مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره هشت، آبان ماه ۱۴۰۰(۲۳۳-۲۲۳)

بهینه‌سازی انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید پرتقال با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی: شهرستان دزفول)

فاطمه سبزعلی‌پور[۱]

حسین باقرپور[۲]*

h.bagherpour@basu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۱۸ **تاریخ پذیرش: ۹۸/۳/۱۳**

چکیده

زمینه و هدف: صرفه‌جویی در مصرف نهاده‌ها، حفظ سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی هوا، از جمله مزیت‌هایی استفاده موثر از انرژی هستند. این پژوهش با هدف بهینه‌سازی انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای محصول پرتقال در شهرستان دزفول، با کمک دو تکنیک بهینه‌یابی تحلیل پوششی داده‌ها و الگوریتم ژنتیک چند هدفه اجرا شد.

روش بررسی: در این تحقیق داده‌ها از ۶۰ باغدار پرتقال به شکل تصادفی و از طریق مصاحبه حضوری و پرسشنامه‌ای در سال زراعی ۱۳۹۵ جمع‌آوری گردید و با استفاده از دو تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها و الگوریتم ژنتیک چندهدفه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته ها: با توجه به نتایج حاصل از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها بر اساس مدل‌های بازگشت به مقیاس ثابت و متغیر و روش اندازه‌گیری ورودی محور، میانگین کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس به ترتیب ۰/۹۵، ۰/۹۸ و ۰/۹۷ به‌دست آمد. نتایج بهینه‌سازی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها نشان داد که حدود ۴/۳۶٪ از انرژی پرتقال، پتانسیل ذخیره شدن دارد که کودهای شیمیایی و سوخت دیزل بیشترین مقدار انرژی ذخیره شده را از کل انرژی ذخیره شده دارا می‌باشند. همچنین تحلیل پوششی داده‌ها قادر به کاهش ۳۴/۳۸ کیلوگرم کربن دی اکسید بر هکتار از گازهای گلخانه‌ای در محصول پرتقال می‌گردد. نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک نشان داد اگر تمامی نهاده‌ها به‌صورت کاملا بهینه مصرف شود، می‌تواند انرژی مصرفی در تولید پرتقال در منطقه مورد مطالعه را به میزان ۲۶/۱٪ کاهش دهد که در نتیجه کاهش این عامل ورودی، انتشار گاز گلخانه‌ای می‌تواند به میزان قابل توجهی کاهش پیدا بکند. همچنین نتایج نشان داد که میزان انرژی ورودی برای تولید پرتقال در حالت ایده‌آل می‌تواند ۳۲۸۱۰/۶۱ مگاژول در هکتار باشد.

بحث و نتیجه گیری: با توجه به نتایج، استفاده از ماشین‌های نو به‌جای ماشین‌های فرسوده به‌منظور مصرف سوخت کمتر و همچنین تشویق کشاورزان به انجام آزمون خاک برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از مصرف کودها توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: پرتقال، بهینه‌یابی، تحلیل پوششی داده‌ها، الگوریتم ژنتیک.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

۲- استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان. * (مسوول مکاتبات)

J. Env. Sci. Tech., Vol 23, No. 8, November, 2021

Optimization of Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Orange Production Using Data Envelopment Analysis and Genetic Algorithms (Case Study: Dezful Province)

Fatemeh Sabzealipour[1]
Hossein Bagherpour[2*]
h.bagherpour@basu.ac.ir

Admission Date:June 3, 2019 Date Received: February 7, 2018

Abstract

Background and Objective: Saving on inputs, preservation of fossil fuels and decreasing air pollution are the advantages to using energy efficiently. The purpose of this study was to optimize energy inputs and greenhouse gas emissions of orange product in Dezful County, with two methods of data envelopment analysis and multi-objective genetic algorithm optimization techniques.

Material and Methodology: Data from 60 farmers were randomly collected through face-to-face interviews and a questionnaire during the year 2016 and using two methods of data envelopment analysis and multi-objective genetic algorithm were analyzed.

Findings: Regarding the results of data envelopment analysis technique based on fixed and variable return scale models and input-axis measurement, technical efficiency, net technical efficiency and scale efficiency were calculated to be 0.95, 0.98 and 97%. The results of optimization of energy consumption and greenhouse gas emissions by using data envelopment analysis showed that about 4.36% of orange energy has storage potential, that chemical fertilizers and diesel fuel have the highest amount of stored energy of all stored energy. Data envelopment analysis can reduce 34.38 kg of carbon dioxide per hectare from greenhouse gas emissions in orange crops. The results of the genetic algorithm showed that if all inputs were completely optimized, it could reduce the energy consumption of orange production in the study area by 26.1%. Also, the energy input for ideal orange production system could be 32810.6 MJ per ha.

Discussion and Conclusion: According to the results of this study, it is recommended to use of new machines and encourage farmers to conduct soil tests before using of fertilizer.

Keywords: Orange, Optimization, Data Envelopment Analysis, Genetic Algorithm.

1- M.Sc. Student, Department of Biosystems Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

2- Assistant professor, Department of Biosystems Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. *(*Corresponding Author*)

مقدمه

در ایران بعد از سیب و انگور، پرتقال مقام سوم میزان تولید محصولات باغبانی کشور را دارد. بر اساس آمار فائو، ایران با مجموع تولید حدود ۱۹۴۴۰۲۳ تن، در رده نهم تولید پرتقال در جهان قرار دارد (۱). از تولید ۸ میلیون تن میوه‌های نیمه گرمسیری در سال ۱۳۹۵، پرتقال ۳۶/۱ درصد از کل میزان تولید میوه‌های نیمه گرمسیری را تشکیل می‌دهد. میزان تولید پرتقال در ایران در سال ۹۵، حدود ۲/۸۸ میلیون تن برآورد شد که استان مازندران با ۱۷۸۴۲۵۲/۴ تن رتبه نخست و استان خوزستان با ۳۸۸۰۵/۷ تن رتبه هفتم را به خود اختصاص داده است (۲).

صرفه‌جویی در مصرف نهاده‌ها، حفظ سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی هوا از جمله مزیت‌هایی هستند که در نتیجه استفاده موثر از انرژی حاصل می‌شوند. بنابراین یکی از شرایط مهم تولید محصولات کشاورزی پایدار، استفاده موثر از انرژی در کشاورزی است. (۳).

افزایش استفاده از انرژی ورودی در بخش کشاورزی به مشکلات متعدد زیست محیطی مانند مصرف زیاد منابع انرژی غیر قابل تجدید، از دست دادن تنوع زیستی، آلودگی محیط زیست آبزی به‌وسیله مواد مغذی نیتروژن و فسفر و همچنین آفت کش‌ها منجر شده است (۴).

سهم کشاورزی در انتشار گازهای گلخانه‌ای حدود ۱۲-۱۰ ٪ از کل انتشار گازهای موجود در جهان می‌باشد (۵). کاربرد روش‌های نوین بهینه سازی در ارائه روش‌های بهینه راهگشای تحلیل‌های انرژی در بخش کشاورزی است (۶). به‌طور کلی دو راه عمده در بهینه سازی انرژی در کشاورزی وجود دارد: افزایش بهره‌وری با حفظ سطح انرژی در نهاده‌ها یا صرفه جویی در مصرف انرژی نهاده‌ها بدون تغییر در بهره‌وری (۷).

یکی از این روش‌های بهینه‌سازی استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها است. تحلیل پوششی داده (DEA)، روشی غیرپارامتری و مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی است که در سال ۱۹۸۷ توسط چارنز و همکارانش برای ارزیابی کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیری (DMU) که وظایف یکسانی انجام می‌دهند، ابداع شد (۸). تحلیل پوششی داده‌ها یکی از ابزارهای قدرتمند مدیریتی است. و دارای چهار مدل اصلی است که عبارتند از: مدل بازگشت به مقیاس ثابت (CRS[1])، مدل بازگشت به مقیاس متغیر (VRS[2])، مدل بازگشت به مقیاس افزایشی (IRS[3])، مدل بازگشت به مقیاس کاهشی (DRS[4]) (۹).

از دیگر روش‌های بهینه سازی، استفاده از الگوریتم ژنتیک چند هدفه است. الگوریتم ژنتیک در دسته الگوریتم‌های بهینه سازی قرار داشته و اجازه می‌دهد تا جمعیتی متشکل از تعداد زیادی افراد که تحت قوانین انتخاب ویژه‌ای تشکیل شده‌اند، در طی فرآیند تکامل، تابع برازش را بهینه نمایند. جذابیت زیاد الگوریتم‌های ژنتیک در این است که نتایج نهایی قابل ملاحظه‌ترند (۱۰).

تاکنون تحقیقات مختلفی در زمینه بهینه سازی انرژی مصرفی و کاهش گازهای گلخانه‌ای صورت گرفته است که از جمله این تحقیقات می توان به مطالعه ستاری یوزباشکندی و همکاران (۲۰۱۴) برای بهینه‌سازی مصرف انرژی برای تولید انگور در شرق آذربایجان با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها اشاره کرد. در نتیجه این پژوهش، کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس به‌ترتیب ۰/۷۶۸، ۰/۹۰۳ و ۰/۸۵۰ به‌دست آمد. مجموع انرژی بهینه برای تولید انگور ۶۰۳۷۵/۴۵ محاسبه شد که نشان داد اگر کشاورزان نتایج به‌دست آمده توسط این مطالعه را دنبال کنند ۲۶/۵۳٪ از انرژی‌های ورودی می‌تواند ذخیره شود. همچنین، الکتریسیته (۳۴/۷۲٪)، کودهای شیمیایی (۲۸/۴۶٪) و سوخت دیزل (۲۳/۸۸٪) بالاترین سهم از صرفه جویی در انرژی را داشتند (۱۰).

الهامی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای به بهینه سازی انرژی مصرفی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید عدس با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها پرداختند. آنها نتیجه گرفتند در حالتی که نهاده‌ها به‌صورت بهینه مصرف شوند

1- Constant Returnes to Scale
2- Variable Returne to Scale
3- Increase Returne to Scale
4- Decrease Returne to Scale

۳/۱۲٪ از کل انرژی مصرفی صرفه جویی می‌شود. همچنین گازهای گلخانه‌ای به میزان ۵/۱۸٪ کاهش می‌یابد (۱۱).

اکرم و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک چند هدفه به بهینه سازی انرژی مصرفی در تولید ماهیان گرم‌آبی پرداختند. بر اساس نتایج آنها در حالت مصرف بهینه نهاده‌ها ۲۶٪ ذخیره انرژی را در حالت ایده آل داشت (۱۲).

با توجه به سطح زیر کشت بالای محصول پرتقال و نبود تحقیق مناسب در بررسی میزان مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای

حاصل از این محصول در شهرستان دزفول، این پژوهش با هدف بهینه‌سازی انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای محصول پرتقال در شهرستان دزفول، با کمک دو تکنیک بهینه‌یابی تحلیل پوششی داده‌ها و الگوریتم ژنتیک چند هدفه اجرا گردید.

مواد و روش ها

نمونه برداری و جمع آوری اطلاعات

شهرستان دزفول در مختصات جغرافیایی '۲۰ °۴۸ تا '۳۱ °۴۸ طول شرقی و ' ۷۵ °۳۲ عرض شمالی با ۱۴۳ متر ارتفاع از سطح دریا استقرار یافته است. این شهرستان در شمال استان خوزستان قرار گرفته است. اقلیم منطقه مدیترانه‌ای است. میانگین دمای سالیانه ۲۴/۳ درجه سانتی گراد و متوسط بارش سالانه باران ۳۵۷ میلی متر است. جامعه آماری شامل باغداران پرتقال شهرستان دزفول می‌باشد. برای به‌دست آوردن حجم نمونه از فرمول کوکران[1] استفاده شد. بدین ترتیب حجم نمونه به تعداد ۶۰ باغدار تعیین شد و داده‌ها از طریق پرسشنامه و مصاحبه حضوری به‌دست آمد.

انرژی نهاده‌ها

مقادیر نهاده‌ها و ستانده‌ها به ازای هر هکتار باغ پرتقال محاسبه و در ضرایب انرژی معادل ضرب شدند. برای محاسبه انرژی سوخت، سموم، کودهای شیمیایی و دامی، بعد از محاسبه میزان نهاده مصرفی در هر هکتار، مقدار آن طبق رابطه (۱) در ضریب انرژی معادل ضرب می‌شود (۱۳).

$$E_{Input} = I_{Consumption} \times EC_{Input} \quad (۱)$$

در این رابطه، E_{Input} انرژی نهاده مصرفی در هکتار (MJ/ha)، $I_{Consumption}$ مقدار نهاده مصرفی در هکتار (بر حسب واحد آن) و EC_{Input} نیز انرژی موجود در هر واحد نهاده (مگاژول بر واحد) است.

انتشار گازهای گلخانه‌ای

تولیدات کشاورزی نیاز به استفاده از بسیاری از مواد ورودی (کودها، سموم، دانه، و غیره) و حامل انرژی (گاز طبیعی، سوخت دیزل، و غیره) می‌باشد. تولید، فرموله کردن، ذخیره‌سازی، توزیع ورودی‌های کشاورزی و کاربرد آنها با ماشین آلات کشاورزی منجر به احتراق سوخت فسیلی و استفاده از انرژی از منابع جایگزین می شود که CO_2 و دیگر گازهای گلخانه‌ای را به جو می‌رساند (۱۹). برای تعیین انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید پرتقال، ضریب انتشار کربن نهاده‌های کشاورزی به عنوان ورودی اعمال شد.

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای هر یک از نهاده‌ها از طریق فرمول کلی زیر به‌دست می‌آید (۱۳):

$$GHG_{Emissions} = SI_{Consumption} \times EC_{Emissions} \quad (۲)$$

که در آن $GHG_{Emissions}$ میزان انتشار کیلوگرم CO_2 بر حسب نهاده در واحد هکتار، $SI_{Consumption}$ مقدار هر نهاده در واحد هکتار با توجه به واحد مربوطه و $EC_{Emissions}$ ضریب انتشار استاندارد برای هر نهاده می باشد.

تحلیل پوششی داده‌ها

تکنیک تحلیل پوششی یک روش غیر پارامتری برای تخمین توابع تولید است. مهم‌ترین علت موفقیت این روش به‌عنوان یک ابزار کمی، غیر پارامتری بودن روش آن است. در این روش هر یک از واحدها که آن را واحد تصمیم‌گیری (DMU) می‌نامند، در مقایسه با دیگر واحدها بررسی می‌شود و به همین خاطر امتیاز کارایی یک DMU یک امتیاز نسبی است. تحلیل پوششی، کارایی را در سه تعریف متفاوت ارائه می‌دهد که شامل کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس است. کارایی

1- Cochran

فنی به وسیله واحدهای ارزیابی شده برای عملکردشان که وابسته به دیگر واحدهاست، اندازه‌گیری می‌شود. کارایی فنی خالص، کارایی فنی است که متاثر از جابه‌جایی کارایی مقیاس می‌باشد. کارایی مقیاس از تقسیم کارایی فنی بر کارایی فنی خالص حاصل می‌شود.

در مطالعه حاضر از روش ورودی محور استفاده شده و فرمول کارایی فنی به این صورت محاسبه شد (۸).

$$\text{کارایی فنی} = \frac{\text{مجموع خروجیهای وزن دار شده}}{\text{مجموع ورودیهای وزن دار شده}} \quad (۳)$$

ضمن این‌که کارایی مقیاس از تقسیم این دو عامل به‌دست می‌آید و به‌صورت فرمول زیر به‌دست می آید (۲۱).

$$\text{کارایی مقیاس} = \frac{Z_{CCR}}{Z_{BCC}} \quad (۴)$$

جهت تحلیل واحدهای کارا و ناکارا در DMUها، از نسبت درصد ذخیره انرژی که به صورت زیر محاسبه می‌شود، استفاده شده است:

(۵)

$$\text{نسبت انرژی ذخیره} = \frac{\text{انرژی ذخیره شده مطلوب}}{\text{انرژی ورودی واقعی}} \times 100$$

این نسبت نشان‌دهنده کاهش در مقدار مصرف انرژی نهاده بدون کاهش در سطح خروجی بوده و j بیانگر واحد jام است. بنابراین، این نسبت نشانگر بازده انرژی بوده که سطح ناکارایی را با توجه به ذخیره انرژی و مصرف انرژی هر DMU را مشخص می‌کند. درصورتی‌که مقدار درصد انرژی ذخیره شده برای یک واحد برابر صفر شد، آن واحد بهترین واحد شمرده می‌شود و هر مقدار بالاتر از صفر، مقدار لازم در کاهش مصرف انرژی را برای هر DMU نشان می‌دهد (۲۲).

پس از تعیین میزان بهینه انرژی نهاده‌ها توسط تحلیل پوششی داده‌ها میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و کاهش آن نسبت به حالت معمول بر اساس میزان بهینه نهاده‌ها برای هر یک از محصولات مذکور تعیین شد. داده‌ها توسط نرم افزار EMS13 تجزیه و تحلیل گردید و باغها از نظر میزان انرژی مصرفی و عملکرد تولید مورد ارزیابی قرار گرفتند.

الگوریتم ژنتیک چند هدفه

الگوریتم ژنتیک بخشی از روند محاسبات تکاملی است که با هوش مصنوعی توسعه پیدا کرده است. این الگوریتم مبتنی بر تکرار است و اصول اولیه آن از علم ژنتیک و اصل بقا اقتباس گردیده است (۲۳). اولین و مهم‌ترین نقطه قوت این الگوریتم این است که ذاتاً موازی بوده و تصمیمات آن تصادفی است و از آنجایی که چندین نقطه شروع دارد، در یک لحظه می‌تواند فضای مسئله را از چندین جهت مختلف جستجو کند و بر اساس این نظریه، همه راه حل‌های ممکن به روی مسئله باز است. به همین دلیل برای حل مسائل غیرخطی بسیار مفید است (۶).

در این مطالعه دو هدف مورد بررسی قرارگرفت که عبارتند از ۱- به حداکثر رساندن عملکرد هر محصول مورد مطالعه و ۲- کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای. در مرحله بعدی، بعد از مشخص کردن توابع هدف، معادله رگرسیون خطی حاصل از ارتباط بین متغیرهای نهاده‌های مصرفی و توابع هدف (معادله ۱ و ۲) به کمک نرم افزار SPSS تعیین گردید. درگام بعدی ضرایب رگرسیون به‌دست آمده از معادله رگرسیون در معادلات زیر قرار داده شدند. که معادله f(1) عملکرد محصول و f(2) نیز میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای است.

$$f(1) = (-1) \times (a_1 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7) \quad (۶)$$

$$f(2) = a_2 + \gamma_1 X_1 + \gamma_2 X_2 + \gamma_3 X_3 + \gamma_4 X_4 + \gamma_5 X_5 + \gamma_6 X_6 + \gamma_7 X_7 \quad (۷)$$

که در آن X_i نهاده های انرژی، β ضرایب رگرسیون و α_i مقدار ثابت می‌باشد.

در مرحله بعد برای ارزیابی کروموزوم‌ها از تابع برازش بر اساس تابع هدف استفاده شد. مقدار عددی برازش محاسبه شده معیار مقایسه و انتخاب کروموزم‌های برتر است. در گام آخر نیز به منظور تعیین بهترین ترکیب از نهاده‌های ورودی، انرژی کل به عنوان معیاری برای انتخاب بهترین ترکیب مورد استفاده قرار گرفت. بهینه سازی چند هدفه به‌وسیله الگوریتم ژنتیک با

استفاده از کد نویسی در نرم افزار MATLAB R2014b صورت گرفت و مقایسه‌ای بین بهینه‌سازی با دو روش تحلیل پوششی داده‌ها و الگوریتم ژنتیک چند هدفه انجام شد.

نتایج و بحث

بهینه‌سازی مصرف و ذخیره انرژی

به منظور بهینه سازی با استفاد از تحلیل پوششی داده‌ها، انرژی نهاده‌های مختلف به عنوان ورودی‌های مدل و میزان انرژی عملکرد محصول به عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شد. کارا بودن یا غیر کارا بودن یک واحد بستگی به عملکرد آن واحد در تبدیل ورودی‌ها به خروجی در مقایسه با سایر واحدها دارد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود از مجموع ۶۰ باغ بررسی شده در شهرستان دزفول، با مدل بازگشت به مقیاس ثابت و متغیر و روش اندازه‌گیری ورودی محور،کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس به ترتیب ۰/۹۵، ۰/۹۸ و ۰/۹۷ بدست آمد. بر طبق این نتایج از ۶۰ باغ تولید پرتقال به ترتیب ۳۵ و ۲۱ باغ دارای کارایی فنی و کارایی فنی خالص کمتر از ۱ هستند. نتایج نشان می‌دهد که کارایی فنی دارای بیشترین انحراف معیار و بازه تغییر بوده است که عامل اصلی آن عدم آگاهی کشاورزان از روش‌های صحیح تولید و عدم تخصیص بهینه منابع است.

جدول ۱- مقادیر میانگین کارایی‌های مختلف کشاورزان در تولید پرتقال

Table 3. Mean values of farmers various productivity in orange production

عنوان	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
کارایی فنی	۰/۹۴۹	۰/۰۴۸	۰/۸۲۷	۱
کارایی فنی خالص	۰/۹۷۸	۰/۰۲۹	۰/۹۰۳	۱
کارایی مقیاس	۰/۹۷۰	۰/۰۳۶	۰/۸۲۷	۱

جدول ۲ مقادیر انرژی مورد نیاز در وضعیت مصرف بهینه انرژی برای تولید پرتقال در منطقه مورد نظر را نشان می‌دهد. همان-طور که نتایج نشان می‌دهد میزان کل انرژی مورد نیاز در حالت مصرف بهینه نهاده‌ها برابر ۴۲۴۵۸/۰۶ مگاژول بر هکتار به‌دست آمده که انرژی کودهای شیمیایی با مصرف ۳۲۷۰۳/۸ مگاژول بر هکتار بیشترین مقدار را در حالت بهینه به خود اختصاص داده است.

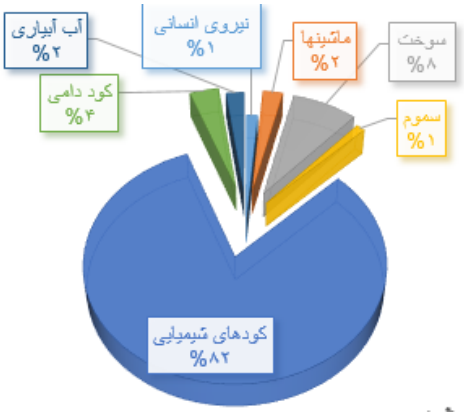
جدول ۲- مقادیر مصرف واقعی و بهینه انرژی معادل نهاده‌های مختلف در تولید پرتقال

Table 4. The actual and optimal consumption of energy equivalent to different inputs for orange production

نهاده‌ها	انحراف معیار نهاده‌ها(SD)	مقدار واقعی مصرف (مگاژول در هکتار)	مقدار بهینه مصرف (مگاژول در هکتار)	مقدار انرژی ذخیره شده(مگاژول در هکتار)	درصد صرفه جویی (ESTR)j
نیروی کارگری(h)	۵۹/۵۳	۹۶۲/۸۳	۹۳۷/۳۳	۲۵/۵۰	۲/۶۵
ماشین‌ها(kg)	۱۰۶/۰۵	۱۵۲۱/۴۰	۱۴۷۵/۳۶	۴۶/۰۴	۳/۰۳
سوخت دیزل(L)	۳۹۸/۱۷	۴۱۵۱/۹۱	۳۹۹۹/۸۷	۱۵۲/۰۴	۳/۶۶
سموم شیمیایی(kg)	۵۵/۷۱	۷۱۳/۶	۶۹۲/۷۲	۲۰/۸۸	۲/۹۲
کودهای شیمیایی(kg)	۴۳۵۲/۷۷	۳۴۲۸۶/۲۵	۳۲۷۰۳/۸۰	۱۵۸۲/۴۵	۴/۶۱
کود دامی(kg)	۲۹۴/۷۶	۱۱۰۱	۱۰۳۳/۶۳	۶۷/۳۷	۶/۱۱
آب آبیاری(m^3)	۱۳۳/۲۴	۱۶۵۶/۸۰	۱۶۱۵/۳۵	۴۱/۴۵	۲/۵۰
کل انرژی ورودی		۴۴۳۹۳/۷۹	۴۲۴۵۸/۰۶	۱۹۳۵/۷۳	۴/۳۶
کل انرژی خروجی		۳۴۷۹۲/۸۰	-	-	-

با توجه به جدول ۲، در صورت کارا شدن تمام باغ‌ها، مقدار ۶/۱۱٪ از انرژی کود دامی، ۴/۶۱٪ از انرژی کودهای شیمیایی، ۳/۶۶٪ از انرژی سوخت دیزل، ۳/۰۳٪ از انرژی ماشین‌ها، ۲/۹۲٪ از انرژی سموم شیمیایی، ۲/۶۵٪ از انرژی نیروی انسانی و ۲/۵۰٪ از آب در مجموع ۴/۳۶٪ از کل انرژی ورودی در منطقه می‌تواند بدون هیچگونه تغییر در عملکرد محصول کاهش پیدا کند. با توجه به مطالعات انجام شده، استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در تولید شلتوک در هند نشان داد که به‌طور متوسط ۱۰۹۳/۸ (MJ/ha) از کل انرژی مصرفی می‌تواند کاهش یابد بدون این‌که هیچ‌گونه کاهشی در عملکرد محصول ایجاد شود (۲۴).

شکل ۱ سهم هر یک از نهاده‌ها در ذخیره‌سازی انرژی در تولید پرتقال با استفاده از روش بازگشت به مقیاس متغیر را نشان می‌دهد. بر این اساس نهاده‌های کودهای شیمیایی، سوخت و کود دامی به ترتیب با ۸۲٪، ۸٪ و ۴٪ بیشترین ذخیره انرژی را به خود اختصاص دادند



شکل ۱ – سهم نهاده‌های مختلف در ذخیره سازی انرژی در تولید پرتقال با استفاده از روش بازگشت به مقیاس متغیر

Figure 1. Contribution of different inputs to energy storage in orange production using a return to variable scale

مقادیر واقعی و بهینه شده انتشار گازهای گلخانه‌ای

جدول ۳ میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در حالت مصرف واقعی و بهینه نهاده‌های تولیدی در کشت پرتقال را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست آمده میزان کل انتشار گلخانه‌ای در یک هکتار باغ برابر با ۱۰۴۵/۲۲ کیلوگرم معادل کربن دی اکسید بوده که نیتروژن، سوخت و ماشین‌ها به ترتیب با ۵۴/۹، ۲۲/۹ و ۱۰/۳ بیشترین سهم از کل انتشار را به خود اختصاص دادند. استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی به‌خصوص کود نیتروژن علاوه بر انتشار انتشار گاز CO_2 باعث آلودگی آب و خاک نیز می‌گردد. همچنین انتشار مربوط به مصرف سوخت دیزل و ماشین به دلیل استفاده از تراکتورهای فرسوده در عملیات مختلف کشاورزی، عدم تناسب ظرفیت توانی بین ماشین‌ها و تراکتور و ایجاد فشار بسیار زیاد ناشی از عملیات شدید خاکورزی می‌باشند.

جدول ۳- میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در حالت مصرف واقعی و بهینه نهاده‌های تولیدی باغات پرتقال

Table 5. Reduction of GHG emissions in real and optimal consumption of orogenic orchard production inputs

نهاده	مقدار واقعی مصرف (کیلوگرم معادل دی اکسید کربن بر هکتار)	مقدار بهینه مصرف(کیلوگرم معادل دی اکسید کربن بر هکتار)	کاهش انتشار گلخانه‌ای (کیلوگرم معادل دی اکسید کربن بر هکتار)
۱- ماشین های کشاورزی(MJ)	۱۰۸/۰۲	۱۰۷/۳۲	۰/۷
۲-کودهای شیمیایی(kg)			
نیتروژن	۵۷۴/۶	۵۵۰/۶۰	۲۴
فسفات	۵۹/۴	۵۶/۵۱	۲/۸۹
پتاسیم	۲۱/۴	۲۰/۴۲	۰/۹۸
۳-سوخت دیزل(L)	۲۳۹/۷۳	۲۳۴/۰۵	۵/۶۸
۴-سموم شیمیایی(kg)	۴۲/۰۷	۴۱/۹۴	۰/۱۳
انتشار گلخانه‌ای کل	۱۰۴۵/۲۲	۱۰۱۰/۸۴	۳۴/۳۸

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، روش تحلیل پوششی داده‌ها قادر به کاهش کل انتشار گلخانه‌ای به میزان ۳۴/۳۸ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن برای این محصول می‌باشد.

بهینه‌یابی به کمک الگوریتم ژنتیک چند هدفه

در این مطالعه نقاط بهینه با بهینه سازی دو تابع انجام گرفت که تابع هدف اول عملکرد پرتقال است که به عنوان عاملی که بایستی افزایش پیدا کند و تابع دوم نیز انتشار گاز CO_2 می‌باشد که بایستی کاهش پیدا کند. جمعیت اولیه با استفاده از اعداد تصادفی یکنواخت، بین حدود بالا و پایین متغیرهای تصمیم‌گیری، تولید شد.

$$f(1)=-1.293X_1+0.951X_2-0.909X_3-0.044X_4-2.661X_5-9.384X_6-1.722X_7-19293.340 \quad (۸)$$

$$f(2)=0.074X_1+0.057X_2-0.002X_3+0.019X_4+0.062X_5-0.002X_6+0.001X_7-9.396 \quad (۹)$$

نهاده‌ها به ترتیب عبارتند از: X_1 ماشین، X_2 سوخت، X_3 نیروی کارگری، X_4 کودهای شیمیایی، X_5 سموم، X_6 کود دامی و X_7 آب. همچنین $f(1)$ و $f(2)$ به ترتیب انرژی خروجی (عملکرد پرتقال) و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشند. همچنین مقادیر عامل تورم واریانس برای تمامی نهاده‌ها کمتر از ۵ به‌دست که نشان دهنده مناسب بودن آن است.

میزان انرژی مصرفی نهاده‌ها در منطقه مورد مطالعه، مقدار بهینه انرژی مصرفی معرفی شده توسط DEA و مطلوب‌ترین نسل الگوریتم ژنتیک چند هدفه (MOGA)[1] در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد با استفاده از الگوریتم ژنتیک چند هدفه، انرژی مصرفی کل برای یک هکتار باغ پرتقال در شهرستان دزفول به اندازه ۳۲۸۱۰/۶۱ مگاژول تغییر می‌یابد. یعنی چنان‌چه تمامی نهاده‌ها به صورت کاملا بهینه مصرف شوند، به مقدار ۲۶/۱ ٪ از انرژی ذخیره خواهد شد. میزان کل انرژی ورودی که توسط الگوریتم ژنتیک برآورد شد نسبت به تحلیل پوششی داده‌ها کمتر بود. نتایج نشان می‌دهد که نیروی انسانی، سموم، کود دامی و آب بایستی نسبت به DEA افزایش یافته و در عوض کودهای شیمیایی به شدت

بهینه یابی چند هدفه برای محصول پرتقال در شهرستان دزفول توسط الگوریتم ژنتیک با تعیین توابع هدف و قیود مصرف نهاده‌های انرژی بر اساس حداقل و حداکثر میزان مصرف هر یک از نهاده‌ها صورت گرفت.

شکل کلی تواع هدف و قیود هر نهاده به‌صورت زیر تعیین شدند:

1- Multi Objective Genetic Algorithm

کاهش یابد. بدیهی است با توجه به کاهش مصرف نهاده‌ها، میزان آلاینده‌ها نیز کاهش خواهد یافت.

جدول ۴- مقادیر واقعی و بهینه انرژی مصرفی در تولید پرتقال

Table 7. Actual and optimal energy consumption in orange production

نهاده‌ها	مقدار واقعی مصرف (MJ/ha)	مقدار بهینه انرژی مصرفی (MJ/ha)	MOGA
		DEA	
نیروی کارگری	۹۶۲/۸۳	۹۳۷/۳۳	۹۴۹/۹۲۴۸
ماشین	۱۵۲۱/۴۰	۱۴۷۵/۳۶	۱۲۳۷/۹۷۴
سوخت	۴۱۵۱/۹۱	۳۹۹۹/۸۷	۳۳۵۶/۹۴۸
کودهای شیمیایی	۳۴۲۸۶/۲۵	۳۲۷۰۳/۸۰	۲۳۰۸۵/۹۹
سموم	۷۱۳/۶	۶۹۲/۷۲	۷۹۳/۱۹۹۱
کود دامی	۱۱۰۱	۱۰۳۳/۶۳	۱۴۹۸/۹۴۳
آب	۱۶۵۶/۸۱	۱۶۱۵/۳۵	۱۸۸۷/۶۳۸
مقدار کل	۴۴۳۹۳/۷۹	۴۲۴۵۸/۰۶	۳۲۸۱۰/۶۱

نتیجه گیری

نتایج بهینه سازی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها نشان داد ۴/۳۶ ٪ از انرژی در نظامهای تولید پرتقال در دزفول پتانسیل ذخیره شدن دارد. ضمن این‌که کودهای شیمیایی (با MJ/ha ۱۵۸۲/۴۵) و سوخت دیزل (با MJ/ha ۱۵۲/۰۴) بیشترین مقدار انرژی ذخیره شده از کل انرژی ذخیره شده را به خود اختصاص دادند. همچنین تحلیل پوششی داده‌ها قادر به کاهش ۳۴/۳۸ کیلوگرم کربن دی اکسید بر هکتار از گازهای گلخانه‌ای در محصول پرتقال می‌گردد، بدون این‌که این ذخیره انرژی و کاهش انتشار باعث کاهش عملکرد محصول شود.

نتایج حاصل از بهینه سازی به کمک الگوریتم ژنتیک چند هدفه نشان داد که اگر تمامی نهاده‌ها به‌صورت کاملا بهینه مصرف شود می‌تواند انرژی مصرفی در تولید پرتقال در منطقه مورد مطالعه را به میزان ۲۶/۱٪ کاهش دهد. این نتایج نشان داد میزان انرژی ورودی برای تولید پرتقال در حالت ایده‌آل می‌تواند ۳۲۸۱۰/۶۱ مگاژول در هکتار باشد.

نتیجه مقایسه بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و تحلیل پوششی داده‌ها نشان داد که میزان مصرف بهینه نهاده‌ها که از بهینه‌یابی چندهدفه به‌دست آمده به‌طور معناداری کمتر از نتایج تحلیل پوششی داده‌ها می باشد. با توجه به نتایج می‌توان توصیه کرد که استفاده از ماشین‌های نو به‌جای ماشین‌های فرسوده باعث می‌شود کشاورزان سوخت کمتری مصرف کنند که باعث کاهش آلودگی می‌شود. همچنین تشویق کشاورزان به انجام آزمون خاک به منظور تعیین عناصر غذایی قابل استفاده گیاه در خاک قبل از مصرف کودها توصیه می‌شود که بر اساس نتایج به‌دست آمده از آزمون خاک، توصیه کودی مناسب را در مورد مصرف بهینه عناصر غذایی اعمال نمود. در این صورت علاوه بر افزایش عملکرد محصول باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود.

Reference

1. FAO, 2016. Food and Agriculture Organization. www.FAO.org
2. Anonymous. 1394. Agricultural Statistics, Volume 3, Horticultural Products, Crop Year 1394. Ministry of Agricultural Jihad, Deputy Director of Planning and Economics, Office of Statistics and Information Technology.
3. Uhlin, H. 1998. Why energy productivity is increasing: an I–O analysis of Swedish agriculture. Agri. Sys. 56: 443-465.

4. Nemecek, T., Huguenin-Elie, O., Dubois, D., Gaillard, G., Schaller, B., and Chervet, A. 2011. Life cycle assessment of Swiss farming systems: II. Extensive and intensive production. Agri. Sys. 104: 233-245.
5. Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M., and Movahedi, M. 2013a. Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. Energy 52: 333-338.
6. Nabavi-Pelesaraee. A.1393. Modeling and Optimization of Energy Consumption and Pollution Emissions Using Expert Systems in Dominant Cultures in Astaneh Ashrafieh and Langrood, Guilan Province. Master's thesis. Tabriz University. (Pearsian)
7. Mirshekari, F. 1390. Introducing Genetic Algorithms with Multi-Objective Optimization Approach. Master's Seminar, Agricultural Mechanization Engineering, Faculty of Engineering and Technology of Agriculture, University of Tehran. (In Pearsian)
8. Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E. 1978. Measuring the efficiency of decision-making units. European Journal of Operational Research, 2: 429-44.
9. Jacobs, R. 2006. An introduction to measuring efficiency in public sector organization.
10. Sattari-Yuzbashkandi, S., Khalilian, S., Mortazavi, S.A. 2014. Energy efficiency for open-field grape production in Iran using Data Envelopment Analysis (DEA) approach. International Journal of Farming and Allied Sciences. 3(6): 637-646.
11. Elhami, B. Akram, A. Khanali, M. 1395. Optimization of Energy Consumption and Reduction of Greenhouse Gas Emissions in Lentil Production Using Data Envelopment Analysis. Engineering Biotechnology in Iran. 47 (4): 701-710. (In Pearsian)
12. Akram, A. Khanali, M. Golchin-Kamakoli, S. Hossein Zadeh Bandbafha, H. 1395. Optimization of energy consumption in the production of warm water using the method of data envelopment analysis and genetic algorithm. Iranian Natural Resources Journal. 69 (4): 431-442 (In Pearsian)
13. Kitani, O. 1999. Energy and Biomass Engineering. CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Vol. (5) ASAE.
14. Pishgar-Komleh, S.H., Ghahderijani, M., Sefeedpari. P. 2012. Energy consumption and CO2 emissions analysis of potato production based on different farm size levels in Iran. Journal of Cleaner Production 33: 183-191.
15. Banaeian, N., Zangeneh, M., Omid, M. 2010. Energy use efficiency for walnut producers using data envelopment analysis (DEA). Australian Journal of Crop Science, 4(5):359-362.
16. Mousavi-Aval, S.H. 1390. Comparison of Energy Consumption Patterns and Analysis of Mechanization Indicators in Soybean, Rapeseed and Sunflower Production in Gorgan, Ali Abad and Kaleh County in Golestan Province. Master's thesis. University of Tehran. (In Pearsian)
17. Omid, M., Ghojabeige, F., Delshad, M. and Ahmadi, H. 2011. Energy use pattern and benchmarking of selected

greenhouses in Iran using data envelopment analysis. Energy Conversion and Management, 52: 153-162.

18. Ozkan, B., Kurklu, A., Akcaoz, H. 2004. An input–output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey. Biomass & Bioenergy, 26:189–95.
19. Lal, R. 2004. Carbon emission from and farm operations, Environ. Int., 30: 981- 990.
20. Dyer, J.A., and Desjardins, R.L. 2006. Simulated farm fieldwork, energy consumption and related greenhouse gas emissions in Canada. Biosys. Eng. 85 (4): 503-513.
21. Nassiri, S.M., and Singh, S. 2009. Study on energy use efficiency for paddy crop using data envelopment analysis (DEA) technique. Appl. Energy 86: 1320-1325.
22. Hu, J.L. and Kao, C.H. 2007. Efficient energy-saving targets for APEC economies. Energy Policy, 35: 373–82.
23. Alireza, M. 1385. Introduction to Genetic Algorithm and its Applications. Naghus Andisheh Publications. (In Pearsian)
24. Chauhan, N.S., Mohapatra, P.K.J., Pandey, K.P. 2006. Improving energy productivity in paddy production through benchmarking-An application of data envelopment analysis. Energy Conversion and Management 47, 1063-1085.