۹	-۰/۶	-۰/۴	–	–	-۵/۲	-۴/۳	-۱۸/۰	-۱۸/۳
	DDF_3	-۱۳/۵	-۱۰/۶	-۰/۹	-۰/۸	–	–	-۶/۴	-۵/۵	-۲۱/۳	-۲۱/۲
	DDF_4	۵۷/۶	۱۵۱/۰	-۲۹/۲	-۳۷/۸	–	–	-۱۸/۲	-۱۳/۸	-۷۸/۱	۸۲/۲

منبع: یافته‌های پژوهش

درصد تغییرات مازاد مواد مغذی برای رقم علی‌کاظمی نشان می‌دهد که تمامی جهت‌ها تا مرزهای کارایی می‌توانند منجر به کاهش NS و PSتخلیه‌شده به محیط شوند، به جز DDF_4 که در شرق و مرکز استان منجر به افزایش مقدار تخلیه NS و PS به محیط می‌شود. این مدل مقدار تخلیه NS و PS در شرق استان را به‌ترتیب در حدود ۵۶۶ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار و در مرکز استان بیش از ۸۷ و ۳۸۰ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌دهد. مدل DDF_4 ورود NS به محیط زیست را در شرق و مقدار تخلیه PS را در مرکز استان به‌شدت افزایش می‌دهد. با توجه به نتایج در غرب استان مدل DDF_4 با کاهش تخلیه NS به‌مقدار ۲۹/۲ کیلوگرم در هکتار و کاهش تخلیه PS به‌مقدار ۳۷/۸ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین کاهش را در آلودگی ناشی از مصرف مازاد مواد مغذی ایجاد می‌کند. در شرق و مرکز استان نیز مدل DDF_1 (کاهش مصرف نهاده با سطح ثابت محصول تولیدی) در کاهش آلودگی ناشی از مصرف مازاد مواد مغذی موثرتر می‌باشد. این مدل تخلیه NS و PS را در شرق استان به‌ترتیب برابر با ۱۷/۷ و۲۳/۳ کیلوگرم در هکتار و در مرکز استان به ترتیب برابر با ۳/۶ و ۶/۳ کیلوگرم در هکتار کاهش می‌دهد.

بر اساس نتایج درصد تغییرات مازاد مواد مغذی رقم جمشیدی در مناطق گوناگون، مدل DDF_4 فقط منجر به کاهش تخلیه NS به مقدار ۶۰/۱ کیلوگرم در هکتار در مرکز استان شده و در سایر موارد تخلیه مواد مغذی به محیط را افزایش می‌دهد. اما روش‌های بهبود کارایی فنی سبب کاهش تخلیه مازاد هر دو ماده مغذی شدند که در این بین روش DDF_1 بیش‌ترین مقدار کاهش آلودگی را داشته است. به‌بیان‌دیگر، در کشت رقم جمشیدی کشاورزان فقط با مصرف کم‌تر نهاده‌ها می‌توانند مقدار انتشار آلودگی ناشی از مازاد مواد مغذی را در شرق استان به‌اندازه ۲۷ درصد و در مرکز نیز بیش از ۴۰ درصد کاهش دهند. در بررسی رقم خزر نتایج نشان داد که مدل DDF_4 منجر به کاهش مقدار PS و NS ورودی به محیط در غرب و افزایش آن در مرکز استان می‌شود. این روش مقدار انباشت NS و PS در مرکز را به‌ترتیب به‌مقدار ۲۳/۶ درصد و ۳۸/۹ درصد افزایش می‌دهد. در مقابل، جهت‌های بهبود کارایی فنی می‌توانند NS و PS تخلیه‌شده به محیط را کاهش دهند. در کشت رقم خزر نیز مدل‌های DDF_1 و DDF_4 در مناطق گوناگون تأثیر بیش‌تری بر کاهش انباشت مازاد مواد مغذی در محیط زیست داشتند. با بررسی معیارهای گوناگون در کشت برنج شیرودی می‌توان نتیجه گرفت که تمامی جهت‌ها تا مرز کارایی فنی می‌توانند منجر به کاهش هر NS و PS تخلیه‌شده به محیط شوند که مدل DDF_1 با کاهش تخلیه NS و PS به‌ترتیب به‌مقدار ۴۸/۶ و ۴۰/۲ کیلوگرم در هکتار نسبت به مدل‌های DDF_2 و DDF_3 عملکرد بهتری داشته و بیش‌ترین کاهش در تخلیه PS را دارد، اما در کاهش تخلیه NS، معیار کارایی سود با مقدار ۷۸/۱ کیلوگرم در هکتار نسبت به سایر معیارها موثرتر می‌باشد.

نتیجه گیری و پیشنهادها

مازاد مواد مغذی حاصل از کشت برنج که باعث مشکلات محیط زیستی می‌شود مازاد نیتروژن و فسفر است. از ان جا که استان گیلان دومین استان تولیدکننده برنج در کشور می‌باشد، دانستن اینکه تولید برنج در این استان تا چه اندازه کارا است، گامی مهم در جهت توانمندسازی استان برای طراحی و اجرای سیاست‌هایی خواهد بود که باعث بهبود کارایی مصرف نهاده‌ها، به‌ویژه مصرف مواد مغذی نیتروژن و فسفر موجود در کودهای شیمیایی و سایر کودها می‌شود. نتایج مدل‌های DDF_1 تا DDF_3 در ارقام گوناگون برنج حاکی از آن است که بهبود کارایی فنی سبب کاهش آلودگی ناشی از تخلیه مازاد مواد مغذی به محیط زیست شده که این مقدار کاهش آلودگی برای رقم هاشمی به‌مقدار ۳/۵ تا ۳۸/۸ درصد، رقم علی‌کاظمی ۰/۴ تا ۲۳/۳ درصد، رقم جمشیدی ۷/۶ تا ۴۲ درصد، رقم خزر ۲/۹ تا ۲۰/۷ درصد و رقم شیرودی ۱۸ تا ۴۸/۶ درصد در هکتار می‌باشد. البته در بعضی از مناطق بهبود کارایی در جهت DDF_1 در تخلیه کم‌تر مازاد مواد مغذی به محیط پیرامون مؤثرتر بوده است زیرا کاهش مصرف نهاده‌ها از جمله کودهای شیمیایی منجر به کاهش مصرف مواد مغذی و در نتیجه کاهش ورود مازاد آن به محیط زیست خواهد شد. بنابراین، اگر شالی‌کاران استان گیلان از نظر فنی کارا شوند این امر حتما منجر به کاهش آلودگی در تمام مناطق خواهد شد، اما این مسئله در مورد کارایی سود (DDF_4) همواره صادق نبوده زیرا این مدل تخلیه مازاد مواد مغذی را در برخی از موارد کاهش و در برخی موارد دیگر افزایش می‌دهد و این نتایج با یافته‌های مطالعه ای که کارایی محیط‌زیستی شالی‌کاران تایلند را مورد بررسی قرار داد نیز مطابقت دارد (۱۳). بنابراین توجه صرف به کارایی سود کشاورزان بدون در نظر گرفتن شرط تعادل مواد می‌تواند گمراه‌کننده بوده و پیامدهای منفی جدی برای محیط زیست داشته باشد. از این رو، در رتبه‌بندی مزارع بر اساس کارایی سود باید با دقت بیش‌تری عمل کرد. با توجه به مطالب گفته‌شده پیشنهاد می‌شود در تمام مناطق، مزرعه یا مزارع کارایی که هم از نظر فنی و هم از نظر شرط تعادل مواد کارا و در شرایط مناسبی هستند شناسایی شده تا از راه الگوگیری روش‌های کشت در این مزارع کارا بتوان گامی مؤثر در راستای کاهش مشکلات محیط‌زیستی ناشی از سیستم‌های تولید برنج در استان گیلان برداشت.

بر اساس نتایج بدست‌آمده مقدار تخلیه مازاد نیتروژن و مازاد فسفر به محیط زیست در گروههای مورد بررسی متفاوت است در نتیجه نیاز کودی آن‌ها نیز متفاوت خواهد بود. حتی بعضی از مزارع در این مطالعه NS و PS منفی و یا صفر داشتند، بنابراین، انجام آزمایش خاک توسط کشاورزان باید به یک اصل تبدیل شود تا کود مصرفی متناسب با نیاز هر مزرعه باشد. ولی از آن جا که مصرف کود بیش‌تر، خطر کاهش محصول را کم کرده و ممکن است ارزان‌تر و در دسترس‌تر از آزمایش خاک نیز باشد، کشاورزان را ترغیب به مصرف کود با نرخ بیش‌تری نسبت به نرخ بهینه اقتصادی و محیط‌زیستی می‌کند. بنابراین، پیشنهاد می‌شود دولت با بسته‌های حمایتی و ایجاد آزمایشگاههای مربوطه به تعداد لازم، تسهیلات لازم را فراهم نماید. هم‌چنین، با توجه به مصرف بالای کودهای شیمیایی در تولید برنج، دولت می‌تواند از راه حمایت از شالی‌کاران با کارایی بالا و تهیه استانداردها و صدور گواهی برای محصولات با اثرات محیط‌زیستی کم‌تر و فرهنگ‌سازی خرید و مصرف محصولات سالم حتی با قیمت بالاتر در بین افراد جامعه افزون بر ایجاد

رضایت در کشاورز از کشت محصولات سالم، مشکلات محیطزیستی حاصل از تولید برنج را نیز کاهش دهد. هم‌چنین، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده و هنگام برنامه‌ریزی برای سیاست‌های توسعه کشاورزی، افزون بر درنظرگرفتن کارایی فنی محصولات گوناگون کشاورزی، شرط تعادل مواد مغذی نیز مورد بررسی قرار گیرد تا از این راه بتوان DDF مناسب را برای بهبود کارایی در نظر گرفت و پیامدهای ناشی از مصرف نابهینه کودهای شیمیایی را کاهش داد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در این مطالعه فرم‌های رضایت نامه آگاهانه توسط تمامی آزمودنی‌ها تکمیل شد.

حامی مالی

هزینه‌های مطالعه توسط نویسندگان مقاله تامین شد.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده پردازی: سیده صدیقه احمدزاده، حمید امیرنژاد، سید علی حسینی یکانی؛ روش شناسی و تحلیل داده‌ها: سیده صدیقه احمدزاده، حمید امیرنژاد، سید علی حسینی یکانی؛ نظارت و نگارش نهایی: سیده صدیقه احمدزاده.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

1. FAO. FAOSTAT database collections. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 2017; http://faostat.fao.org.
2. Ministry of Agriculture Jihad of Guilan, Agricultural Jihad Statistics. 2016; https://www.jkgc.ir/.
3. Adibi Sh. The Effect of Irrigation Systems on Yield and Productivity of rice farms of Guilan Province, Master thesis, Islamic Azad University of Rasht. (2014) https://www.thesisword.ir.
4. Linquist BA, Ruark MD, Mutters R, Greer C, Hill JE. Nutrients and Sediments in Surface Runoff Water from Direct-seeded Rice Fields: Implications for Nutrient Budgets and Water Quality. J Environ Qual. 2014. 43(5): 1725–1735. [DOI: 10.2134/jeq2014.03.0135]
5. Reinhard S, Thijssen G. Nitrogen Efficiency of Dutch Dairy Farms: a Shadow Cost System Approach. J Eur. Rev. Agric. Econ. 2000, 27(2): 167–186. [DOI: 10. 1093 /erae/ 27. 2. 167]
6. Tirado R, Englande AJ, Promakasikorn L, Novotny V. Use of Agrochemicals in Thailand and its Consequences for the Environment. Greenpeace Research Laboratories. Technical Note 03/2008; http://www.greenpeace.to/publications/GPSEA_agrochemical-use-in-thailand.pdf [Accessed 5, 2015].
7. Malekuti MJ. Potassium in Agriculture: The Role of Potassium in the Production of Healthy Agricultural Products, Mobaleghan Press, Iran.; 2016, 1: 1-318. https://agrilib.areeo.ac.ir/book_5190.html
8. Coelli T, Ludwig L, Huylenbroeck GV. Environmental Efficiency Measurement and the Materials Balance Condition. J Prod Anal. 2007, 28: 3–12. [DOI: 10.1007/s11123-007-0052-8]
9. Hoang V, Coelli T. Measurement of Agricultural Total Factor Productivity Growth Incorporating Environmental Factors: A Nutrients Balance Approach. J Environ Econ Manag. 62: 462–474. [DOI: 10.1016 /j.jeem. 2011.05.009]
10. Hoang V, Alauddin M. Input-Orientated Data Envelopment Analysis Framework for Measuring and Decomposing Economic, Environmental and Ecological Efficiency: An Application to OECD Agriculture. J Environ Resource Econ. 2012, 51: 431–452. [DOI:10.1007/s10640-011-9506-6]
11. Nguyen T, Hoang V, Seo B. Cost and Environmental Efficiency of Rice Farms in South Korea. J Agr Econ. 43: 367–376. [DOI:10.1111/j.1574-0862.2012.00589.x]
12. Khataza R, Hailu A, Kragt ME., Doole GJ. Estimating shadow price for symbiotic nitrogen and technical efficiency for legume-based conservation agriculture in Malawi. Australian J Agri Econ, 2017, 61(3): 462-480.[DOI.org/10.1111/j.15740862.2012.00589.x]
13. Saelee W. Environmental Efficiency Analysis of Thai Rice Farming. PhD Thesis of agriculture, policy and development, university of reading, England. 2017, https://centaur. reading.ac.uk
14. Le TL, Lee PP, Peng KCh, Chung RH. Evaluation of total factor productivity and

environmental efficiency of agriculture in nine East Asian countries. J Agri Econ (Czech Republic).2019, 65 (6): 249–258. [DOI.org/10.17221/50/2018-AGRICECON]
15. Tsujimoto Y, Rakotoson T, Tanaka A, Saito K. Challenges and opportunities for improving N useefficiency for rice production in sub-Saharan Africa. J Plant Prod Sci. 2019, 22 (4): 413–427. [DOI.org/10.1080/ 1343943X.2019.1617638]
16. Masuda K. Eco-Efficiency Assessment of Intensive Rice Production in Japan: Joint Application of Life Cycle Assessment and Data Envelopment Analysis, J Sustainability. 2019, 11(19):5368-5382. [DOI.org/10.3390/ su11195368]
17. Molaei M, Hesari N, Javan Bakht A. Estimation of input-oriented environmental efficiency of agricultural products (Case study: Environmental efficiency of rice production), J Agri Econ. 2017, 11 (2): 157-172. http://ensani.ir/fa/article/375767/
18. Abdpour A, AsadAbadi E, Shabanali Fami H. Analysis of the Role of Factors Affecting Date Production Efficiency in Bam City: A Data Envelopment Analysis Approach. Iranian J Agric Econ Devel Res. 2017, 2-48(3): 507-5018. https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=310817
19. Zofio JL, Pastor JT, Aparicio J. The Directional Profit Efficiency Measure: on Why Profit Inefficiency is either Technical or Allocative. J Prod Anal. 2013, 40: 257–266. https://cio.umh.es/en/2013/06/22/english
20. Ang F, Kerstens PJ. To Mix or Specialise? A Coordination Productivity Indicator for English and Welsh Farms. J Agri Econ. 2016, 67(3): 779–798. [DOI.org/10.1111/1477-9552.12177]
21. Sadeghi Z, Golestani Sh, Pourbaferani E. Investigating the Inductive Effects of Energy Price on Technology Changes of Iranian Industrial Workshops and Environmental Impact Assessment. J AESI. 2013, 2(5): 145-168. https://journals.basu.ac.ir/article_395.html
22. Kohsari MR. Investigation of the Life Habits and Gastric Cancer in Guilan, Journal of Guilan University of Med Sci. 2014, 13(49): 19-10. https://journal.gums.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-36-513
23. Rice Research Institute of Iran. 2019. http://berenj.areeo.ac.ir/.
24. Banker RD, Chang H. The Super-efficiency Procedure for Outlier Identification, not for Ranking Efficient Units. Eur J Oper Res. 2006, 175: 1311 – 1320. [DOI.org/10.1016/j.ejor.2005.06.028]
25. Bogetoft P, Otto L. Benchmarking with DEA, SFA, and R. Springer Press, New York. 2011, 57-68. http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/21766/1/318.pdf
26. Gadanakis Y. The Sustainable Intensification of Farming Systems: Evaluating Agricultural Productivity, Technical and Economic Efficiency. PhD thesis of agriculture, policy and development. University of Reading, United Kingdom.2014, https://centaur.reading.ac.uk/41863/1/20027167_Gadanakis_thesis.pdf
27. Schaffner M, Bader H, Scheidegger R. Modeling Non-point Source Pollution from Rice Farming in the Thachin River Basin. J Environ Dev Sustain. 2011, 13(2): 403 – 422. [DOI:10.1007/s10668-010-9268-2]