Journal of Agricultural Economics & Development

Homepage: https://jead.um.ac.ir

Research Article
Vol. 39, No. 1, Spring 2025, p. 19-32

# Environmental Impact of Reducing Chemical Fertilizer Subsidies (Agricultural Crops in Zarandieh, Markazi Province)

**S.M.J. Esfahani[1*], E. Barikani[1]**

1- Agricultural Planning, Economics and Rural Development Research Institute (APERDRI), Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: m.esfahani@agri-peri.ac.ir)

Received: 29-05-2024
Revised: 15-09-2024
Accepted: 22-09-2024
Available Online: 22-09-2024

**How to cite this article:**
Esfahani, S.M.J., & Barikani, E. (2025). Environmental impact of reducing chemical fertilizer subsidies (Agricultural crops in Zarandieh, Markazi Province). *Journal of Agricultural Economics & Development*, *39*(1), 19-32. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jead.2024.88266.1273

## Introduction

Many governments provide subsidies to members of the agricultural supply chain to ensure food security, maintain economic stability, and uphold the social benefits associated with the agriculture sector. The conflicting goals of food security and environmental protection have become a major problem, especially in developing countries. On the one hand, the government aims to boost food production by offering agricultural subsidies. On the other hand, the excessive use of chemical inputs due to these subsidies has raised concerns about environmental pollution. Therefore, one of the most significant global challenges is to balance agricultural production to meet the increasing demand of the growing population while maintaining the quality of the environment. Any changes in government support policies for the agricultural sector can lead to fluctuations in input and product prices, directly impacting farmers' profits. As a result, these changes can influence cultivation patterns and the use of agricultural inputs, ultimately affecting the environment. Therefore, before implementing any policy changes, it is crucial to assess both the economic and environmental impacts and make informed decisions based on these considerations.

## Materials and Methods

This study uses positive mathematical programming (PMP) on the environmental impact of chemical fertilizers' subsidies change and transfer subsidies to crops in Zarandieh city of Markazi province. The necessary information was collected through the statistical sources of the Ministry of Agricultural Jihad for the crop year 2023 for the three crops including irrigated wheat, irrigated barley, and silage corn, which occupies more than 85 percent of the cultivated area of this region. At the first stage, the amount of greenhouse gas (GHG) emissions by each product was calculated, and then the environmental impact of different subsidy policies was investigated. To calculate the greenhouse gas emissions, the emission coefficient of each of the inputs that have been cited in various studies was used. To model and analyze the data, positive mathematical programming with the cost function approach was used. Excel and GAMS software has been used to run the models.

## Results and Discussion

The results of the study showed that the highest amount of greenhouse gas emissions is related to corn silage, and electricity, diesel, and chemical fertilizers have the largest share of the greenhouse gas emissions. The simulation results for the region's cultivation patterns, considering scenarios where only chemical fertilizers—N-fertilizer, P-fertilizer, and K-fertilizer—were used separately and together with increases of 25%, 50%, 75%, and 100%, indicate that as input prices rise, both the cultivated area and farmers' income decrease. Additionally,

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

https://doi.org/10.22067/jead.2024.88266.1273

increasing the price of P-fertilizer has a greater potential to reduce environmental impact compared to raising the price of other chemical fertilizers.To assess the environmental impact of reallocating subsidies from chemical inputs to agricultural products, a scenario was simulated in which the price of chemical inputs increased by 100%, while product prices rose by 5% and 10%, respectively. The model results revealed that the lowest environmental impact per hectare of crop production occurs when chemical fertilizer prices increase by 100% and product prices rise by 5%.Based on these findings, reallocating subsidies to agricultural products rather than production inputs appears to yield more favorable environmental outcomes. In other words, when the subsidy is allocated to the product instead of chemical inputs, the environmental impact of crop production in this area would be reduced and the amount of emissions per hectare of farm or million Tomans of gross profit would be less compared to other situations.

## Conclusion

It is necessary to support the agricultural sector to boost food production but these supports should be done with the least environmental impact. According to the findings of this study, if subsidies are given to agricultural products instead of inputs, greenhouse gas emissions will be reduced while maintaining the area of crops and the amount of gross profit of farmers. The policy of setting a guaranteed price for basic agricultural products in Iran can be a suitable tool to realize this. In other words, transferring the credits allocated for purchasing chemical fertilizers to the guaranteed purchase of agricultural products will be an effective step in reducing the emission of greenhouse gases and their impact, as well as maintaining the country's food security.

**Keywords:** Crop pattern, Green house gas emission, Markazi province, Positive mathematical programming, Zarandieh city

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
https://jead.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۹، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، ص. ۳۲-۱۹

# آثار زیست‌محیطی کاهش یارانه کودهای شیمیایی (محصولات زراعی شهرستان زرندیه، استان مرکزی)

سید محمد جعفر اصفهانی[۱*]- الهام باریکانی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱

## چکیده

با توجه به لزوم حمایت دولت از تولید محصولات کشاورزی، چگونگی اعطای یارانه به محصولات کشاورزی با توجه به اثرات مختلف اقتصادی و زیست‌محیطی آن همواره مورد بحث مجامع علمی و سیاسی بوده است. در این مطالعه با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، پیامدهای زیست‌محیطی کاهش یارانه اعطایی به کودهای شیمیایی در تولید محصولات زراعی و اعطای یارانه به محصول در شهرستان زرندیه استان مرکزی بررسی شد. اطلاعات لازم از طریق منابع آماری وزارت جهاد کشاورزی برای سال زراعی ۱۴۰۱ برای سه محصول گندم آبی، جو آبی و ذرت علوفه‌ای که بیش از ۸۵ درصد سطح زیر کشت این منطقه را به خود اختصاص داده‌اند، گردآوری شد. نخست میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید هر محصول محاسبه و سپس تبعات زیست‌محیطی سیاست‌های مختلف اعطای یارانه بررسی شدند. در الگوسازی و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای Excel و GAMS و مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت با رویکرد تابع هزینه استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به تولید ذرت علوفه‌ای است و الکتریسیته، دیزل و کودهای شیمیایی بیشترین سهم را در انتشار گازهای گلخانه‌ای داشتند. شبیه‌سازی رفتار کشاورزان منطقه نشان داد که با افزایش قیمت کودهای شیمیایی، سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای نسبت به دو محصول دیگر کاهش بیشتری داشته و افزایش قیمت کود فسفر نسبت به سایر کودهای شیمیایی، تأثیر بیشتری بر کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. همچنین بر اساس نتایج این مطالعه به نظر می‌رسد سیاست انتقال یارانه از نهاده‌های شیمیایی به محصول، تبعات زیست‌محیطی کمتری به دنبال خواهد داشت.

**واژه‌های کلیدی:** استان مرکزی، الگوی کشت، انتشار گازهای گلخانه‌ای، برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، شهرستان زرندیه

## مقدمه

پرداخت یارانه به اعضای زنجیره تأمین محصولات کشاورزی برای تضمین امنیت ذخایر غذایی و حفظ منافع اقتصادی و اجتماعی مربوط به آن، توسط بسیاری از دولت‌ها انجام می‌شود (Sha *et al.*, 2024; Wu *et al.*, 2023). در خصوص چرایی حمایت از بخش کشاورزی و همچنین علاقه سیاست‌گذاران برای حمایت از این بخش دو دیدگاه غالب وجود دارد؛ کسب محبوبیت سیاسی (Anderson *et al.*, 2013; Anderson & Swinnen, 2010) و وجود ریسک‌های مختلف مالی، قیمتی، تولیدی و کشش تقاضای پایین محصولات کشاورزی (Chen *et al.*, 2015). این عوامل سبب شده است تا سیاست‌های حمایتی از مهم‌ترین سیاست‌های اقتصادی در بخش کشاورزی کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه به شمار روند و همواره بر تداوم، تقویت و متنوع‌سازی این سیاست‌ها تأکید شود

۱- مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: m.esfahani@agri-peri.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jead.2024.88266.1273

(Kazemnejad, 2014).

اگرچه دولت‌ها در سراسر جهان برای تشویق کشاورزان به افزایش تولید و اتخاذ روش‌های تولید پایدار، مجموعه‌ای از سیاست‌های حمایتی را به کار می‌برند، اما اثرات سیاست‌های مختلف یارانه‌ها بسیار متفاوت است. برخی از سیاست های یارانه ای به‌منظور تضمین امنیت غذایی اتخاذ می‌شوند ولی ممکن است اثرات مخرب زیست‌محیطی به دنبال داشته باشند (Zhang *et al.*, 2021). به‌عنوان مثال، اختصاص یارانه به آب و انرژی در کشورهای جنوب آسیا برای نیل به خودکفایی می‌تواند اثرات مخرب زیست‌محیطی به دنبال داشته باشد (Smith *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2021). در ایران نیز مطالعات مختلف گزارش کرده‌اند که اعطای یارانه به نهاده‌های کشاورزی، سبب استفاده غیربهینه از آنها شده و آسیب‌های زیست‌محیطی فراوانی به دنبال داشته است (Jamali Jaghdani & Kvartiuk, 2021; Mousavi *et al.*, 2015).

از طرف دیگر، تقاضای زیاد برای غذا از سوی جمعیت در حال رشد در سرتاسر جهان، محیطزیست را تحت‌تأثیر قرار داده و فشارهای زیادی بر بهره‌وری کشاورزی وارد می‌کند (Zhai *et al.*, 2020). به‌عبارت‌دیگر، اهداف متضاد امنیت غذایی و حفاظت از محیطزیست به یک مشکل بزرگ در سطح جهان به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه تبدیل شده است. از یک طرف، دولت می‌خواهد با ارائه یارانه‌های کشاورزی، تولید غذا را افزایش دهد؛ از طرف دیگر، به‌دلیل یارانه‌های کشاورزی، آلودگی زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه نهاده‌های شیمیایی به یک نگرانی عمده تبدیل شده است (Chen *et al.*, 2020). بنابراین یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های جهانی، ایجاد توازن در میزان تولید محصولات کشاورزی برای پاسخگویی به تقاضای فزاینده جمعیت در حال رشد و حفظ کیفیت محیطزیست است (Ziliaskopoulos & Papalamprou, 2022).

با توجه به افزایش آگاهی‌های عمومی دربارهٔ اثرات مخرب زیست‌محیطی کاربرد غیربهینه نهاده‌های شیمیایی در تولید محصولات کشاورزی، در بیش‌تر کشورها تلاش‌هایی در جهت حذف و جایگزینی سیاست یارانهٔ نهاده‌های شیمیایی با سیاست‌های مطلوب در دستور کار سیاست‌گذاران قرار گرفته است. بر همین اساس و باتوجه به مسائل اقتصادی، زیست‌محیطی و مالی، پرداخت یارانه نهاده‌های شیمیایی بازنگری و تغییر سیاست‌های یارانه‌ای ضرورتی انکارناپذیر است (Bakhshi *et al.*, 2010). از طرف دیگر، هر گونه تغییر در سیاست‌های حمایتی از جمله حذف یا کاهش یارانه‌ها می‌تواند از طریق تغییر در قیمت نهاده‌های کشاورزی اثر زیادی بر تصمیم‌گیری کشاورزان در تعیین نوع کاشت و همچنین میزان سطح زیر کشت آنان داشته باشد. به‌عبارت دیگر، تغییر در سیاست‌های حمایتی می‌تواند الگوی کشت منطقه را دستخوش تغییر کند (Laborde *et al.*, 2021).

به‌طور کلی، هر گونه تغییر در سیاست‌های حمایتی دولت در بخش کشاورزی به‌واسطه تأثیر آن بر قیمت نهاده‌ها، محصول و سود کشاورز، می‌تواند سبب تغییر الگوی کشت و میزان مصرف نهاده‌های کشاورزی شده و منجر به تغییر اثرات زیست‌محیطی شود (شکل ۱)؛ بنابراین قبل از اتخاذ هر نوع سیاستی در خصوص تغییر قیمت نهاده‌های کشاورزی باید اثرات مختلف آن سیاست از جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی مورد ارزیابی قرار گیرد.

**شکل ۱- اثرات زیست‌محیطی تغییر سیاست‌های حمایتی دولت از بخش کشاورزی**

**Figure 1- The environmental impacts of changing the government's support policies for the agricultural sector**

برای ارزیابی اثر سیاست‌های کشاورزی بر محیطزیست، طیف گسترده‌ای از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی استفاده شده‌اند (Dijak *et al.*, 2017; Moulogianni & Bournaris, 2021; Viaggi *et al.*, 2010). رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP)[1] به‌دلیل توانایی آن در بازتولید نتایج طرح کشت موجود، در موارد مختلف برای ارزیابی تأثیر سیاست‌ها در سطوح ملی، منطقه‌ای و مزرعه مورداستفاده قرار گرفته است. یکی از مزیت‌های این روش این است که به محققان فرصت می‌دهد تا نسبت به تغییر سیاست‌ها واکنشی پیش‌رونده داشته باشند (Moulogianni & Bournaris, 2021). مزیت‌های این روش سبب شده است تا محققان مختلف برای بررسی و ارزیابی اثرات

1- Positive Mathematical Programming

زیست‌محیطی سیاست‌های مختلف کشاورزی از جمله افزایش قیمت نهاده‌های کشاورزی، در مناطق مختلف جهان از آن استفاده کنند (Balezentis *et al.*, 2020; Cortignani & Dono, 2015 ; Zhao *et al.*, 2019).

مولگیانی و بورناریس (Moulogianni & Bournaris, 2021) با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت به تحلیل اثرات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی اقدامات توسعه روستایی در شمال یونان پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که این اقدامات دارای اثرات مثبت اقتصادی، لثرات منفی اجتماعی و لثرات منفی بر اکثر شاخص‌هایی زیست‌محیطی است. شعبان زاده خوشرودی و همکاران (Shabanzadeh-Khoshrody *et al.*, 2022) اثرات سیاست قیمت تضمینی خرید را بر الگوی کشت محصولات زراعی در دشت قزوین را بررسی کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد در تمامی سناریوها سطح زیر کشت محصولات آب اندوز بویژه گندم کاهش و در مقابل سطح زیر کشت محصولات اب بر مانند یونجه و گوجه‌فرنگی و همچنین متوسط درآمد کشاورزان افزایش خواهد یافت. میو و همکاران (Mu *et al.*, 2023) با استفاده از مدل PMP تأثیر قیمت آب بر مصرف آب آبیاری و پایداری محیطزیست را تحت سناریوهای مختلف افزایش قیمت در چین بررسی کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که افزایش قیمت آب کشاورزی منجر به تغییر الگوی کشت محصول در منطقه مورد مطالعه و افزایش کشش قیمت آب می‌شود. علاوه بر این، زمانی که قیمت آب ۲۰۰٪ و ۴۰۰٪ افزایش یابد، ورودی سموم در سایت A به‌ترتیب ۱.۷۱٪ و ۳.۴۰٪ و ورودی کود در سایت B به‌ترتیب ۱.۰۵٪ و ۲.۰۳٪ کاهش خواهد یافت. براساس نتایج مطالعه آنها اجرای سیاست‌های اصلاح قیمت آب در حوضه رودخانه وی می‌تواند اثرات مثبتی به‌دنبال داشته باشد. دنگ و ژو (Deng & Zhao, 2024) با استفاده از مدل PMP سناریوهای جایگزین یارانه‌های مختلف برای کود آلی از نظر تأثیر آنها بر استفاده از کودهای آلی و شیمیایی و اثرات زیست‌محیطی و عملکرد اقتصادی را بررسی کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد با اجرای سیاست‌های یارانه‌ای، مصرف کود آلی افزایش و به‌تبع آن مصرف کود شیمیایی کاهش خواهد یافت. ونگ و همکاران (Wang *et al.*, 2024) در مطالعه خود اثرات سیاست‌های مختلف یارانه‌ای را با اولویت حداکثرسازی سود و در نظر گرفتن منابع آب و محدودیت‌های زیست‌محیطی در شهر چنگده، شمال چین، شبیه‌سازی کردند. نتایج مطلعه آنها نشان داد که سیاست‌های یارانه‌ای مبتنی بر کیفیت در ترویج استفاده از کودهای آلی و افزایش درآمد کشاورز، بهتر از سیاست‌های یارانه‌های منطقه‌ای عمل می‌کند.

تخصیص یارانه به نهاده‌های تولید یکی از روش‌های مورداستفاده در ایران برای حمایت از بخش کشاورزی است که با توجه به استدلال‌های موافقان و مخالفان، همواره میزان آن با نوسان و تغییر مواجه بوده است. با توجه به اینکه تغییر میزان یارانه نهاده‌های شیمیایی می‌تواند تبعات اقتصادی و زیست‌محیطی زیادی داشته باشد، در این مطالعه تبعات زیست‌محیطی سیاست‌های یارانه‌ای بخش کشاورزی در خصوص تخصیص یارانه به کودهای شیمیایی و محصول با استفاده از مدل PMP در شهرستان زرندیه استان مرکزی مورد مطالعه قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

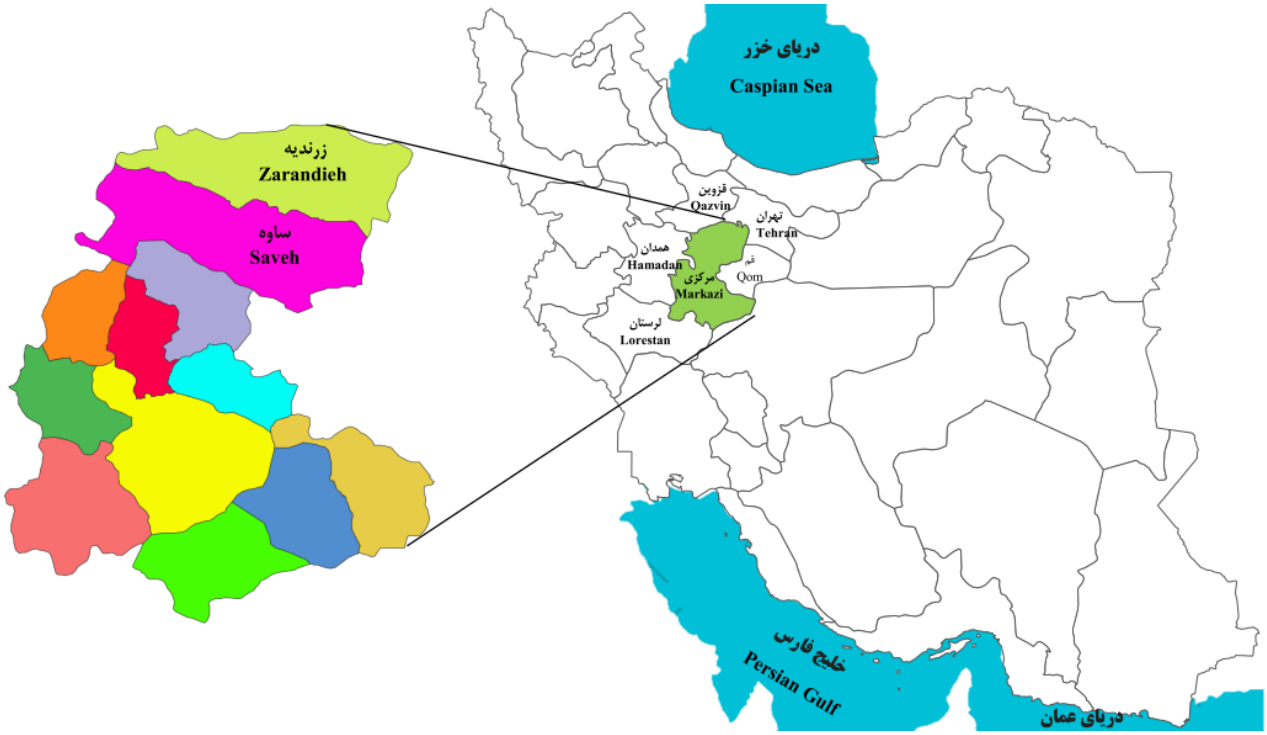
### منطقه مطالعه و روش جمع‌آوری اطلاعات

شهرستان زرندیه یکی از مناطق حاصل‌خیز و یکی از قطب‌های کشاورزی استان مرکزی محسوب می‌شود (Bigdeli *et al.*, 2024). این شهرستان در جنوب و جنوب غربی تهران و در شمال استان مرکزی قرار گرفته است. زرندیه از شمال با استان‌های تهران و البرز، از غرب با استان‌های قزوین و همدان، از شرق با استان‌های تهران و قم و از جنوب با شهرستان ساوه همسایه است (شکل ۲). کل سطح زیر کشت محصولات زراعی در این استان حدود ۱۲۵۰۰ هکتار است که بیش از ۸۰ درصد آن به کشت گندم، جو، ذرت علوفه‌ای و یونجه اختصاص دارد (Agriculture-Jahad, 2023).

اطلاعات موردنیاز در این پژوهش شامل مقدار و هزینه نهاده‌های مصرفی از جمله کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی، بذر، کود حیوانی، آب، نیروی کار و سرمایه و همچنین میزان تولید، قیمت محصول برای سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ از طریق سیستم هزینه تولید محصولات کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی گردآوری شدند. مدل‌سازی و تحلیل اطلاعات با استفاده از نرم‌افزارهای GAMS و Exel انجام شد و به‌منظور محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، از ضریب انتشار هر کدام از نهاده‌ها که در مطالعات مختلف به آنها استناد شده و در جدول ۱ آمده داست، استفاده شد. $CH_4$، $N_2O$ و $CO_2$ مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای مرتبط با بخش کشاورزی هستند که اثر یکسانی بر گرمایش جهانی ندارند، لذا میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بر اساس میزان تأثیر آنها بر ظرفیت گرمایش جهانی بر حسب کیلوگرم معادل $CO_2$ بیان می‌شود (Esfahani, 2022).

### برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP)

بحث اصلی برای ساخت مدل‌های PMP، افزایش قابلیت اطمینان از طریق اجتناب از تفاوت بین وضعیت مرجع تجربی و وضعیت مرجع شبیه‌سازی شده است (Buysse *et al.*, 2007). مدل‌های PMP، بر این فرض استوارند که سطح تولید مشاهد شده، بازتولید شده در مرحله کالیبراسیون، نتیجه انتخاب‌های عامل بهینه است (Baldi *et al.*, 2023). بنابراین در این مدل‌ها، جواب بهینه همان جواب‌های سال پایه است که سبب جذابیت این مدل‌ها برای تحلیل سیاست نزد محققان شده است (Hasanvand *et al.*, 2016).




**شکل ۲- محدوده مورد مطالعه**

**Figure 2- The study area**

**جدول ۱- ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای نهاده‌های کشاورزی**

**Table 1- Greenhouse gas emission coefficients of agricultural inputs**

| نهاده<br>Input | واحد<br>Unit | ضریب<br>Coefficient | منبع<br>Refrence |
|---|---|---|---|
| کود نیتروژن<br>N-fertiliser | کیلوگرم<br>kg | 1.3 | (Ilahi *et al*., 2019) |
| کود فسفات<br>P-Fertiliser | کیلوگرم<br>kg | 0.2 | (Esfahani, 2022) |
| کود پتاسیم<br>P-Fertiliser | کیلوگرم<br>kg | 0.15 | (Šarauskis *et al*., 2019) |
| دیزل<br>Diesel | لیتر<br>L | 2.76 | (Kazemi *et al*., 2016) |
| سموم شیمیایی<br>Chemicals | لیتر<br>L | 6.3 | (Ilahi *et al*., 2019) |
| الکتریسیته<br>Electiricity | کیلووات‌ساعت<br>Kwh | 0.8 | (Esfahani & Rafati, 2022) |

به‌صورت کلی مدل PMP که در مدل‌سازی فعالیت‌های کشاورزی بکار گرفته می‌شود طی سه مرحله انجام می‌شود. مرحله اول تبیین یک مدل برنامه‌ریزی خطی، مرحله دوم برآورد ضرایب تابع هدف غیر خطی و مرحله سوم تعیین مدل واسنجی و تحلیل سیاست (Alijani & Azadegan, 2018). در مرحله اول (رابطه ۱)، از یک مدل برنامه‌ریزی خطی ساده که برای حداکثرکردن سود طراحی شده است همراه با محدودیت منابع و محدودیت کالیبراسیون برای برآورد قیمت سایه‌ای استفاده می‌شود (Arfini *et al*., 2003).

$$\begin{aligned} &\text{Maximize } Z = p'x - c'x \\ &\text{Subject to: } Ax \le b[\lambda] \\ &x \le x_{\cdot} + \varepsilon[\rho] \\ &x \ge 0 \end{aligned} \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، Z مقدار تابع هدف، p قیمت محصول، x سطح فعالیت تولیدی، c هزینه هر واحد از فعالیت، A ضرایب فنی، b مقادیر منابع در دسترس، $\varepsilon$ اعداد کوچک مثبت برای جلوگیری از وابستگی خطی بین محدودیت‌های ساختاری و محدودیت‌های کالیبراسیون؛ $\lambda$ متغیرهای دوگان مربوط به محدودیت‌های منابع و $\rho$ متغیرهای دوگان مربوط به محدودیت‌های کالیبراسیون است (Daneshgar *et al.*, 2021).

در مرحله دوم، از اطلاعات به‌دست‌آمده برای قیمت‌های سایه‌ای در مرحله اول، برای برآورد پارامترهای یک تابع هدف غیرخطی استفاده می‌شود. به‌طوری‌که سطوح فعالیت‌های مشاهد شده در دوره پایه توسط الگوی غیرخطی یادشده و بدون استفاده از محدودیت‌های کالیبراسیون اولیه، بازتولید می‌شود (Paris & Howitt, 1998). در صورتی‌که تابع هزینه چندمحصولی دارای شکل تابعی درجه دوم باشد (رابطه ۲)، بردار هزینه نهایی می‌تواند بر اساس رابطه (۳) محاسبه شود.

$$C^v(x) = d'x + \frac{1}{2}x'Qx \qquad (۲)$$

$$MC^v = \nabla C^v(x)'_{x_0} = d + Q_{x_0} = c + \rho \qquad (۳)$$

در روابط بالا، $d$ بردار (n×1) پارامترهای خطی جز تابع هزینه، $Q$ ماتریس نیمه معین مثبت با ابعاد (n×n) از پارامترهای جزء درجه دوم تابع هزینه، $\nabla C^v(x)'_{x_0}$ بردار گرادیان(1×n) از مشتقات مرتبه نخست $C^v(x)$ در $x=x_0$ می‌باشد.

در مرحله سوم تابع هزینه غیرخطی برآورد شده در مرحله دوم در تابع هدف مسئله مورد بررسی قرار داده شده و تابع هدف غیرخطی مذکور در یک مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی شبیه به مسئله اولیه به‌استثنای محدودیت‌های کالیبراسیون ولی همراه با سایر محدودیت‌های سیستمی مورداستفاده قرار می‌گیرد (رابطه ۴).

$$\text{Maximise } Z = p'x - d'x - x'Qx/۲ \qquad (۴)$$
$$\text{Subject to : } Ax \le b$$
$$x \ge ۰$$

در رابطه (۴)، بردار d و ماتریس Q ضرایب کالیبرهشده تابع هدف غیرخطی را نشان می‌دهد. اکنون الگوی غیرخطی کالیبره شده فوق به‌طور صحیح سطوح فعالیت‌های مشاهده شده در سال پایه و مقادیر دوگان محدودیت منابع را بازتولید نموده و جهت شبیه‌سازی تغییرات در ضرایب مطلوب آماده است (Abdi Rokni *et al.*, 2019; Hasanvand *et al.*, 2016).

## نتایج و بحث

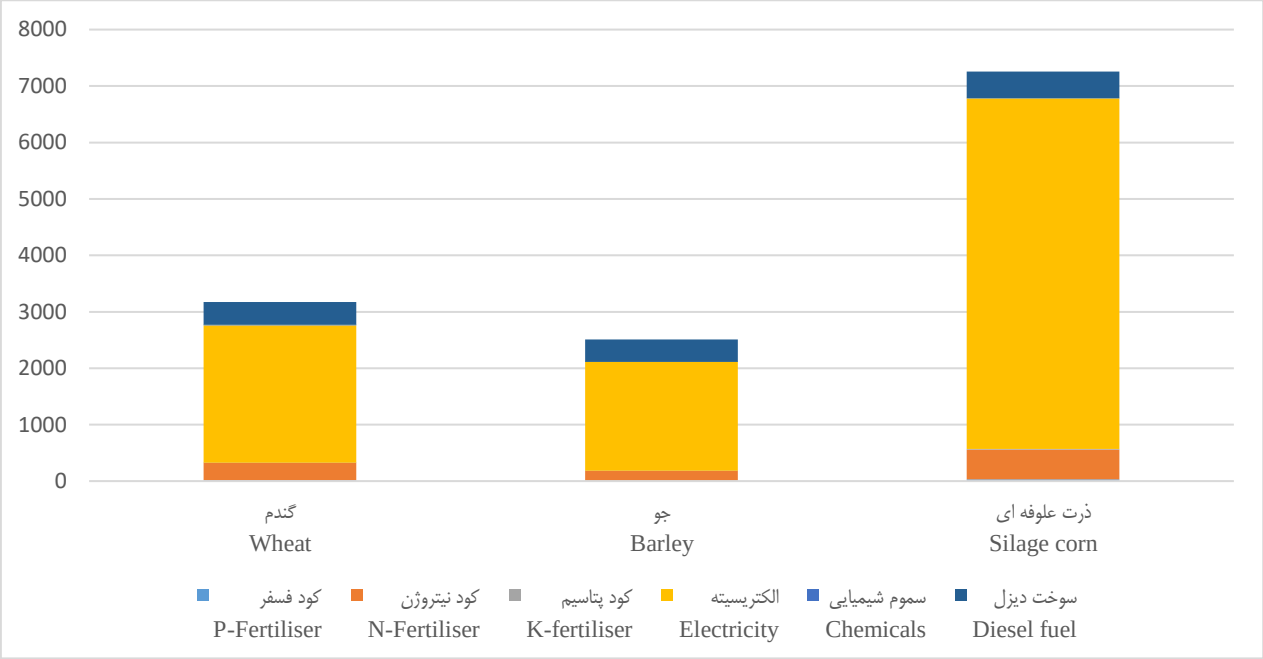
سه محصول گندم، جو و ذرت علوفه‌ای حدود ۸۵ درصد از سطح زیر کشت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین جو با ۶۱۶۷ هکتار سطح زیر کشت بیشترین سهم از اراضی زراعی را به خود اختصاص داده است. از منظر اقتصادی نیز تولید ذرت علوفه‌ای سود بیشتری نسبت به سایر محصولات عاید کشاورزان می‌کند (جدول ۲).

**جدول ۲- سطح زیر کشت، عملکرد، سود ناخالص و هزینه محصولات منتخب**

**Table 2- Area, Yeild and Gross profit of the selected crops**

| محصول Crop | سطح زیر کشت Cultivated Area (ha) | نسبت سطح Releative Area (%) | عملکرد Yield (kg) | سود ناخالص Gross profit (Toman) |
|---|---|---|---|---|
| گندم Wheat | 3038 | 24.15% | 3718 | 8050441 |
| جو Barley | 6167 | 49.02% | 2888 | 6843643 |
| ذرت علوفه‌ای Silage corn | 1389 | 11.04% | 48864 | 15199341 |

به‌منظور بررسی تبعات زیست‌محیطی کاهش یارانه‌ها، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای کشت یک هکتار محصول در وضعیت فعلی و حالتی که قیمت نهاده‌ها افزایش می‌یابد، بررسی شد. در وضعیت فعلی، بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به تولید ذرت علوفه‌ای است (شکل ۳). مقدار معادل $CO_2$ منتشر شده به‌ازای یک هکتار ذرت علوفه‌ای، برابر ۷۲۵۳ کیلوگرم، یک هکتار گندم برابر ۳۱۶۹ کیلوگرم و یک هکتار جو برابر ۲۵۱۰ کیلوگرم می‌باشد. نهاده‌های الکتریسته، سوخت دیزل و کود نیتروژنه بیشترین سهم را در انتشار گازهای گلخانه‌ای داشتند. الکتریسته، کود نیتروژن و سوخت دیزل در سایر مطالعات نیز به‌عنوان مهمترین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید محصولات کشاورزی گزارش شده است (Abbas *et al.*, 2022; Esfahani & Rafati, 2022; Jamali *et al.*, 2021; Sharafi *et al.*, 2023).




**شکل ۳- انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید یک هکتار محصول**

**Figure 3- GHGs Emissin from 1 ha of crops**

به‌منظور بررسی اثرات کاهش تدریجی یارانه کودهای شیمیایی، الگوی کشت منطقه در چهار سناریو مختلف افزایش ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصدی قیمت کودهای شیمیایی بررسی شدند. سناریوهای مختلف کاهش تدریجی یارانه کودهای شیمیایی نشان داد که افزایش قیمت کودهای شیمیایی، سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای را نسبت به دو محصول دیگر به نسبت بیشتری کاهش می‌دهد. در بین کودهای شیمیایی، تغییر قیمت کود فسفر تأثیر بیشتری بر کاهش سطح زیر کشت نشان داد (جدول ۳).

**جدول ۳- تغییر سطح زیر کشت در اثر افزایش قیمت کودهای شیمیایی**

**Table 3– Change in cultivated area due to the increase in the price of chemical fertilizers**

| **میزان افزایش Increasing rate** | **٪25** | | | **50%** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **نوع کود Fertilises type** | **نیتروژن Nitrogen** | **فسفر Phosphorus** | **پتاسیم Potassium** | **نیتروژن Nitrogen** | **فسفر Phosphorus** | **پتاسیم Potassium** |
| گندم Wheat | -0.57% | -0.90% | -0.25% | -1.06% | -1.72% | -0.42% |
| جو Barley | -0.37% | -0.66% | -0.24% | -0.69% | -1.27% | -0.44% |
| ذرت علوفه‌ای Silage corn | -0.54% | -1.14% | -0.92% | -0.99% | -2.20% | -1.75% |
| میزان افزایش Increasing rate | | 75% | | | 100% | |
| نوع کود Fertilises type | نیتروژن Nitrogen | فسفر Phosphorus | پتاسیم Potassium | نیتروژن Nitrogen | فسفر Phosphorus | پتاسیم Potassium |
| گندم Wheat | -1.54% | -2.53% | -0.58% | -2.03% | -7.30% | -0.75% |
| جو Barley | -1.01% | -1.88% | -0.64% | -1.33% | -5.41% | -0.84% |
| ذرت علوفه‌ای Silage corn | -1.44% | -3.25% | -2.58% | -1.89% | -8.75% | -3.40% |

**جدول ٤- سود ناخالص (میلیون تومان) و انتشار گازهای گلخانه‌ای (kg $CO_2$.eq) کل منطقه در اثر تغییر قیمت کودهای شیمیایی**

**Table 4- Gross profit (milon Toman) and GHG emissin(kg CO2.eq) of the Area due to the increase in the price of chemical fertilizers**

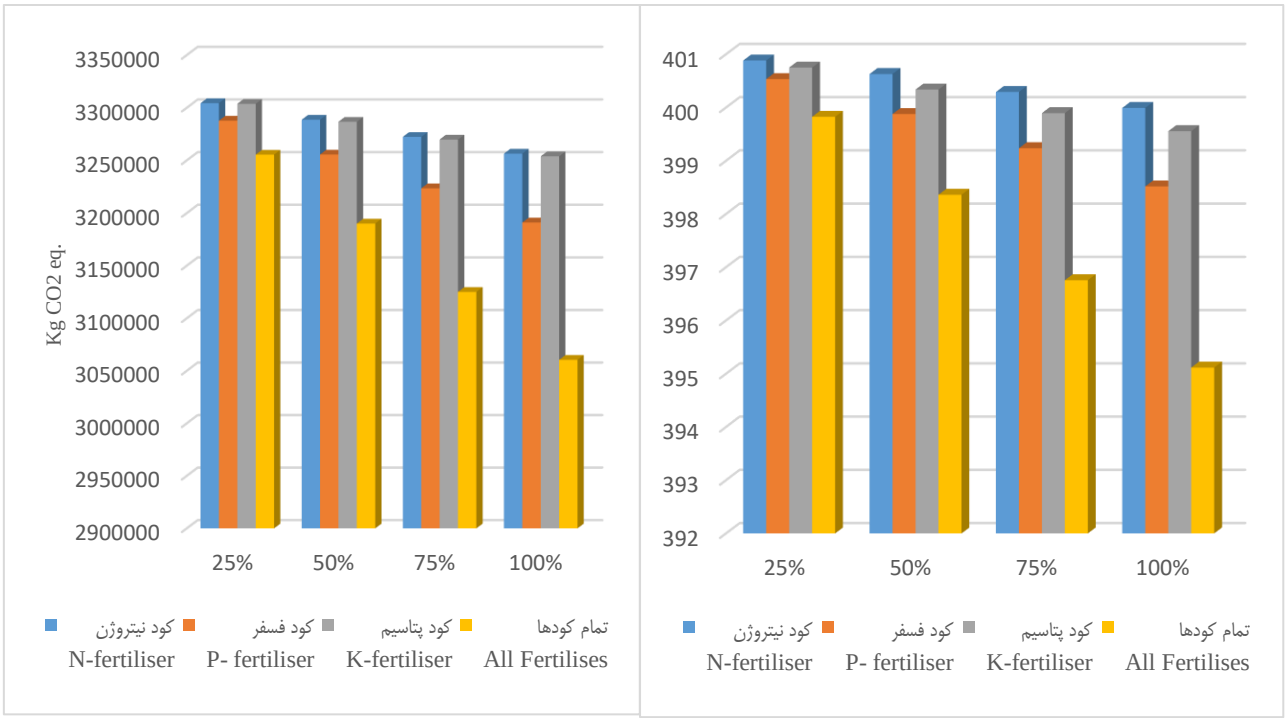
| نهاده Input | افزایش قیمت Increase in the price | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 25% | | | 50% | | |
| | سود خالص Gross profit | انتشار /سود ناخالص Emission/ Gross profit | انتشار / سطح Emission/Area | سود خالص Gross profit | انتشار /سود ناخالص Emission/ Gross profit | انتشار / سطح Emission/Area |
| کود نیتروژن N-fertiliser | 86936 | 400.88 | 3304 | 86241 | 400.63 | 3289 |
| کود فسفر P-fertiliser | 86279 | 400.53 | 3288 | 84940 | 399.88 | 3256 |
| کود پتاسیم K-fertiliser | 87039 | 400.75 | 3304 | 86449 | 400.34 | 3287 |
| تمامی کودها All fertilisers | 85005 | 399.83 | 3255 | 82442 | 398.36 | 3190 |
| حداکثر Max | 87039 | 400.88 | 3304 | 86449 | 400.63 | 3289 |
| حداقل Min | 85005 | 399.83 | 3255 | 82442 | 398.36 | 3190 |
| نهاده Input | افزایش قیمت Increase in the price | | | | | |
| | 75% | | | 100% | | |
| | سود خالص Gross profit | انتشار /سود ناخالص Emission/ Gross profit | انتشار / سطح Emission/Area | سود خالص Gross profit | انتشار /سود ناخالص Emission/ Gross profit | انتشار / سطح Emission/Area |
| کود نیتروژن N-fertiliser | 85550 | 400.29 | 3272 | 84865 | 399.99 | 3256 |
| کود فسفر P-fertiliser | 83616 | 399.24 | 3223 | 82315 | 398.52 | 3191 |
| کود پتاسیم K-fertiliser | 85863 | 399.89 | 3270 | 85282 | 399.56 | 3254 |
| تمامی کودها All fertilisers | 79948 | 396.76 | 3125 | 77521 | 395.12 | 3061 |
| حداکثر Max | 85863 | 400.29 | 3272 | 85282 | 399.99 | 3256 |
| حداقل Min | 79948 | 396.76 | 3125 | 77521 | 395.12 | 3061 |

بررسی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریوهای قیمتی مختلف کودهای شیمیایی، نشان داد که افزایش قیمت کود فسفر می‌تواند تأثیر بیشتری بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحد سطح داشته باشد.

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بر حسب (kg $CO_2$.eq) به‌ازای یک هکتار زمین زراعی در منطقه و همچنین کسب یک میلیون تومان سودناخالص در سناریوهای مختلف قیمتی کود شیمیایی در جدول ۴ آمده است. مشاهده می‌شود که افزایش قیمت کود فسفر می‌تواند میزان انتشار بر واحد سطح و همچنین به‌ازای یک میلیون تومان سودناخالص را به میزان بیشتری کاهش دهد. همچنین در این جدول مشاهده می‌شود افزایش قیمت کودهایی شیمیایی به‌صورت همزمان سطح زیرکشت کل منطقه و سودناخالص کشاورزان را کاهش می‌دهد ولی کاهش انتشار حاصل از مصرف کمتر کودهای شیمیایی و سایر نهاده‌ها مانند سوخت دیزل و الکتریسیته سبب شده است تا میزان انتشار نسبت به سطح زیرکشت و سود ناخالص به میزان بیشتری کاهش یابد و در نتیجه با افزایش همزمان قیمت تمامی کودهای

شیمیایی انتشار در واحد سطح و سود ناخالص نسبت به سایر حالت‌ها کمتر خواهد شد.

این موارد در شکل ۴ نیز نشان داده شده است. در این شکل نیز مشاهده می‌شود افزایش همزمان قیمت تمامی کودهای شیمیایی منجر به انتشار کمتری خواهد شد. همچنین افزایش قیمت کودهای فسفر و پتاسیم تأثیر بیشتری در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحد سطح یا به ازا سود ناخالص دارند. با نگاهی نتایج این مطالعه می‌توان چنین استنباط کرد که افزایش قیمت کودهای فسفر و پتاسیم سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای را نسبت به دو محصول دیگر یعنی گندم و جو به میزان بیشتری کاهش می‌دهد (جدول ۳) و با توجه به اینکه ذرت علوفه‌ای بیشترین میزان انتشار در واحد سطح را دارد (شکل ۳)، در نتیجه افزایش قیمت این نهاده‌ها تأثیر بیشتری بر کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خواهد داشت.




**شکل ٤- انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازا یک هکتار سطح زیر کشت (چپ) و هزارریال سود ناخالص (راست) با توجه به تغییر قیمت کودهای شیمیایی**

**Figure 4- Emission of greenhouse gases per hectare of cultivated area (left) and thousand rials of Gross profit (right) according to the change in the price of chemical fertilizers**

به‌منظور ارائه یک تحلیل جامع‌تر، الگوی کشت و اثرات زیست‌محیطی متأثر از آن در شرایطی که یارانه نهاده‌های شیمیایی به محصول منتقل شود نیز بررسی شد. بر این اساس با توجه به سهم نهاده‌های شیمیایی در هزینه تولید، سناریوهای مختلف شامل افزایش صددرصدی در قیمت نهاده‌های شیمیایی و افزایش ۵ و ۱۰ درصدی قیمت محصول نیز بررسی شدند (جدول ۵).

افزایش ۵ درصدی قیمت محصول، سطح زیرکشت را به میزان ۱۰/۶۶ هزار هکتار در منطقه افزایش و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را به حدود ۳۵۰۰۹ هزار تن معادل $CO_2$ می‌رساند. افزایش ده درصدی قیمت محصول و صد در صدی قیمت کودهای شیمیایی، سطح زیرکشت منطقه را به ۱۱/۳۳ هزار هکتار و میزان انتشار را به ۳۹۸۷۹ تن معادل $CO_2$ خواهد رساند.

سطح زیرکشت و میزان انتشار در حالت‌های مختلف بررسی شده در این مطالعه در جدول ۶ نشان داده شده است. در این جدول مشاهده می‌شود که بیشترین سطح زیرکشت و سود ناخالص در منطقه در حالتی است که قیمت تمامی نهاده‌ها صددرصد افزایش یافته و قیمت محصول نیز ۱۰٪ درصد افزایش یابد. به‌عبارت‌دیگر یارانه به‌جای کودهای شیمیایی از طریق افزایش قیمت تضمینی به محصول اختصاص یابد. در این حالت مقایسه میزان انتشار در واحد سطح نشان می‌دهد که کمترین میزان انتشار زمانی است که قیمت محصول، به میزان ۵ درصد افزایش و قیمت کودهای شیمیایی نیز دو برابر شود (جدول ۶). به‌صورت کلی هر چند در این حالت میزان انتشار در واحد سطح و سود ناخالص نسبت به حالتی‌که تنها قیمت کودهای شیمیایی افزایش یابد بیشتر خواهد بود ولی باید در نظر داشت که این سناریو

ضمن کاهش میزان انتشار سطح زیرکشت منطقه را افزایش کشاورزان منطقه را نیز نسبت به سایر حالت‌ها به میزان کمتری کاهش می‌دهد. بنابراین می‌توان چنین توصیه کرد که تخصیص یارانه به محصول به‌جای نهاده‌های شیمیایی، می‌تواند اثرات زیست‌محیطی مطلوب‌تری داشته باشد.

**جدول ۵- الگوی کشت و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در شرایط افزایش قیمت محصول و نهاده‌های شیمیایی**

**Table 5- Crop pattern and greenhouse gas emissions in the conditions of increasing the price of yield and chemical inputs**

| محصول Crop | افزایش ۵٪ قیمت محصول Increase of the yield price 5% | | افزایش ۱۰٪ قیمت محصول Increase of the yield price 10% | |
|---|---|---|---|---|
| | سطح زیر کشت Cultivated area(ha) | انتشار گازهای گلخانه‌ای (kg $CO_2$.eq) GHGs Emissin | سطح زیر کشت Cultivated area(ha) | انتشار گازهای گلخانه‌ای (kg $CO_2$.eq) GHGs Emissin |
| گندم Wheat | 3044 | 9677676 | 3236 | 11055136 |
| جو Barely | 6284 | 16136892 | 6697 | 18495516 |
| ذرت علوفه‌ای Silage corn | 1329 | 9194772 | 1399 | 10237230 |
| جمع Total | 10657 | 35009340 | 11332 | 39787882 |

**جدول ٦- انتشار کل به‌ازای سطح زیر کشت و سود ناخالص کل در حالت‌های مختلف تخصیص یارانه**

**Table 6- Total Emission per cultivated area and Gross profit in different subsidy allocation modes**

| حالت‌های تخصیص یارانه Subsidy allocation modes | سطح زیر کشت Cultivated Area(ha) | سود ناخالص Gross profit (Million tomans) | انتشار /سود ناخالص Emission/ Gross profit (kg $CO_2$ eq./ Million tomans) | انتشار / سطح Emission/Area (kg $CO_2$ eq./ha) |
|---|---|---|---|---|
| افزایش ۵٪ قیمت محصول Increase of price of yield 5% | 10657 | 87691 | 399.24 | 3285 |
| افزایش ۱۰٪ قیمت محصول Increase of price of yield 10% | 11332 | 98926 | 402.20 | 3511 |
| افزایش ۵۰٪ قیمت نهاده ها Increase of price of inputs 50% | 10295 | 82442 | 398.36 | 3190 |
| افزایش ۷۵٪ قیمت نهاده ها Increase of price of inputs 75% | 10150 | 79948 | 396.76 | 3125 |
| افزایش ۱۰۰٪ قیمت نهاده ها Increase of price of inputs 100% | 10008 | 77521 | 395.12 | 3061 |
| وضعیت موجود Current Condition | 10594 | 87777 | 401.141 | 3324 |

## نتیجه‌گیری

یکی از حمایت‌های نهادی برای توسعه کشاورزی، مشوق‌های مالی در قالب یارانه نهاده‌ها است. کاهش هزینه نهاده‌های یارانه‌ای، سودآوری تولید را افزایش داده و می‌تواند بر رفتار تولیدی کشاورزان تأثیرگذار باشد. مرور ادبیات موضوع، نشان می‌دهد که برنامه‌های حمایتی کشاورزی مانند یارانه‌های کودهای شیمیایی که مستقیماً با تولید محصولات خاص توسط کشاورزان مرتبط است، نه تنها بر میزان تولید، استفاده از زمین، استفاده از نیروی کار و سایر نهاده‌ها تأثیر می‌گذارد، بلکه ترکیب محصولات کشت‌شده و الگوی کشت را نیز تحت‌تأثیر قرار می‌دهد؛ بنابراین مطالعات در مورد تأثیر یارانه‌ها بر تولید محصول نه تنها باید تغییرات بهره‌وری محصول را منعکس کند، بلکه باید تغییر الگوی کشت کشاورزان را نیز منعکس کند. زیرا ممکن است پیامدهای نامطلوبی بر عملکرد محصول و سطوح تولید، تنوع زیستی و اثرات زیست‌محیطی تولید محصولات کشاورزی داشته باشد. بررسی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که تخصیص یارانه به نهاده‌های کشاورزی می‌تواند منجر به استفاده غیربهینه این نهاده‌ها و اثرات سوء زیست‌محیطی شود. با توجه به لزوم حمایت دولت از تولید محصولات کشاورزی، چگونگی اعطای یارانه به محصولات کشاورزی با توجه به تأثیرات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی آن همواره مورد بحث مجامع علمی و سیاسی بوده است. بر این اساس از یک طرف حمایت از بخش کشاورزی به‌منظور پاسخگویی به نیاز غذایی

جمعیت در حال رشد ضروری است و از طرف دیگر این حمایت‌ها باید به گونه‌ای انجام شـــود که کمترین تبعات زیســـت‌محیطی را به‌دنبال داشـــته باشـــد. بر اســـاس یافته‌های این مطالعه تخصـــیص یارانه به محصـولات کشـاورزی به‌جای نهاده‌های تولید ضـمن حفظ سـطح زیر کشـت و میزان سـودناخالص کشـاورزان، موجب کاهش انتشـار گازهای گلخانه‌ای و به‌تبع آن کاهش تبعات زیســـت‌محیطی اســـتفاده از نهاده‌های شـیمیایی در تولید محصـول می‌شـود. سـیاسـت تعیین قیمت تضمینی برای محصولات اساسی کشاورزی در کشور ما ابزار مناسبی برای تحقق این امر می‌باشـــد. به‌عبارت‌دیگر اقدام دولت در انتقال اعتبارات تخصـــیص یافته برای خرید کودهای شـــیمیایی، به خرید تضـمینی محصـولات کشـاورزی، گام موثری در کاهش انتشـار گازهای گلخانه‌ای و تبعات ناشـــی از آن و همچنین حفظ امنیت غذایی جامعه خواهد بود.

## References


1. Abbas, A., Zhao, C., Waseem, M., Ahmed khan, K., & Ahmad, R. (2022). Analysis of energy input–output of farms and assessment of greenhouse gas emissions: A case study of cotton growers [Community case study]. *Frontiers in Environmental Science*, *9*. https//doi.org/10.3389/fenvs.2021.826838
2. Abdi Rokni, K., Abedi, S., & Kashiri Kolaei, F. (2019). Effect of optimization of chemical fertilizers consumption on optimal cropping pattern in the framework of positive mathematical programming (Case study of Sari Goharbaran). *Agricultural Economics Research*, *11*(42), 263-276. https://jae.marvdasht.iau.ir/article_3493_69a505d6c04e2c1e5562295d7fb1cc7f.pdf
3. Agriculture-Jahad, M.O. (2023). *Statistics of crop production*. Dputy of Planning and economy.
4. Alijani, F., & Azadegan, E. (2018). Analysis of pricing policy agricultural products. *Agricultural Economics Research*, *10*(40), 85-104. https://jae.marvdasht.iau.ir/article_3093_4713216fbe9e7c80eda8ba2d404dbbe0.pdf
5. Arfini, F., Donati, M., & Paris, Q. (2003). A national PMP model for policy evaluation in agriculture using micro data and administrative information. International Conference on Agricultural Policy Reform and the WTO: Where are we heading. Capri, Italy.
6. Bakhshi, M.R., Peykani, G., Hosseini, S.S., & Saleh, I. (2010). Evaluating effects of removing fertilizer subsidy and direct payment polices on cropping pattern and inputs use (Case study: Agronomy subsector of Sabzevar Township). *Agricultural Economics*, *4*(2), 185-207. https://www.iranianjae.ir/article_9765.html
7. Baldi, L., Arfini ,F., Calzolai, S., & Donati, M. (2023). CAP reform and GHG emissions: policy assessment using a PMP agent-based model Research in Agricultural & Applied Economics. https://doi.org/10.22004/ag.econ.334520
8. Balezentis, T., Chen, X., Galnaityte, A., & Namiotko, V. (2020). Optimizing crop mix with respect to economic and environmental constraints: An integrated MCDM approach. *Science of The Total Environment*, *705*, 135896. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135896
9. Bigdeli, s., Ebrahimi, K., Davudirad, A., & Hoorfar, A. (2024). Evaluation of the Zarandieh Saveh aquifer sustainability, Iran. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *17*(5), 817-830. https://idj.iaid.ir/article_182245_7576878b3cf06f087488c79bcf26cf2f.pdf
10. Buysse, J., Van Huylenbroeck, G., & Lauwers, L. (2007). Normative, positive and econometric mathematical programming as tools for incorporation of multifunctionality in agricultural policy modelling. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *120*(1), 70-81. https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.03.035
11. Chen, Y.-H., Chen, M.-X., & Mishra, A.K. (2020). Subsidies under uncertainty: Modeling of input- and output-oriented policies. *Economic Modelling*, *85*, 39-56. https://doi.org/10.1016/j.econmod.2019.05.005
12. Cortignani, R., & Dono, G. (2015). Simulation of the impact of greening measures in an agricultural area of the southern Italy. *Land Use Policy*, *48*, 525-533. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.06.028
13. Cortignani, R., & Dono, G. (2019). CAP's environmental policy and land use in arable farms: An impacts assessment of greening practices changes in Italy. *Science of The Total Environment*, *647*, 516-524. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.443
14. Daneshgar, H., Bagheri, M., Mardani Najafabadi, M., Alijani, F., & Yavari, G. (2021). Effects of climate change on hydrological and economic conditions of Bushkan plain farmers. *Agricultural Economics Research*, *13*(2), 259-280. https://jae.marvdasht.iau.ir/article_4439_7d0b84e7072bde3c75eee06bf0b1352a.pdf
15. Deng, L., & Zhao, J. (2024). Assessing economic and environmental impacts of subsidies for organic fertilizer in vegetable production: insights from a combined PMP-LCA-LCC approach. *Environment, Development and Sustainability*. https://doi.org/10.1007/s10668-024-04825-w
16. Dijak, W.D., Hanberry, B.B., Fraser, J.S., He, H.S., Wang, W.J., & Thompson, F.R. (2017). Revision and application of the LINKAGES model to simulate forest growth in central hardwood landscapes in response to climate change. *Landscape Ecology*, *32*, 1365-1384. https://doi.org/10.1007/s10980-016-0473-8
17. Esfahani, S.M.J. (2022). Management of energy consumption and greenhouse gas emissions using the optimal farm

scale: Evidence from wheat production in South Khorasan Province. *Iran Agricultural Research*, *40*(2), 71-83. https://doi.org/10.22099/IAR.2022.41569.1461
18. Esfahani, S.M.J., & Rafati, M. (2022). The share of farm-scale on optimizing energy consumption and greenhouse gas emissions in irrigated wheat farms in eastern Iran. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *53*, 102465. https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102465
19. Hasanvand, M., Tahmasebi, J., & Keramatzadeh, A. (2016). Survey of farmerâs reaction to agricultural water policies in sub sector of farm in Khorramabad County using positive mathematical programming approach (PMP). *Agricultural Economics and Development*, *24*(1), 167-192. https://doi.org/10.30490/aead.2016.59026
20. Ilahi, S., Wu, Y., Raza, M.A.A., Wei, W., Imran, M., & Bayasgalankhuu, L. (2019). Optimization approach for improving energy efficiency and evaluation of greenhouse gas emission of wheat crop using data envelopment analysis. *Sustainability*, *11*(12), 3409. https://doi.org/10.3390/su11123409
21. Jamali Jaghdani, T., & Kvartiuk, V. (2021). The energy-water nexus in Iran: The political economy of energy subsidies for groundwater pumping. In S. Hülsmann & M. Jampani (Eds.), *A Nexus Approach for Sustainable Development : Integrated Resources Management in Resilient Cities and Multifunctional Land-use Systems* (pp. 107-128). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57530-4_8
22. Jamali, M ,.Soufizadeh, S., Yeganeh, B., & Emam, Y. (2021). A comparative study of irrigation techniques for energy flow and greenhouse gas (GHG) emissions in wheat agroecosystems under contrasting environments in south of Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *139*, 110704. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110704
23. Kazemi, H., Bourkheili, S.H., Kamkar, B., Soltani, A., Gharanjic, K., & Nazari, N.M. (2016). Estimation of greenhouse gas (GHG) emission and energy use efficiency (EUE) analysis in rainfed canola production (case study: Golestan province, Iran). *Energy*, *116*, 694-700. https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.010
24. Laborde, D., Mamun, A., Martin, W., Piñeiro, V., & Vos, R. (2021). Agricultural subsidies and global greenhouse gas emissions. *Nature Communications*, *12*(1), 2601. https://doi.org/10.1038/s41467-021-22703-1
25. Moulogianni, C., & Bournaris, T. (2021). Assessing the impacts of rural development plan measures on the sustainability of agricultural holdings using a PMP model. *Land*, *10*(5). https://doi.org/10.3390/land10050446
26. Mousavi, S. N., Farajzadeh, Z., & Taheri, F. (2015). Study of economic and environmental consequences of eliminating chemical and pesticides subsidy using general equilibrium analysis. *Agricultural Economics and Development*, *2*(4), 171-205. https://doi.org/10.30490/aead.2015.58949
27. Mu, L., Wang, Y., & Xue, B. (2023). Does the dynamic adjustment of agricultural water prices drive variation of the agricultural production?., 02 February 2023, PREPRINT (Version 1) available at Research Square https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2470829/v1
28. Paris, Q., & Howitt, R.E. (1998). An analysis of Ill-Posed production problems using maximum entropy. *American Journal of Agricultural Economics*, *80*(1), 124-138. https://doi.org/10.2307/3180275
29. Šarauskis, E., Masilionytė, L., Juknevičius, D., Buragienė, S., & Kriaučiūnienė, Z. (2019). Energy use efficiency, GHG emissions, and cost-effectiveness of organic and sustainable fertilisation. *Energy*, *172*, 1151-1160. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.067
30. Shabanzadeh-Khoshrody, M., Azadi, H., Ahangarkolaee, S.S., Värnik, R., Viira, A.-H., & Kurban, A. (2022). Reviewing the effects of guaranteed and purchasing price policies on cultivation pattern of agronomic crops in Qazvin Plain, Iran. *Journal of International Food & Agribusiness Marketing*. https://doi.org/10.1080/08974438.2022.2085223
31. Sharafi, S., Kazemi, A., & Amiri, Z. (2023). Estimating energy consumption and GHG emissions in crop production: A machine learning approach. *Journal of Cleaner Production*, *408*, 137242. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137242
32. Smith, V.H., Glauber, J.W., Goodwin, B.K., & Sumner, D.A. (2017). Agricultural policy in disarray: Reforming the farm bill—An overview. American Enterprise Institute. https://hdl.handle.net/10568/146291
33. Viaggi, D., Raggi, M., & Paloma, S.G. (2010). An integer programming dynamic farm-household model to evaluate the impact of agricultural policy reforms on farm investment behaviour. *European Journal of Operational Research*, *207*(2), 1130-1139. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.05.012
34. Wang, S., Yang, P., Tan, Q., & Yao, L. (2024). Identification of optimal organic fertilizer subsidy policies under dual uncertainty via a self-calibrated fuzzy-boundary interval programming method. *Journal of Cleaner Production*, *438*, 140762. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140762
35. Zhai, Z., Martínez, J.F., Beltran, V., & Martínez, N.L. (2020). Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, *170*, 105256. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105256
36. Zhang, R., Ma, W., & Liu, J. (2021). Impact of government subsidy on agricultural production and pollution: A game-theoretic approach. *Journal of Cleaner Production*, *285*, 124806.

https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124806
37. Zhao, Z., Wang, G., Chen, J., Wang, J., & Zhang, Y. (2019). Assessment of climate change adaptation measures on the income of herders in a pastoral region. *Journal of Cleaner Production*, *208*, 728-735. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.088
38. Ziliaskopoulos, K., & Papalamprou, K. (2022). A bilevel linear programming model for developing a subsidy policy to minimize the environmental impact of the agricultural sector. *Sustainability*, *14*(13). https://doi.org/10.3390/su14137651