تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی/جلد ۲۰/ شماره ۷۳/ پاییز و زمستان ۱۳۹۸/ص ۱۹۲-۱۷۳

تجزیه و تحلیل و بهینه‌سازی انرژی مصرفی در تولید گندم آبی به روش تحلیل پوششی داده‌ها (مطالعهٔ موردی استان البرز)

عادل واحدی*

استادیار بخش تحقیقات ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۱۲

چکیده

هدف از این مطالعه، بررسی الگوی مصرف انرژی، کارایی مزارع گندم، مشخص کردن مزارع کارا و تعیین میزان بهینهٔ انرژی مصرفی در تولید گندم آبی استان البرز با استفاده از تکنیک ناپارامتری تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) است. اطلاعات مورد نیاز تحقیق با تکمیل پرسشنامه با مصاحبهٔ حضوری و مطالعات اسنادی در سال ۱۳۹۷ جمع‌آوری شد. این مطالعه بر پایهٔ دو خروجی (گندم و کاه) و هشت ورودی اجرا و داده‌های مورد نیاز آن از بیست مزرعهٔ گندم استان البرز جمع‌آوری شد. کل انرژی مصرفی و ستانده در تولید گندم آبی این استان به‌ازای هر هکتار به ترتیب ٤٥٤٥٨/٨٤ و ١٦٢١٦٩/٢٨ مگاژول محاسبه شد. شاخص کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی و افزودهٔ خالص انرژی به ترتیب ۳/۵۷، ۰/۲۷ کیلوگرم بر مگاژول و ١١٦٧١٠/٤٤ مگاژول بر هکتار به دست آمد. بیشترین مقدار مصرف انرژی (٤٣/٠٦ درصد از کل انرژی مصرفی در تولید گندم) در کود شیمیایی دیده شده است. مثبت بودن افزودهٔ خالص انرژی نشان می‌دهد که تولید گندم آبی در استان البرز توجیه‌پذیر است. در رویکرد بازده به مقیاس ثابت و بازده به مقیاس متغیر به ترتیب ٤ و ۱۰ مزرعه گندم کارا تشخیص داده شدند. متوسط کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس مزارع به ترتیب ۰/۸۹۳، ۰/۹۹۰ و ۰/۹۰۱ محاسبه شد. مقدار صرفه‌جویی انرژی در تولید گندم آبی استان ۳/۵۱ درصد به دست آمد و نشان می‌دهد با توجه به توصیه‌های این مطالعه و با حفظ سطح فعلی عملکرد محصول گندم، می‌توان به‌طور متوسط ١٦١٠/٦٢ مگاژول به‌ازای هر هکتار زمین زیر کشت گندم در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد.

واژه‌های کلیدی

ستانده، شاخص‌های انرژی، صرفه‌جویی انرژی، کارایی فنی، نهاده

مقدمه

گندم محصولی است استراتژیک با سطح کشت ۵/۹۲۸ میلیون هکتار و تولید ۱۴/۵۹۲ میلیون تن در سال در ایران که ۵۰/۳۹ درصد سطح کشت و ۱۷/۵۸ درصد تولیدات زراعی کشور را شامل می‌شود (Anon, 2017). کشاورزی فرآیند تبدیل انرژی است. در این فرآیند، انرژی‌های خورشیدی، سوخت‌های فسیلی و الکتریسیته به غذا و الیاف مورد نیاز انسان تبدیل می‌شود. برای تأمین غذا و رفع نیازهای روزافزون جامعه سرمایه‌گذاری بیشتر در زمینهٔ انرژی، به‌عنوان نهاده، ضروری است؛ قرن‌ها، نیروی حیوانات به خدمت گرفته می‌شد، پس از آن بشر با کنترل کردن نیروی آب و باد این دو را جایگزین نیروی حیوانات کرد. با این تغییرات، ضمن آزاد شدن وقت و انرژی بیشتری از انسان، نیروی بیشتر و ارزان‌تر نسبت به گذشته در اختیار او قرار گرفت (Koocheki & Hosseini, 1994). کشاورزی هم تولیدکننده و هم مصرف‌کننده انرژی است (Singh *et al.*, 2002). امروزه برای تولید محصولات کشاورزی نهاده‌هایی مانند سوخت فسیلی،

* نگارندهٔ مسئول: Email: vahedi_adel@yahoo.com

http://doi: 10.22092/erams.2019.125883.1306

الکتریسیته، ماشین‌ها، بذر، کود شیمیایی و سموم شیمیایی سهم قابل توجهی در تأمین منابع انرژی دارند. بشر بدون توجه به نوع انرژی مصرفی، همیشه برای تأمین نیازهای اولیهٔ غذایی خود مجبور به صرف انرژی بوده است. انرژی فسیلی فراوان باعث شده تأمین غذای جمعیت رو به گسترش ممکن شود. جوامع، نیازمند برنامه‌ریزی‌های اساسی برای مدیریت مصرف انرژی هستند (Koocheki, 1994).

کارایی انرژی، معیار پیشرفت فناوری است. داشتن سیاست‌های مشخص در سطح کلان برای برآورد نیازها، جلوگیری از ایجاد ضایعات و کاهش آنها، ارائهٔ برنامه‌ای درازمدت برای به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته در استفاده مؤثرتر از منابع موجود و نیز به‌کارگیری منابع جدید، در کنار آموزش‌های لازم در به‌کارگیری صحیح از انرژی به صورت‌های مختلف آن و تشویق مصرف‌کنندگان انرژی برای صرفه‌جویی این منبع در سطح خرد، بسیار حیاتی است (Almassi *et al*., 2008). پژوهش‌ها نشان داده است که با رشد مکانیزاسیون و استفاده از مواد شیمیایی در کشاورزی، کارایی انرژی به‌تدریج کاهش می‌یابد (Darlington, 1997). اندازهٔ جمعیت شاغل در کشاورزی، مقدار زمین‌های قابل کشت و سطح مکانیزاسیون مهم‌ترین فاکتورهای بهره‌برداری انرژی در بخش کشاورزی هستند (Alam *et al*., 2005). مطالعات در مورد مصرف انرژی در بخش کشاورزی کشور این واقعیت را منعکس می‌کنند که مصرف انرژی در بخش کشاورزی هر ساله در حال افزایش است (Taheri-Asl & Sadeghi, 2011). سیستم تولید محصولات کشاورزی در ایران در سال‌های اخیر به‌دلیل کاربرد ماشین، کودهای شیمیایی و حشره‌کش‌ها دستخوش تغییر و تحولات عمده‌ای شده است. وقوع این تحولات سبب تغییر جریان انرژی در بخش کشاورزی و وابستگی بیشتر این بخش به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم به الکتریسیته، سوخت‌های فسیلی و سایر شکل‌های انرژی شده است (Mehrabi-Boshrabadi & Ismaili, 2010). قربانی و همکاران (Ghorbani *et al*. 2011) با تحلیل اقتصادی و انرژی مصرفی گندم دیم و آبی در خراسان شمالی نسبت انرژی برای گندم آبی و دیم را ۱/۴۴ و ۳/۳۸ به دست آوردند. تعیین میزان مصرف انرژی گندم آبی و سیب‌زمینی در سطوح مختلف کشت غرب اصفهان نشان داد که بیشترین میزان مصرف انرژی مربوط به کودهای شیمیایی وکمترین میزان مصرف انرژی مربوط به انرژی کارگری است (Ghahdarijani, 2007). ملائی و همکاران (Molaei *et al*., 2009) نسبت انرژی بین گندم آبی و دیم را در سه منطقهٔ خسرو شیرین، سده و دژکرد شهرستان اقلید بررسی کردند. نسبت انرژی دانه در مناطق مذکور به ترتیب ۱/۰۶۸، ۱/۱۹ و ۰/۹۱ و میانگین نسبت انرژی با در نظر گرفتن دانه ۱/۰۶۲ و با در نظر گرفتن دانه و کاه ۱/۶ گزارش شده است. شاهین و همکاران (Shahin *et al*., 2008) با بررسی انرژی مصرفی و تحلیل اقتصادی تولید گندم آبی در شهرستان اردبیل نشان دادند که مقدار کل انرژی ورودی ۴۷/۰۸ مگاژول بر هکتار است که حدود ۳۱/۱۹ درصد از آن مربوط به کودهای شیمیایی و ۲۶/۰۵ درصد مربوط به انرژی سوخت دیزل است؛ همچنین ۷۳/۲۷ درصد را انرژی‌های غیرمستقیم و ۲۶/۷۳ درصد را انرژی‌های مستقیم شامل شده است. نسبت انرژی برابر ۱/۹۷ و بهره‌وری انرژی ۰/۰۹۶ کیلوگرم بر مگاژول برآورد شده است.

در مطالعه‌ای دیگر به‌منظور ارزیابی و مقایسهٔ شاخص‌های انرژی در مزارع گندم چهار شهرستان نظرآباد، کرج، اشتهارد و ساوجبلاغ استان البرز معلوم شد کود شیمیایی و سوخت بیشترین سهم و نیروی انسانی کمترین سهم انرژی مصرفی را در تولید گندم دارند. سهم انرژی کود شیمیایی در شهرستان‌های نظرآباد، کرج، اشتهارد و ساوجبلاغ به ترتیب ۴۷، ۵۲، ۵۵ و ۵۲ درصد و سهم انرژی سوخت در همین

شهرستان‌ها به ترتیب ۴۵، ۴۰، ۳۷ و ۴۱ درصد از کل انرژی ورودی تولید گندم شهرستان تعیین شد. کل انرژی ورودی تولید گندم شهرستان‌های نظرآباد، کرج، اشتهارد و ساوجبلاغ به ترتیب ۵۲/۰۷۲، ۵۲/۳۳۹، ۵۹/۱۰۹ و ۵۴/۵۸۸ گیگاژول بر هکتار و انرژی ستانده در همین شهرستان‌ها به ترتیب ۱۴۲/۸۷، ۱۳۴/۶۲، ۱۳۱/۷۶۲ و ۱۳۶/۵۲ گیگاژول بر هکتار به دست آمد. کارایی انرژی تولید گندم شهرستان‌های نظرآباد، کرج، اشتهارد و ساوجبلاغ به ترتیب ۲/۷۴، ۲/۵۷، ۲/۲۳ و ۲/۵ و بهره‌وری انرژی در همین شهرستان‌ها به ترتیب ۰/۰۸۶، ۰/۰۸۱، ۰/۰۷۰ و ۰/۰۷۹ کیلوگرم بر مگاژول گزارش شد (Manafi-Dastjerdi & Lari, 2017).

فتحی و همکاران (Fathi *et al.*, 2018) در مطالعهٔ الگو و کارایی مصرف انرژی تولید گندم دیم به کمک تحلیل پوششی داده‌ها در شهرستان چرداول استان ایلام، نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی و افزوده خالص انرژی را به ترتیب ۳/۰۴، ۰/۱۳ کیلوگرم بر مگاژول و ۲۱۰۳۶/۰۷ مگاژول بر هکتار گزارش کردند. آنها کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس واحدهای تولید گندم دیم را در منطقهٔ مورد مطالعه به ترتیب ۸۸، ۹۷ و ۹۱ درصد، مقدار انرژی ورودی بهینه‌سازی شده در مدل بازگشت به مقیاس متغیر را ۸۳۹۷/۳۷ مگاژول بر هکتار و میزان انرژی قابل ذخیره را ۱۹/۹۷ درصد گزارش کردند.

در بررسی الگوی مصرف انرژی تولید گندم آبی ایران، متوسط انرژی مصرفی ۳۴۸۰۰ مگاژول بر هکتار به دست آمد. کود نیتروژنی با ۳۰ درصد سهم دارای بیشترین سهم از کل انرژی ورودی و پس از آن سوخت با ۲۲ درصد و الکتریسیته با ۱۵ درصد گزارش شد. در این بررسی، نسبت انرژی تولید گندم آبی ۲/۰۹ گزارش شد که بیشترین و کمترین مقدار این شاخص به ترتیب مربوط به استان گلستان (۳/۷۲) و سیستان و بلوچستان (۰/۸۱) است. میانگین شدت انرژی تولید گندم آبی کشور در این تحقیق ۸/۲۳ مگاژول بر کیلوگرم به دست آمد (Mohammadi *et al.*, 2017). عبدشاهی و همکاران (Abdeshahi *et al.*, 2013) با بررسی کارایی انرژی محصول گندم به روش تحلیل پوششی داده‌ها دریافتند که در مدل بازگشت به مقیاس ثابت، ۲۳ درصد و در مدل بازگشت به مقیاس متغیر، ۳۶ درصد از کل واحدها کارایی ۱۰۰درصد دارند و دیگر واحدها با درجه‌های مختلفی از ناکارایی روبه‌رو هستند. عجب‌شیرچی و همکاران (Ajabshirchi *et al.*, 2011) با بررسی کارایی انرژی محصول گندم دیم دشت سیلاخور در سه سطح کشت ۰/۱ تا ۲ هکتار، ۲/۱ تا ۵ هکتار و ۵ هکتار به بالا در شهرستان‌های بروجرد و دورود استان لرستان با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها گزارش دادند که میانگین سطوح کارایی برای سه سطح به ترتیب ۸۲، ۷۸ و ۶۸ درصد است که نشان می‌دهد کارایی انرژی در سطوح پایین‌تر برای این منطقه بهتر است.

هدف از این مطالعه، بررسی روابط میان نهاده‌های انرژی و عملکرد تولید گندم، محاسبهٔ شاخص‌های انرژی، تعیین مزارع کارا و ناکارا گندم آبی در استان البرز به کمک روش تحلیل پوششی داده‌ها و ارائهٔ راهکار به‌منظور کاهش مصرف نهاده‌ها و افزایش بهره‌وری انرژی است.

مواد و روش‌ها

استان البرز با وسعت ۵۸۰۰ کیلومتر مربع در شمال ایران و در دامنه رشته کوه‌های البرز مرکزی قرار دارد و از شمال با استان مازندران، از غرب با استان قزوین، از شرق و جنوب شرقی با استان تهران و از جنوب غربی با استان مرکزی همسایه است. از نظر موقعیت جغرافیایی بین مدارهای ۳۵ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۰

دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و در متوسط ارتفاع ۱۳۶۰ متر از سطح دریا قرار دارد. تولیدات زراعی این استان در سال ۱۳۹۵ حدود ۹۱۰۷۰۰ تن بوده که از سطح کشت ۳۸۱۰۰ هکتار به دست آمده است. در سال ۱۳۹۵ سطح زیرکشت گندم آبی در استان البرز ۱۰۴۹۷ هکتار و میزان تولید گندم استان ۵۵۷۶۱ تن گزارش شده است (Anon, 2017).

در این تحقیق از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده استفاده شد. نمونه‌گیری تصادفی در واقع آسان‌ترین روش نمونه‌گیری است (Ghahdarijani *et al.*, 2009). در این نوع نمونه‌گیری ابتدا با تقسیم حجم نمونه بر تعداد جامعه نسبت نمونه‌گیری به دست می‌آید؛ پس از آن اولین عضو نمونه که معمولاً بهتر است بین صورت و مخرج کسر باشد با استفاده از اعداد تصادفی انتخاب می‌شود و سپس برای به دست آوردن نمونه‌ها، عدد حاصل از نسبت به دست آمده به آن افزوده می‌شود تا شمارهٔ مربوط به نمونه‌های دیگر نیز به‌ترتیب به دست آید. جامعهٔ آماری این تحقیق تمام کشاورزان گندم‌کار استان البرز است که طبق آمار جهاد کشاورزی استان البرز از ۱۰۱ بهره‌بردار تشکیل می‌شود. برای به دست آوردن تعداد نمونه از فرمول کوکران به‌شرح رابطهٔ ۱ استفاده شد (Cochran, 1997; Ghasemi-Mobtaker *et al.*, 2010):

$$n = \frac{N(s \times t)^2}{(N-1)d^2 + (s \times t)^2} \qquad (۱)$$

که در آن،

n= تعداد نمونه؛ N= حجم جامعه؛ t= برابر ۱/۹۶؛ d= دقت احتمالی مطلوب (۰/۹۵)؛ و S= انحراف معیار جامعه و برابر با ۲/۴.

پس از تجزیه و تحلیل داده‌های نمونه‌گیری مقدماتی، پارامترهای صفت مورد مطالعه در جامعهٔ مورد نظر به دست آمد و سپس در فرمول کوکران جایگذاری شدند و حجم نمونهٔ مورد نیاز برای تحقیق، ۲۰ مزرعه به دست آمد. انرژی‌های ورودی به‌منظور تولید گندم درمنطقه مورد مطالعه شامل انرژی نیروی کارگری، ماشین‌ها و ادوات، سوخت، آب آبیاری، الکتریسیته مورد نیاز برای پمپاژ آب، کودهای شیمیایی (نیتروژن، فسفات، پتاسیم و ریزمغذی‌ها)، سموم شیمیایی (علف‌کش، حشره‌کش و قارچ‌کش) و بذر و انرژی خروجی شامل انرژی دانهٔ گندم و کاه حاصل از آن است. به‌منظور محاسبهٔ انرژی مصرفی در هر بخش، داده‌ها در ضریب‌های هم‌ارز انرژی ضرب شد. این ضریب‌ها در جدول ۱ نشان داده‌شده‌اند.

هم‌ارز انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها استفاده شده در این تحقیق بر مبنای مطالعات منابع خارجی می‌باشد و در پژوهش‌ها مرتبط با روند مصرف انرژی در داخل کشور به آن‌ها ارجاع می‌شود. بدیهی است با آگاهی به این موضوع که هم‌ارز انرژی برای تولید و تهیه نهاده‌ها و ستانده‌ها در داخل کشور می‌تواند متفاوت باشد، از هم‌ارز انرژی مراجع خارجی استفاده شد، چون هم‌ارز انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها به‌طور مستقل در کشور محاسبه نشده است ولی باید در مطالعات آینده مبادرت به محاسبه هم‌ارز انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها برای کشور نمود. مثلاً با توجه به رژیم غذایی افراد، عوامل توارثی و شرایط محیطی، هم‌ارز انرژی نیروی کارگری در اروپا و آمریکا و جنوب شرقی آسیا با ایران متفاوت است یا در خصوص سوخت مصرفی با عنایت به تفاوت کیفیت سوخت مصرفی، روش پالایش و نحوه حمل‌ونقل سوخت، هم‌ارز انرژی سوخت فسیلی در هر منطقه جهان می‌تواند متفاوت باشد. هم ارز انرژی کودها و سموم شیمیایی هم بر حسب درصد ترکیبات، درصد خلوص سنگ معدن، روش تهیه در کارخانه‌ها و نحوه حمل‌ونقل از کارخانه تا مزرعه می‌تواند متفاوت باشد. به‌منظور تعیین رابطه بین انرژی ستانده و نهاده، شاخص‌هایی تعریف و به‌کار برده می‌شوند که با استفاده از آنها می‌توان وضعیت انرژی محصولات را

در سامانه‌های زراعی مختلف مقایسه کرد. این شاخص‌ها در رابطه‌های ۲ تا ۴ آمده اند (Mandal *et al*., 2002; Ghasemi-Mobtaker *et al*., 2010)

$$\text{نسبت انرژی} = \frac{\text{انرژی ستانده}}{\text{انرژی نهاده}} \quad (۲)$$

$$\text{بهره‌وری انرژی} = \frac{\text{عملکرد وزنی محصول تولیدی}}{\text{کل نهاده انرژی}} \quad (۳)$$

(۴) انرژی نهاده- انرژی ستانده = افزوده خالص انرژی

در این مطالعه، به‌منظور تجزیه‌وتحلیل کارایی کشاورزان، شاخص‌های کارایی فنی[1](TE)، کارایی فنی خالص[2](PTE) و کارایی مقیاس[3](SE) بررسی شده‌اند. کارایی فنی را می‌توان نسبت مجموع وزنی خروجی‌ها به مجموع وزنی ورودی‌ها بیان کرد.

جدول ۱- هم ارز انرژی نهاده‌های مصرفی و ستانده‌ها در تولید گندم

Table 1- Energy equivalent of inputs and outputs in wheat production

منابع** References	واحد (مگا ژول بر واحد) Unit (MJ. Unit^{-1})	هم ارز انرژی Energy equivalent	انرژی نهاده یا ستانده Particular
			انرژی نهاده (ورودی) Inputs
Ozkan *et al*., 2004;Yilmaz *et al*., 2005;Singh *et al*.,2002 *	hr	1.96	نیروی انسانی Human labor
Erdal *et al*., 2007; Singh *et al*., 2002; Singh, 2002*	L	56.3	سوخت دیزل Diesel
			ماشین‌ها Machinery
Kitani, 1999	kg	138	تراکتور Tractor
Kitani, 1999	kg	180	گاوآهن Plow
Kitani, 1999	kg	129	سم‌پاش Sprayer
Kitani, 1999	kg	129	کودپاش Fertilizer
Kitani, 1999	kg	138	تریلر Trailer
Kitani, 1999	kg	148	کمباین Combine
Singh *et al*., 2002	kg	62.7	دیسک Disc harrow
Singh *et al*., 2002	kg	62.7	ماله Leveler
Singh *et al*., 2002	kg	62.7	زیرشکن Subsoiler
Singh *et al*., 2002	kg	64.80	موتور الکتریکی Electromotor
			کودهای شیمیایی Chemical fertilizer
Esengun *et al*., 2007; Yilmaz *et al*., 2005*	kg	76.14	نیتروژنی Nitrogen(N)
Esengun *et al*., 2007; Yilmaz *et al*., 2005*	kg	12.4	فسفره Phosphorus(P_2O_5)
Esengun *et al*., 2007; Yilmaz *et al*., 2005*	kg	11.15	پتاسه Potassium(K_2O)
Canakci *et al*., 2005; Mandal *et al*., 2002; Singh *et al*., 2002*	kg	120	سموم شیمیایی Chemicals
Burhan, *et al*., 2004	kg	25	بذر گندم Wheat seed
Burhan, *et al*., 2004	kWh	11.93	برق Electricity
Kitani, 1999*	t. km	3.05	حمل‌ونقل Transportation
			خروجی‌ها Outputs
Burhan, *et al*., 2004	kg	14.7	دانه گندم Grain
Burhan, *et al*., 2004	kg	12.5	کاه و کلش Straw

به نقل از واحدی (Vahedi & Younesi-Alamooti, 2017)

* Quotation from vahedi & Younesi-Alamooti (2017)

مقدار عددی کارایی فنی بین صفر و یک که مقدار یک حاکی از آن است که واحدهای تصمیم‌گیری بهترین عملکرد را در تولید دارند و بدون کاهش در پتانسیل می‌توان به تولید ادامه داد، کارایی فنی کمتر از یک، به هر مقدار، نشان می‌دهد که واحد تصمیم‌گیرنده دارای نهاده‌های ورودی

ناکارآمد است (Mousavi-Avval *et al.*, 2011). با استفاده از نمادهای استاندارد، کارایی فنی را می‌توان به‌صورت ریاضی با رابطهٔ ۵ بیان کرد.

$$TE_J = \frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \ldots\ldots + u_n y_{nj}}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \ldots\ldots + v_m x_{mj}} = \frac{\sum_{r=1}^{n} u_r y_{rj}}{\sum_{s=1}^{m} v_s x_{sj}} \qquad (۵)$$

که در آن،

u_r= وزن (ضریب انرژی) با توجه به خروجی nام؛ Y= مقدار خروجی nام؛ v_s= وزن (ضریب انرژی) با توجه به ورودی mام؛ x_s= مقدار نهاده ورودی mام؛ r= تعداد خروجی‌ها (r=1, 2, . . ., n)؛ s=تعداد نهاده‌های ورودی (s=1, 2, .., m)؛ و j نشان‌دهنده jام از DMU ها (واحدهای تصمیم‌گیرنده) است.

برای حل رابطهٔ ۵، برنامه‌ریزی خطی[4](LP)، مورد استفاده قرار گرفت که در رابطه‌های ۶ تا ۹ بیان‌شده است (Charnes *et al.*, 1978).

حداکثر

$$\theta = \sum_{r=1}^{n} u_r y_{rj} \qquad (۶)$$

به‌شرط

$$\sum_{r=1}^{n} u_r y_{rj} - \sum_{s=1}^{m} v_s x_{sj} \le 0 \qquad (۷)$$

$$\sum_{s=1}^{m} v_s x_{sj} = 1 \qquad (۸)$$

$$u_r \ge 0, v_s \ge 0, \text{ و } (j = 1; 2; 3; \ldots; k) \qquad (۹)$$

که در آنها،

θ=کارایی فنی؛ و j نشان‌دهنده شمارهٔ واحد تصمیم‌گیری است. در روابط ۶ و ۹ ثابت و در رابطهٔ ۷ افزایش می‌یابد. الگوی فوق الگوی برنامه‌ریزی خطی و معروف است به الگوی CCR در تحلیل پوششی داده‌ها که فرض بر این است که بین بازده به مقیاس و کارایی رابطهٔ معنی‌داری وجود ندارد (Avkiran, 2001). بنابراین، تولیدکنندگان بزرگ به همان اندازهٔ تولیدکننده‌های کوچک در تبدیل ورودی به خروجی مؤثر و کارا خواهند بود.

کارایی فنی خالص الگوی دیگری در تحلیل پوششی داده‌هاست که بنکر و همکاران (Banker *et al.*, 1984) آن را معرفی کردند؛ این الگو را الگوی BCC می‌نامند و محاسبهٔ کارایی فنی واحدهای تصمیم‌گیرنده، تحت متغیر بازده به مقیاس است. کارایی فنی خالص می‌تواند هر دو کارایی فنی و بازده به مقیاس را از هم جدا کند. مزیت اصلی الگوی BCC این است که مزارع ناکارآمد در قیاس تنها با مزارع کارآمد هم‌اندازهٔ مشابه خود مقایسه خواهند شد (Bames, 2006). موارد فوق می‌تواند با برنامه‌ریزی خطی دوگانه[1] (DLP) به شرح رابطه‌های ۱۰ تا ۱۳ بیان شود.

حداکثر

$$z = uy_i - u_i \qquad (۱۰)$$

به‌شرط:

$$vx_i = 1 \qquad (۱۱)$$

$$-vX + uY - u_o e \le 0 \qquad (۱۲)$$

$$v \ge 0, u \ge 0, \quad u_o \text{ متغیر آزاد} \qquad (۱۳)$$

که در آن،

z و u_0 = عددی و متغیر آزاد؛ U و V= خروجی و ورودی‌های ماتریس وزن؛ و Y و X به ترتیب مربوط به ماتریس‌های خروجی و ورودی هستند. حروف x_i و y_iاشاره به ورودی و خروجی‌های iام واحد تصمیم‌گیری دارد.

کارایی مقیاس نشان‌دهندهٔ تأثیر اندازهٔ واحدهای تصمیم‌گیری بر بهره‌وری سیستم است. این مؤلفه به‌سادگی نشان می‌دهد که برخی از بخش‌های ناکارآمد، به‌اندازهٔ نامناسب واحد تصمیم‌گیری ارتباط دارد و اگر هر واحد تصمیم‌گیری به سمت بهترین اندازه حرکت کند، کارایی کلی (کارایی فنی) را می‌توانند در همان اندازه از سطح فناوری (ورودی) بهبود بخشد (Nassiri & Singh, 2009). اگر یک واحد تصمیم‌گیری به‌طور کامل در هر یک از کارایی فنی و کارایی فنی خالص دارای نمرهٔ کارآمد باشد،

1- Technical Efficiency
2- Pure Technical Efficiency
3- Scale Efficiency
4- Linear Programming

پس آن واحد تصمیم‌گیری در اندازه مقیاس مولدترین عامل خواهد بود. اگر یک واحد تصمیم‌گیری نمرهٔ کارایی فنی خالص بالا اما نمرهٔ کارایی فنی پایینی داشته باشد، آن واحد در سطح محلی کارآمد است اما با توجه به‌اندازه مقیاس آن، در سطح جهانی کارآمد نیست؛ بنابراین، منطقی است که توصیف کارایی مقیاس یک واحد تصمیم‌گیری با توجه به نسبت دو نمره بیان شود (Sarica & Or, 2007). رابطهٔ میان کارایی مقیاس، کارایی فنی و کارایی فنی خالص در رابطهٔ ۱۴ مشخص است.

$$\text{کارایی مقیاس} = \frac{\text{کارایی فنی}}{\text{کارایی فنی خالص}} \qquad (۱۴)$$

در مدل بازده به مقیاس متغیر روش تحلیل پوششی داده‌ها، برای تعیین نوع بازده به مقیاس از مقدار اسکالر متغیر آزاد u_0 در رابطه ۱۳ استفاده می‌شود.

اگر u_0 کوچک‌تر یا بزرگ‌تر از صفر باشد، بازده به مقیاس به ترتیب افزایشی یا کاهشی و اگر برابر صفر باشد، بازده به مقیاس ثابت است (Cooper *et al.*, 2007). در بازده به مقیاس افزایشی نمی‌توان مقیاس واحد تولید را کاهش داد ولی می‌توان آن را تا بی‌نهایت افزایش داد. نسبت خروجی به ورودی برای هر نقطه روی مرز کارا نسبت به ورودی، غیرکاهشی است، به‌عبارت‌دیگر دیگر، افزایش در خروجی همواره بیش از افزایش در ورودی است (Ghojabeige *et al.*, 2009).

شاخص نسبت صرفه‌جویی انرژی هدف (ESTR)[2] را می‌توان در تجزیه‌وتحلیل واحدهای تصمیم‌گیری کارآمد و ناکارآمد به‌کار برد که نشان‌دهندهٔ سطح ناکارآمدی برای هر واحد تصمیم‌گیری با توجه به مصرف انرژی است و به‌صورت رابطهٔ ۱۵ بیان می‌شود (Hu & Kao, 2007; Amid *et al.*, 2016).

$$ESTR_j = \frac{\text{(مقدار انرژی قابل صرفه‌جویی نسبت به انرژی مصرفی هدف)}_j}{\text{(مقدار انرژی مصرفی واقعی)}_j} \qquad (۱۵)$$

که در آن،

$ESTR$= نسبت صرفه‌جویی انرژی هدف؛ EST= مقدار صرفه‌جویی انرژی هدف؛ و AEI[1] = مقدار انرژی مصرفی واقعی. هدف از صرفه‌جویی در انرژی،کاهش مقدار نهادهٔ ورودی بدون کاهش سطح خروجی است و j نشان‌دهنده j امین واحد تصمیم‌گیری ذخیره کنندهٔ انرژی است. مقدار حداقل در شاخص نسبت صرفه‌جویی انرژی به هدف صفر است، بنابراین مقدار شاخص صرفه‌جویی انرژی نسبت به هدف بین صفر و یک خواهد بود. صفر بودن این شاخص نسبت به هدف نشان می‌دهد واحدهای تصمیم‌گیری در مرز کارا هستند مانند آنهایی که کارآمد هستند؛ از سوی دیگر، برای واحدهای تصمیم‌گیری ناکارآمد، مقدار شاخص صرفه‌جویی انرژی نسبت به هدف بزرگ‌تر از صفر است و به آن معنی است که می‌توان انرژی را ذخیره کرد. مقدار شاخص صرفه‌جویی انرژی نسبت به هدف بزرگ‌تر، به معنی ناکارایی انرژی بالاتر است و مقدار صرفه‌جویی در انرژی بیشتری برای آن واحد تصمیم‌گیری می‌توان پیش‌بینی کرد (Hu & Kao, 2007). مفهوم انرژی مصرفی واقعی، انرژی‌ای است که در واحدهای تصمیم‌گیری و در شرایط موجود به‌مصرف می‌رسد و انرژی مصرفی بهینه (انرژی هدف) با روش تحلیل پوششی داده‌ها یا به‌عبارت‌دیگر با پوشش‌دادن داده‌ها و مقایسه با مرز کارایی تعیین می‌شود. این روش مقدار بهینه انرژی مصرفی را به مدیران واحدها پیشنهاد می‌دهد تا بتوانند کارایی واحد خود را ارتقا دهند.

به‌منظور محاسبهٔ کارایی کشاورزان گندم‌کار و نشان دادن تفاوت بین کشاورزان کارآمد و ناکارآمد، از نرم‌افزارهای اکسل و Dea-Solver استفاده شد.

1- Double Linear Programming

2- Energy Saving Target Ratio

نتایج و بحث

مقدار نهاده‌ها، ستانده‌ها و انرژی مصرفی آنها در تولید گندم آبی استان البرز در جدول ۲ آمده است. کل انرژی ورودی و انرژی ستانده تولید گندم آبی استان البرز به ترتیب ۴۵۴۵۸/۸۴ و ۱۶۲۱۶۹/۲۸ مگاژول بر هکتار به دست آمده است. بیشترین سهم انرژی مصرفی نهاده‌ها برای کود شیمیایی و پس از آن برای سوخت مصرفی (به ترتیب ۴۳/۰۶ و ۲۲/۹۳ درصد) و کمترین آن برای انرژی نیروی انسانی (۰/۳۹ درصد) از کل انرژی ورودی به دست آمد (شکل ۱). تناوب زراعی مناسب، استفاده از ریز جانداران آزادکنندهٔ عناصر غذایی، کود دامی، کود سبز و کودهای آلی می‌تواند به کاهش وابستگی کشاورزان به کودهای شیمیایی کمک کند. آتش زدن بقایای گیاهی مزارع گندم و جو بعد از برداشت محصول در مزارع استان برای آماده‌سازی زمین برای محصول بعدی به‌طور گسترده رواج دارد و علاوه بر پیامدهای نامناسب زیست‌محیطی، باعث کاهش حاصلخیزی خاک و مصرف بیشتر کودهای شیمیایی می‌شود. دلیل بالا بودن میزان مصرف انرژی سوخت، استفاده از ماشین‌ها و ادوات فرسوده و کهنه و خود ناشی از وجود مشکلات اقتصادی و نبود سرمایهٔ کافی است. متناسب نبودن ظرفیت ماشین با اندازهٔ زمین، پیروی از روش‌های نادرست خاک‌ورزی، استفادهٔ مکرر از گاوآهن برگردان دار و دیسک در سطح مزارع از دیگر مواردی است که باعث افزایش مصرف انرژی سوخت می‌گردد. هرچه مزارع مکانیزه‌تر شوند و ماشین‌ها و ادوات بیشتری به‌کار گرفته شوند میزان مصرف سوخت بیشتر می‌شود.

جدول ۲- مقدار و انرژی نهاده‌های مصرفی و ستانده‌های تولید گندم آبی استان البرز

Table 2- Amount and energy equivalent of inputs and outputs for irrigated wheat production in Alborz province, Iran

انرژی نهاده مصرفی (مگاژول بر هکتار) Total energy equivalent (MJ ha^{-1})	مقدار نهاده مصرفی Amount per hectare (Unit ha^{-1})	واحد (Unit)	انرژی نهاده یا ستانده Particulars
			انرژی نهاده ورودی Inputs
175.09	89.33	(h)	نیروی انسانی Human labor
2205.16	35.17	(h)	ماشین‌آلات Machinery
10425.66	218.11	(L)	سوخت دیزل Diesel
		(kg)	کود شیمیایی Chemicals
15886.32	203.41		نیتروژنی Nitrogen(N)
2456.88	141.2		فسفره Phosphorus(P_2O_5)
1233	90		پتاسه Potassium(K_2O)
4896.07	410.4	(kWh)	الکتریسیته Electricity
		(kg)	سموم شیمیایی Chemicals
287.98	1.21		علف کش Herbicides
151.20	0.7		قارچ‌کش Fungicides
87.03	0.86		حشره‌کش Insecticides
4781.45	4687.7	(m^3)	آب Water
2873	221	(kg)	بذر Seed
45458.84			کل انرژی ورودی Total energy input
			انرژی خروجی Outputs
78512.7	5341	(kg)	گندم Wheat grain
83656.58	6692.52	(kg)	کاه Straw
162169.28			کل انرژی خروجی Total energy output

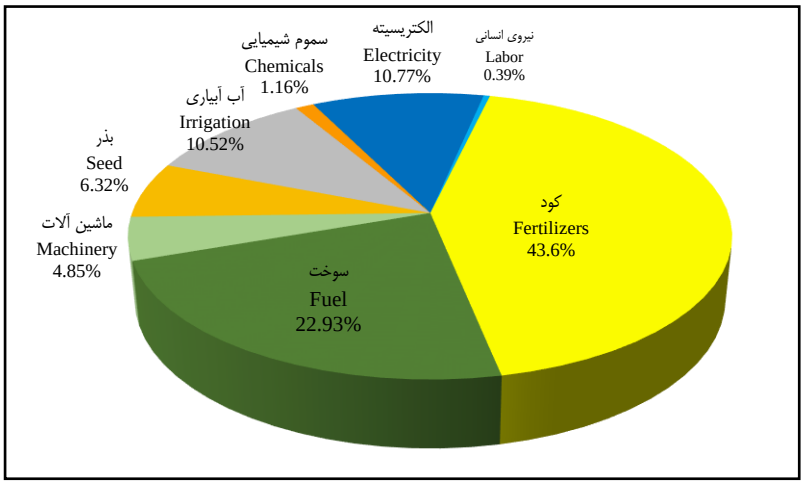
در تحقیقات عبدی و همکاران (Abdi *et al.*, 2013) به‌منظور تعیین میزان انرژی مصرفی در تولید گندم در کرمانشاه نشان داده شد که کودهای شیمیایی با ۳۱/۵۵ درصد بیشترین مصرف انرژی را

در بین نهاده‌ها دارند. سوخت با ۳۰/۰۴ درصد و آبیاری با ۱۶/۷۱ درصد در جایگاه‌های بعدی قرار دارند. قاسمی مبتکر و همکاران (Ghasemi-Mobtaker *et al.*, 2010) در تحقیقی دیگر در همدان گزارش کردند که کودهای شیمیایی بیشترین سهم مصرف انرژی را در بین نهاده‌های ورودی محصول جو دارند. منافی دستجردی و لاری (Manafi-Dastjerdi & Lari, 2017)، فتحی و همکاران (Fathi *et al.*, 2018) و محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2017) نیز در مطالعات خود نتایج مشابهی به دست آوردند و کود شیمیایی و سوخت را به ترتیب نهاده‌هایی با بیشترین سهم انرژی مصرفی گزارش کردند.

انرژی نهاده‌های تولید در کشاورزی را می‌توان به دو گروه عمده انرژی مستقیم و انرژی غیرمستقیم تقسیم کرد. انرژی مستقیم شامل انرژی سوخت‌های فسیلی، نیروی انسانی، الکتریسیته، آب و سوخت‌های زیستی و انرژی غیرمستقیم مربوط به انرژی مصرف‌شده در تولید تجهیزات و سایر مواد مصرفی در کشاورزی است. از اقلام مهم مصرف غیرمستقیم انرژی می‌توان به ماشین‌های کشاورزی، آفت‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها، علف‌کش‌ها، کود حیوانی، بذر، کودهای شیمیایی و آبیاری مزارع اشاره کرد. در تقسیم‌بندی دیگر، انرژی نهاده‌های تولید در کشاورزی را می‌توان به دو گروه انرژی تجدیدپذیر و انرژی تجدید ناپذیر تقسیم کرد. انرژی‌های تجدیدپذیر شامل انرژی نیروی انسانی، کود حیوانی، آب، بذر و الکتریسیته و انرژی‌های تجدید ناپذیر شامل انرژی سوخت، ماشین‌های کشاورزی، کود و سموم شیمیایی هستند. جدول ۳، مقدار انواع انرژی مصرفی را در تولید گندم آبی استان البرز نشان می‌دهد.

به‌منظور افزایش سهم انرژی مستقیم و انرژی تجدیدپذیر، باید کود حیوانی و کود سبز را جایگزین کودهای شیمیایی نموده و از مصرف بی‌رویه کود شیمیایی بدون آزمون خاک کاست. برای تحقق این هدف باید خاک‌ورزی را به حداقل رساند و روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و حفظ حداکثر بقایای گیاهی در مزرعه را در هنگام تهیهٔ زمین به‌کار گرفت.

شاخص‌های کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی، افزوده خالص انرژی و شدت انرژی برای استان البرز در جدول ۴ نشان داده‌شده است. مثبت بودن شاخص افزوده خالص انرژی نشان می‌دهد که تولید گندم در استان البرز توجیه‌پذیر است.



شکل۱- سهم انرژی نهاده‌های مصرفی در تولید گندم آبی استان البرز

Fig. 1-The share of total mean energy inputs for irrigated wheat production in Alborz province, Iran

جدول ۳- مقدار انواع انرژی مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدید ناپذیر در تولید گندم آبی استان البرز

Table 3- Total energy input in the form of direct, indirect, renewable and non-renewable source of irrigated wheat production in Alborz province, Iran

درصد Percentage (%)	مقدار انرژی(مگاژول بر هکتار) Amount of energy ($MJ\ ha^{-1}$)	نوع انرژی Form of energy
44.61	20278.27	انرژی مستقیم Direct energy
55.39	25180.57	انرژی غیرمستقیم Indirect energy
27.99	12725.61	انرژی تجدیدپذیر Renewable energy
72.01	32733.23	انرژی تجدید ناپذیر Non-renewable energy

جدول ٤- شاخص‌های انرژی گندم آبی در استان البرز

Table 4- Energy indices for irrigated wheat production in Alborz province, Iran

انرژی مخصوص (مگاژول بر کیلوگرم) Specific energy ($MJKg^{-1}$)	افزوده خالص انرژی (مگاژول بر هکتار) Net energy ($MJ\ ha^{-1}$)	بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول) Energy productivity ($Kg\ MJ^{-1}$)	کارایی انرژی Energy use efficiency
3.78	116710.44	0.27	3.57

در تحقیقات ندرلو و همکاران (Naderloo *et al.*, 2012)، برای آنالیز انرژی گندم آبی در دشت قزوین، کارایی انرژی ۱/۹۲ و بهره‌وری انرژی ۰/۱۳ کیلوگرم بر مگاژول به دست آمده است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که کشاورزان در تولید این محصول روش‌های تقریباً یکسانی به‌کار می‌گیرند. فتحی و همکاران (Fathi *et al.*, 2018) نسبت انرژی و بهره‌وری انرژی و افزوده خالص انرژی را به ترتیب ۳/۰۴، ۰/۱۳ کیلوگرم بر مگاژول و ۲۱۰۳۶/۰۷ مگاژول در هکتار گزارش کردند.

رحمان و حسن (Rahman & Hasan, 2014) در بنگلادش میزان نسبت انرژی و بهره‌وری انرژی را برای محصول گندم به ترتیب ۲/۳ و ۰/۲ کیلوگرم بر مگاژول به‌دست آورده‌اند. نتایج تحلیل پوششی داده‌های ۲۰ مزرعه تولید گندم آبی استان البرز در جدول ۵ آمده است. در رویکرد بازده به مقیاس ثابت، ۴ واحد کارا و ۱۶ واحد ناکارا بودند و در رویکرد بازده به مقیاس متغیر نیز ۱۰ واحد کارا و ۱۰ واحد ناکارا تعیین شدند. به‌سخنی دیگر، در مدل بازده به مقیاس ثابت ۲۰ درصد و در مدل بازده به مقیاس متغیر ۵۰ درصد کشاورزان کارا بودند. چهار مزرعه گندم شماره ۱، ۵، ۱۲ و ۱۹ در هر دو مدل CCR و BCC کارایی کامل داشتند؛ این مزارع گندم در بهره‌ورترین مقیاس و اندازه فعالیت می‌کنند، هم کارایی مدیریتی و هم کارایی مقیاس دارند. واحدهای دارای کارایی فنی یک، هم از نظر مدیریتی و هم از نظر مقیاس در سطح بهینه هستند و نیاز به گسترش نهاده‌های خود ندارند یعنی مصرف نهاده‌های کود شیمیایی، سوخت، سموم، ماشین، بذر، نیروی انسانی و آبیاری در مقیاس بهینه در تولید گندم این مزارع استفاده شده است. در این واحدها، اگر مدیر مزرعه i درصد عوامل تولید را افزایش دهد، مقدار تولید هم به همان مقدار i درصد افزایش می‌یابد و به‌مفهومی دیگر، تغییر در مقیاس تولید بر کارایی فنی تاثیر ندارد. این واحدها به‌عنوان واحدهای مرجع (الگو) برای سایر واحدها معرفی می‌شوند.

مزارع گندم شماره ۱۹ و ۱۸ به ترتیب با ۱۰ و ۷ بار تکرار، بیش از بقیهٔ مزارع گندم به‌عنوان مزرعهٔ مرجع سایر واحدهای تولید معرفی شده‌اند. در بین مزارع گندم کارا، مزارع ۱۹ و ۱ به ترتیب در اولویت

قرار دارند. شش مزرعه گندم شماره ۶، ۱۱، ۱۵، ۱۷، ۱۸ و ۲۰ گرچه کارایی فنی خالص برابر یک دارند و به‌لحاظ عملیاتی و مدیریتی کارا هستند ولی کارایی فنی آنها کمتر از یک است زیرا به لحاظ اندازه در شرایط مناسب تولید نیستند و کارایی مقیاس ندارند. ۱۰ مزرعهٔ گندم شمارهٔ ۲، ۳، ۴، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۳، ۱۴ و ۱۶ هم ناکارایی مدیریتی دارند و هم ناکارایی مقیاس. در این مطالعه، مزرعهٔ گندم ناکارایی وجود نداشت که کارای مقیاس باشد، به‌عبارت‌دیگر مزرعه‌ای وجود نداشت که کارایی مدیریتی نداشته ولی به لحاظ اندازه و مقیاس تولید کارا باشد؛ تعداد مزارع که از نظر کارایی مقیاس کارا شدند، همان چهار مزرعهٔ کارای مدیریتی بودند. از ۲۰ مزرعهٔ مورد مطالعه، ۱۵ واحد بازده به مقیاس افزایشی و ۵ واحد بازده به مقیاس ثابت داشتند.

دلیل تفاوت مقادیر کارایی فنی و کارایی فنی خالص، نامناسب بودن مقیاس تولید مزارع گندم است.

جدول ۵- ارزیابی کارایی مزارع گندم آبی استان البرز و تعیین مزارع مرجع واحدها با مدل CCR ورودی‌محور

Table 5- Evaluation of efficiency for irrigated wheat farms in Alborz province with reference units via CCR input oriented model

شماره مزرعه Farm No.	کارایی فنی TE	کارایی فنی خالص PTE	کارایی مقیاس SE	بازده به مقیاس RTS	رتبه مزرعه Farm rank	واحدهای مرجع و ضریب‌های وزنی Reference units with coefficients of decision
1	1	1	1	Constant ثابت	1	1(1)
2	0.796	0.979	0.813	Constant ثابت	17	5 (0.143) , 12 (0.499) , 19 (0.486)
3	0.800	0.972	0.823	Increasing افزایش	18	5 (0.236) , 18 (0.100) , 19 (0.663)
4	0.930	0.995	0.935	Increasing افزایش	12	5 (0.724) , 11 (0.034) , 19 (0.240)
5	1	1	1	Constant ثابت	1	5 (1)
6	0.960	1	0.960	Increasing افزایش	1	6 (1)
7	0.895	1	0.895	Increasing افزایش	11	6 (0.586) , 19 (0.413)
8	0.718	0.983	0.731	Increasing افزایش	13	18 (0.645) , 19 (0.355)
9	0.757	0.965	0.784	Increasing افزایش	19	17 (0.155) , 18 (0.461) , 19 (0.383)
10	0.745	0.965	0.772	Increasing افزایش	20	17 (0.050) , 18 (0.725) , 19 (0.219) , 20 (0.0055)
11	0.943	1	0.943	Increasing افزایش	1	11 (1)
12	1	1	1	Constant ثابت	1	12 (1)
13	0.859	0.981	0.876	Increasing افزایش	15	17 (0.238) , 18 (0.281) , 19 (0.443), 20 (0.037)
14	0.907	0.982	0.924	Increasing افزایش	14	15 (0.137) , 18 (0.715) , 19 (0.146)
15	0.987	1	0.987	Increasing افزایش	1	15 (1)
16	0.828	0.979	0.846	Increasing افزایش	16	17 (0.561) , 18 (0.374) , 19 (0.0425) , 20 (0.022)
17	0.957	1	0.957	Increasing افزایش	1	17 (1)
18	0.920	1	0.920	Increasing افزایش	1	18 (1)
19	1	1	1	Constant ثابت	1	19 (1)
20	0.860	1	0.860	Increasing افزایش	1	20 (1)

ناکارآمدترین مزرعه در این تحقیق بر مبنای مدل CCR ورودی‌محور، مزرعهٔ شماره ۸ است با کمترین کارایی فنی (۷۱/۸ درصد)؛ ناکارآمدترین مزرعه بر مبنای مدل BCC ورودی‌محور، مزرعهٔ شمارهٔ ۱۰ است با کمترین کارایی فنی خالص (۹۶/۵ درصد). واحد شمارهٔ ۱۰ می‌تواند ۱۳/۵ درصد مصرف کلیهٔ نهاده‌های خود را کاهش دهد بی‌آنکه از میزان تولیدش کاسته شود؛ پس از آن مازاد مصرف نهاده‌های ورودی خود را بر مبنای مقادیر جدول ۷ کاهش دهد تا به واحد کارا تبدیل شود. در روش تحلیل پوششی داده‌ها برای هر یک از واحدهای ناکارا، یک واحد یا ترکیبی از دو یا چند واحد کارا به‌عنوان الگو معرفی می‌شوند و بقیهٔ واحدها با توجه به وزن‌ها (ضریب‌های) داده شدهٔ مربوط به هر واحد الگو می‌توانند به سطح بهینه دست یابند. با توجه به جدول ۵، مزارع گندم الگو برای مزرعهٔ گندم شمارهٔ

۱۰، واحدهای ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ هستند و از این‌رو این مزرعهٔ گندم برای کارآشدن باید مقدار مصرف هر نهادهٔ تولیدش را از هر نهادهٔ مصرف شده در واحدهای ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ به ترتیب با نسبت ۰/۰۵، ۰/۷۲۵، ۰/۲۱۹ و ۰/۰۰۵۵ متناسب کند. میانگین، انحراف معیار، بیشینه و کمینهٔ انواع کارایی بیست مزرعه گندم آبی مورد بررسی استان البرز در جدول ۶ آمده است.

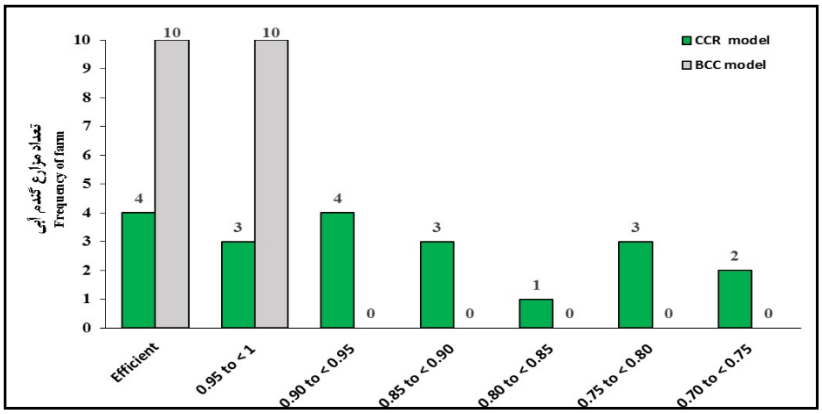
جدول ٦ – میانگین، انحراف معیار و بیشینه و کمینه انواع کارایی انرژی مزارع گندم آبی استان البرز بر اساس الگوهای CCR و BCC ورودی‌محور
Table 6- Average technical, pure and scale efficiency of irrigated wheat farmers in Alborz province.(based on CCR and BCC input oriented model)

بیشینه Maximum	کمینه Minimum	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Mean	انواع کارایی Particular
1	0.718	0.090	0.893	کاریی فنی Technical efficiency
1	0.965	0.012	0.990	کارایی فنی خالص Pure technical efficiency
1	0.731	0.084	0.901	کارایی مقیاس Scale efficiency

متوسط کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس در این مزارع بر مبنای مدل‌های CCR و BCC ورودی‌محور به ترتیب برابر با ۰/۸۹۳، ۰/۹۹۰ و ۰/۹۰۱ محاسبه شده است. کارایی فنی با مقدار ۰/۰۹ دارای بیشترین انحراف معیار است که سطح تحصیلات پایین کشاورزان و به‌کار نگرفتن روش‌های صحیح تولید از دلایل اصلی آن است. با توجه به میانگین کارایی مقیاس در جدول ۶ می‌توان گفت ۹/۹ درصد از مقادیر نهاده‌های مصرفی بدون هیچ فایده‌ای استفاده شده است که این موارد نیاز به برنامه‌ریزی بلندمدت برای کارا کردن واحدها از طریق حرکت به سمت مقیاس بهینه دارد. فتحی و همکاران (Fathi *et al.*, 2018) نیز در تحقیقات خود میانگین کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس واحدهای تولید گندم دیم را در منطقهٔ چرداول استان ایلام به ترتیب ۸۸، ۹۷ و ۹۱ درصد گزارش کردند که مشابه نتایج تحقیق حاضر است.

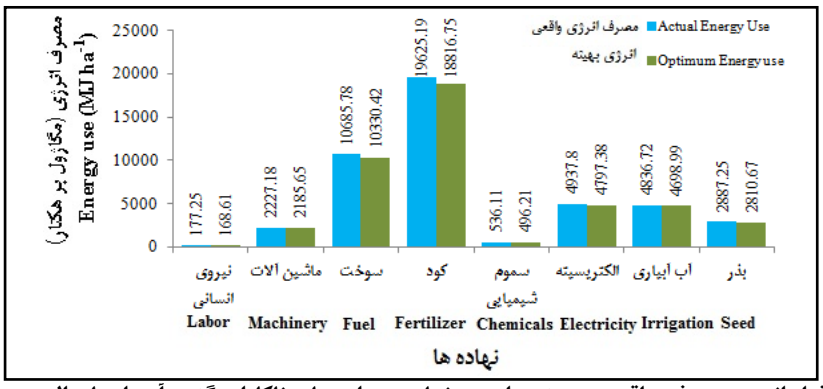
تعداد مزارع گندم آبی در سطوح مختلف کارایی بر اساس الگوهای BCC و CCR ورودی‌محور، در شکل ۲ مشخص شده است. مشاهده می‌شود که در مدل BCC، تمام ۲۰ مزرعه ولی در مدل CCR تنها ۳۵ درصد مزارع گندم دارای کارایی بالاتر از ۹۵ درصد هستند. میانگین مقدار انرژی واقعی مصرفی و انرژی هدف برای هر یک از نهاده‌های تولید گندم استان البرز در شکل ۳ نشان داده‌شده است. با مدیریت صحیح مصرف کودهای شیمیایی می‌توان مقدار انرژی مصرفی این نهاده را از ۱۹۶۲۵/۱۹ مگاژول بر هکتار به انرژی هدف ۱۸۸۱۶/۷۳ مگاژول بر هکتار کاهش و بهینه‌سازی در انرژی مصرفی کودهای شیمیایی را به ۸۰۸/۴۶ مگاژول بر هکتار رساند.

در شکل ۴، سهم صرفه‌جویی انرژی هر نهاده تولید از کل انرژی قابل صرفه‌جویی در ۱۰ واحد ناکارای گندم آبی استان البرز بر مبنای رویکرد بازده به مقیاس متغیر ورودی‌محور مشخص شده است. بیشترین سهم در کل انرژی قابل صرفه‌جویی مربوط به نهاده کود شیمیایی با ۵۰/۲ درصد و پس از آن سوخت با ۲۲/۰۶ درصد و کمترین سهم مربوط به نیروی انسانی با ۰/۵۴ درصد است. این نتایج نشان می‌دهد با مدیریت صحیح سوخت و کود شیمیایی می‌توان به‌میزان قابل توجهی در مصرف انرژی تولید گندم صرفه‌جویی کرد.



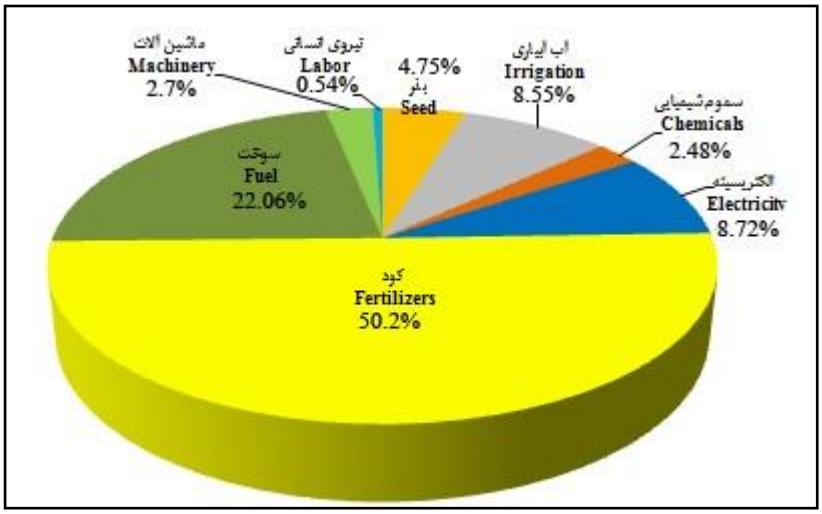
شکل ۲- تعداد مزارع گندم آبی در سطوح مختلف کارایی بر اساس الگوهای CCR , BCC ورودی‌محور

Fig. 2- Efficiency score distribution of irrigated wheat producer in Alborz province, Iran



شکل ۳- میانگین مقدار انرژی مصرفی واقعی و بهینه برای هر نهاده در واحدهای ناکارای گندم آبی استان البرز بر مبنای الگوی BCC ورودی‌محور

Fig. 3- Actual energy use and optimum energy requirenment of inefficient irrigated wheat producer in Alborz province, Iran (based on BCC input oriented model)

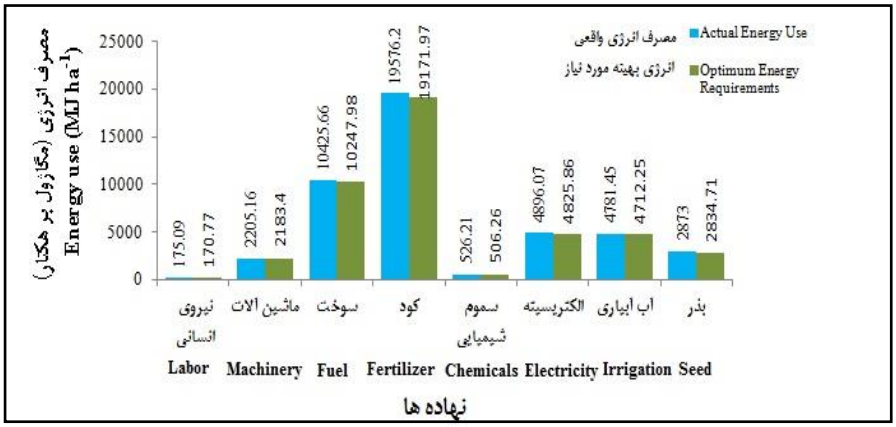


شکل ٤- سهم صرفه‌جویی انرژی هر نهاده از کل انرژی قابل ذخیره‌سازی

Fig. 4- Distribution of saving energy from different sources for irrigated wheat production

در شکل ۵، میانگین مقدار انرژی واقعی مصرفی و انرژی هدف در ۲۰ مزرعه گندم آبی مورد بررسی این تحقیق برای هر یک از نهاده‌های تولید استان البرز نشان داده‌شده است. جدول ۷، مقدار مازاد

نهـاده‌هـای ورودی را در مـزارع گنـدم مـورد بررسـی نشـان مـی‌دهـد. دیـده مـی‌شـود کـه ۱۰ مزرعـهٔ گنـدم شـمارهٔ ۱، ۵، ۶، ۱۱، ۱۲، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ کـه در مدل BCC کـارا نشـان داده‌شـده‌انـد هـیچ مـازادی در نهـادهٔ ورودی ندارنـد و در نهـادهٔ ماشـین هـیچ یـک از مـزارع گنـدم مـورد مطالعـه مـازاد در مصـرف نـدارد. ۵۰ درصـد مـزارع کـه شـامل تمـام مـزارع ناکـارا هسـتند در مصـرف سـموم شـیمیایی و ۴۵ درصـد مـزارع در استفاده از نهاده‌های نیـروی کـار و کـود شـیمیایی مـازاد مصرف دارند.



شکل۵ – میانگین مقدار انرژی مصرفی واقعی و بهینه برای هر نهاده در واحدهای گندم آبی استان البرز بر مبنای الگوی BCC ورودی‌محور
Fig. 5- Actual energy use and optimum energy requirenment of irrigated wheat producer in Alborz province, Iran (based on BCC input oriented model)

جدول ۷ – مازاد انرژی نهاده‌های مصرفی در مزارع ناکارای گندم آبی استان البرز بر مبنای مدل BCC ورودی‌محور
Table 7- Energy surplus of inputs for inefficient irrigated wheat farms in Alborz province (based on BCC input oriented model)

شماره مزرعه Farm NO.	نیروی انسانی Labor	ماشن‌آلات Machinery	سوخت Fuel	کود Fertilizer	سموم شیمیایی Chemicals	الکتریسیته Electricity	آبیاری Irrigation	بذر Seed
2	–	–	235.26	13.57	12.58	138.44	142.97	–
3	1.24	–	–	267.68	53.39	23.81	114.94	–
4	2.76	–	–	536.12	21.16	98.26	–	87.27
7	2.07	–	13.55	–	4.01	18.70	28.30	59.70
8	8.98	–	320.84	516.12	33.17	104.09	90.42	–
9	4.52	–	–	124.62	28.79	–	20.61	26.02
10	9.60	–	590.97	887.09	25.72	–	–	–
13	4.13	–	–	270.15	32.26	–	–	9.68
14	6.55	–	327.25	1018.46	22.52	27.94	4.78	–
16	10.54	–	–	466.99	55.19	–	–	0.19

در جـدول ۸، مجمـوع مقـادیر انـرژی مصـرفی واقعـی، بهینـه و میـزان انـرژی قابـل ذخیـره‌سـازی بـرای هـر یـک از واحـدهای ناکـارای گنـدم آبـی اسـتان البـرز، بـر اسـاس الگـوی BCC ورودی‌محـور آمـده اسـت. شـاخص صـرفه‌جـویی انـرژی نسـبت بـه هـدف نشـان‌دهنـدهٔ درصـد انـرژی قابـل صـرفه‌جـویی در هـر واحد ناکارا است. بـه‌عبـارت دیگـر، ایـن شـاخص درصـد مجمـوع مقـادیر انـرژی قابـل صـرفه‌جـویی نهـاده‌هـای تولیـد هـر مزرعـه گنـدم ناکـارا اسـت. واحـدهای تولیـد گندم بر اسـاس شـاخص صـرفه‌جـویی انـرژی نسـبت بـه هدف، باید نسـبت بـه تعـدیل مصـرف نهـاده‌هـای ورودی عمـل کننـد. جـدول ۸ نشـان مـی‌دهـد کـه در تولیـد گندم استان البرز بـا اسـتفادهٔ بهینـه از نهـاده‌هـای تولیـد و رسـاندن مقـادیر انـرژی مصـرفی واقعـی ورودی‌هـا بـه انـرژی مصـرفی هـدف، مـی‌تـوان ۱۶۱۰/۶۲ مگـاژول بـر هکتـار انـرژی ذخیـره و ۳/۵۱ درصـد در کـل انـرژی

مصرفی واقعی (انرژی ورودی) صرفه‌جویی کرد. مزرعهٔ گندم شمارهٔ ۱۰ بیشترین مقدار شاخص صرفه‌جویی انرژی (۶/۷۸ درصد) نسبت به هدف را دارد. در این واحد با مدیریت بهتر تولید و مصرف بهینهٔ نهاده‌ها می‌توان به صرفه‌جویی انرژی بیشتری دست یافت. در تحقیق عبدشاهی و همکاران (Abdeshahi *et al.*, 2013) به‌منظور تعیین کارایی انرژی محصول گندم در دشت مهیار شهرستان شهرضا، میانگین کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس به ترتیب ۹۰/۲۶، ۹۵/۱۴ و ۹۴/۴۳ درصد بیان شده‌است. میانگین کارایی فنی واحدهای ناکارآ بر پایهٔ مدل بازگشت به مقیاس ثابت ۸۷ درصد محاسبه شده که به این معناست با بالا بردن کارایی این واحدها ۱۳ درصد از منابع می‌تواند ذخیره شود.

جدول ۸- مقادیر انرژی مصرفی واقعی و بهینه و درصد انرژی قابل ذخیره‌سازی برای واحدهای ناکارآ براساس الگوی BCC ورودی‌محور
Table 8- The actual and target energy use for inefficient irrigated wheat farms (based on BCC input oriented model)

مزارع گندم ناکارآ Farm NO.	کارایی فنی خالص(٪) PTE(٪)	انرژی مصرفی واقعی (مگاژول بر هکتار) Actual energy input (MJ ha^{-1})	انرژی مصرفی بهینه (مگاژول بر هکتار) Optimum energy requirement (MJ ha^{-1})	انرژی قابل ذخیره‌سازی (مگاژول بر هکتار) Energy saving target(EST) (MJ ha^{-1})	شاخص صرفه‌جویی انرژی نسبت به هدف (٪) Energy saving target ratio (ESTR) (%)
2	97.91	46161.27	44653.26	1508.00	3.27
3	97.16	46585.41	44800.69	1784.72	3.83
4	99.47	46169.30	45179.14	990.17	2.14
7	99.96	45288.71	45146.39	142.32	0.31
8	98.31	44948.58	43115.12	1833.45	4.08
9	96.54	45801.97	44012.65	1789.32	3.91
10	96.50	46119.86	42992.94	3126.92	6.78
13	98.10	45975.15	44784.23	1190.92	2.59
14	98.17	45384.59	43146.78	2237.81	4.93
16	97.92	46697.91	45195.38	1502.53	3.22
مقدار متوسط Average	98.00	45913.27	44302.66	1610.62	3.51

الهامی و همکاران (Elhami *et al.*, 2017) در مطالعه‌ای به‌منظور بهینه‌سازی انرژی در تولید عدس آبی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها، مقادیر متوسط کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس را به ترتیب برابر با ۰/۹۶۰، ۰/۹۹۸ و ۰/۹۶۱ محاسبه کردند. در تحقیق آنها برای حالت مصرف بهینهٔ نهاده‌ها، صرفه‌جویی در کل انرژی ۱۰۱۳ مگاژول بر هکتار (معادل ۳/۱۲ درصد کل انرژی مصرفی) برآورد شده است.

قاسمی مبتکر و همکاران (Ghasemi-Mobtaker *et al.*, 2012) در بررسی بهینه‌سازی انرژی مصرفی تولید یونجه به‌کمک روش تحلیل پوششی داده‌ها مقادیر متوسط کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس را به ترتیب برابر با ۰/۸۴، ۰/۹۷ و ۰/۸۹ محاسبه و شاخص صرفه‌جویی انرژی نسبت به هدف را ۹/۴ درصد بیان کردند. این محققان می‌گویند با رعایت توصیه‌های تحقیق ضمن حفظ عملکرد تولید در سطح قبلی، می‌توان به‌میزان ۷۵/۹۰ گیگاژول بر هکتار در انرژی مصرفی تولید یونجه صرفه‌جویی کرد. پس از بهینه‌سازی مصرف انرژی، شاخص‌های انرژی ارتقا می‌یابد. در جدول ۹، شاخص‌های انرژی در تولید گندم آبی استان البرز پس از بهینه‌سازی انرژی نهاده‌های ورودی و صرفه‌جویی در مصرف آن نشان داده‌شده است.

قاسمی مبتکر و همکاران (Ghasemi-Mobtaker *et al.*, 2012) می‌گویند با بهینه‌سازی مصرف انرژی می‌توان میزان شاخص‌های کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی، افزوده خالص انرژی را به ترتیب ۱۰/۶، ۱۰/۴ و ۱۰/۶ درصد ارتقا داد.

جدول ۹- شاخص‌های انرژی در تولید گندم آبی استان البرز پس از بهینه‌سازی انرژی نهاده‌های ورودی

Table 9- Improvement of energy indices for irrigated wheat production

شاخص‌ها Items	واحد Unit	میانگین در شرایط موجود Present quantity	میانگین در شرایط بهینه Optimum quantity	تفاوت Difference(%)
انرژی ورودی Energy input	مگاژول بر هکتار MJ ha^{-1}	45458.84	44653.53	1.77
کارایی انرژی دانه Energy use efficiency(grain)	-	1.72	1.76	2.32
کارایی انرژی (دانه+کاه) Energy use efficiency(grain and straw)	-	3.57	3.63	1.68
افزوده خالص انرژی Net energy	مگاژول بر هکتار MJ ha^{-1}	116710.44	117515.75	0.69
بهره‌وری انرژی(دانه) Energy productivity(grain)	کیلوپرم بر مگاژول Kg MJ^{-1}	0.117	0.119	1.70
بهره‌وری انرژی(دانه وکاه) Energy Productivity(grain and straw)	مگاژول بر هکتار Kg MJ^{-1}	0.264	0.269	1.89
انرژی مستقیم Direct energy	مگاژول بر هکتار MJ ha^{-1}	20278.27	19957.19	1.58
انرژی غیرمستقیم Indirect energy	مگاژول بر هکتار MJ ha^{-1}	25180.57	24696.33	1.92
انرژی تجدیدپذیر Renewable energy	مگاژول بر هکتار MJ ha^{-1}	12725.61	12543.92	1.42
انرژی تجدید ناپذیر Non-renewable energy	مگاژول بر هکتار MJ ha^{-1}	32733.23	32109.61	1.90

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان می‌دهد با مقدار کارایی انرژی ۳/۵۷ و مثبت بودن شاخص افزوده خالص انرژی (۱۱۶۷۱۰/۴۴ مگاژول بر هکتار)، تولید گندم در استان البرز توجیه‌پذیر است. بیشترین سهم از کل انرژی مصرفی در تولید گندم به ترتیب به نهاده‌های کودشیمیایی و سوخت با ۴۳/۰۶ و ۲۲/۹۳ درصد تعلق دارد. برای کاهش انرژی مصرفی کود شیمیایی و سوخت باید مصرف این نهاده‌ها را بهینه کرد. با جایگزینی کودهای آلی و کاهش مصرف کودهای شیمیایی می‌توان سهم انرژی مستقیم و انرژی تجدیدپذیر را از کل انرژی مصرفی تولید گندم افزایش داد و در جهت کشاورزی حفاظتی و پایداری تولید عمل کرد. به‌منظور کاهش مصرف سوخت باید عملیات ماشینی به‌ویژه عملیات تهیهٔ زمین را به حداقل رساند. با استفاده از روش‌های کم‌خاک‌ورزی در آماده‌سازی زمین، به‌کارگیری ماشین‌های کمبینات و ماشین با ظرفیت مزرعه بهینه و سرویس و نگهداری مناسب ماشین‌ها و ادوات کشاورزی می‌توان سوخت مصرفی را کاهش داد. در این مطالعه، برای تجزیه و تحلیل کارایی مزارع تولید گندم استان البرز از روش غیرپارامتری تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شد. از ۲۰ مزرعهٔ مورد مطالعه، در مدل بازده به مقیاس ثابت ۲۰ درصد و در مدل بازده به مقیاس متغیر ۵۰ درصد کشاورزان کارا هستند. متوسط کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس در این مزارع بر مبنای مدل‌های CCR و BCC ورودی‌محور به ترتیب برابر با ۰/۸۹۳، ۰/۹۹۰ و ۰/۹۰۱ محاسبه شده است. بیشترین سهم نهاده‌ها ازکل انرژی قابل صرفه‌جویی مربوط به نهادهٔ کود شیمیایی (۵۰/۲ درصد) و سوخت (۲۲/۰۶ درصد) به دست آمد. دلیل عمده ناکارایی در مزارع گندم، مدیریت نادرست نهاده‌های تولید و روش‌های نامناسب تهیهٔ زمین است. با استفادهٔ بهینه از نهاده‌های تولید و رساندن مقادیر انرژی مصرفی

واقعی ورودی‌ها به انرژی مصرفی هدف، می‌توان با حفظ میزان تولید، ۱۶۱۰/۶۲ مگاژول در هکتار و ۳/۵۱ درصد در کل انرژی مصرفی واقعی (انرژی ورودی) صرفه‌جویی کرد. با بهینه‌سازی مصرف انرژی مقدار شاخص کارایی انرژی به ۳/۶۶ ارتقا می‌یابد.

مراجع

Abdeshahi, A., Taki, M., Golabi, M. R., & Haddad, M. (2013). Investiging on the energy efficiency of wheat crop by Dea (A case of Mahyar plain Shahreza- Iran). *Agricultural Economics, 7* (4), p. 57-74. (in Persian)

Abdi, R., Zarei-Shahamat, E., Hematian, A., & Ghasemi-Mobtaker, H. (2013). Optimization of energy required for wheat production in Kermanshah province of Iran. *International Journal of Agriculture: Research and Review. 3*(2), p. 414-422.

Ajabshirchi, Y., Taki, M., Abdi, R., Ghobadifar, A., & Ranjbar, A. (2011). Analysis of energy efficiency consumption by cultivating wheat using data envelopment analysis (DEA): Case study Silakhor plain. *Journal of Agricultural Machinery Engineering, 1*(2), p. 122-132. (in Persian)

Alam, M. S., Alam, M. R., & Islam, K. K. (2005). Energy flow in agriculture Bangladesh. *American Journal of Environmental Sciences, 1*(3), p. 213-220.

Almassi, M., Kiani, Sh., & Lovimi, N. (2008). *Fundamentals of Agricultural Mechanization*. Fourth Edition. Jangal Publication. Tehran. (in Persian)

Amid, S., Mesri-Gundoshmian, T., Shahgholi, Gh., & Rafiei, S. (2016). Energy use pattern and optimization of energy required for broiler production, using data envelopment analysis. *Information Technology in Agriculture, 3*(2), p. 83-91.

Anon. 2017. *Statistics Reports of Agriculture*. Vol. 1. Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. Department of Planning and Economy. Statistics and Information Technology Office. Available from: http://dpe.agri-jahad.ir/portal/Home/ Default. (in Persian)

Avkiran, N. K. (2001). Investigating technical and scale efficiencies of Australian universities through data envelopment analysis. *Socio-Economic Planning Sciences, 35*(1), p. 57-80.

Bames, A. (2006). Does multi-functionality affect technical efficiency? A non-parametric analysis of the Scottish dairy industry. *Journal of Environmental Management, 80*(4), p. 287-294.

Banker, R., Charnes, A., & Cooper, W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science, 30*(9), p. 1078-1092.

Burhan, O., Akcaoz, H., & Cemal, F. (2004). Energy input-output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy, 29*(1), p. 39-51.

Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I., & Ozmerzi, A. (2005). Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya region, Turkey. *Energy Conversion and Management, 46*(4), p. 655-666.

Charnes, A., Cooper, W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research, 2*(6), p. 429-444.

Cochran, W. G. 1997. *Sampling Techniques*. Third Edition. John Wiley & Sons, New York.

Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2007). *Data Envelopment Analysis, A Comprehensive Text with Models, Application, References and DEA-Solver Software*. 2nd Edition. Springer, New York, US.

Darlington, D. 1997. What is efficient agriculture? Available at: http:// www. veganorganic.net/agri.htm.

Elhami, B., Akram, A., & Khanali, M. (2017). Optimization of energy consumption and mitigation of greenhouses gas emissions of irrigated lentil production using data envelopment analysis. *Iranian Journal of Biosystems engineering, 47*(4), p. 701-710. (in Persian)

Erdal, G., Esengün, K., Erdal, H., & Gündüz, O. (2007). Energy use and economical analysis of sugarbeet production in Tokat Province of Turkey. *Energy, 32*(1), p. 35-41.

Esengun, K., Gunduz, O., & Erdal, G. (2007). Input– output energy analysis in dry apricot production of Turkey. *Energy Conversion and Management, 48*(2), p. 592-598.

Fathi. R., Amjadpor, F., Kouchakzadeh, A., & Azizpanah, A. (2018). The pattern and efficiency of energy use for wheat production by data envelopment analysis, case study: Chardavol Township, Ilam Province. *Iranian Journal of Dryland Agriculture, 7*(1), p. 33-46. (in Persian)

Ghahdarijani, M. (2007). Determination of energy consumption of wheat germinated wheat in different levels of cultivation in West of Isfahan (Friedan and Fereydoun Shahr) (M. Sc. Thesis). University of Tehran, Tehran, Iran. (in Persian)

Ghahdarijani, M., Keyhani, A. R., Tabatabaeefar, A., & Omid, M. (2009). Evaluation and determination of energy consumption for potato production in various levels of cultivated areas in Isfahan province of Iran (Case study: western of Isfahan province). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 16*(1), p. 183-195. (in Persian)

Ghasemi-Mobtaker, H. G., Keyhani, A., Mohammadi, A., Rafiee, S., & Akram, A. (2010). Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. *Agriculture, Ecosystems and. Environment. 137*(3-4), p. 367-372.

Ghasemi-Mobtaker, H., Akram, A., Keyhani, A., & Mohammadi, A. (2012). Optimization of energy required for alfalfa production using data envelopment analysis approach. *Energy for Sustainable Development, 16*, p. 242-248.

Ghojabeige, F., Omid, M., Ahmadi, H., & Delshad, D. (2009). *Evaluation and development of efficient usage of energy recourses in cucumber production in green houses in province of Tehran, by using data envelopment analysis. 6th National Conference of Mechanic and Mechanization of Agricultural Machinery*. University of Tehran, Tehran, Iran.

Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorramdel, S., Teimouri, M., & Aghel, H. (2011). A case Study of energy use and economical analysis of irrigated and dryland wheat production systems. *Applied Energy, 88*(1), p. 283-288.

Hu, J. L., & Kao, C. H. 2007. Efficient energy-saving targets for APEC economies. *Energy Policy, 35*(1), p. 373-82.

Kitani, O. (1999). *CIGR Handbook of Agricultural Engineering*, Vol. 5. Energy and Biomass Engineering. ASAE publication, St Joseph, MI.

Koocheki, A. (1994). *Agriculture and Energy (Ecological Attitudes)*. Ferdowsi University Press, Mashhad, Iran. (in Persian)

Koocheki, A., & Hosseini, M. R. (1994). *Energy Efficiency in Agro Ecosystems*. University Press of Mashhad. (in Persian)

Manafi-Dastjerd, M., & Lari, A. (2017). Evaluation and comparison of energy indices within wheat farms in townships of Alborz province. *Iranian Journal of Biosystems Engineering, 47*(4), p. 771-779. (in Persian)

Mandal, K. G., Saha, K. P., Ghosh, P. K., Hati, K. M., & Bandyopadhyay, K. K. (2002). Bioenergy and economic analysis of soybean based crop production systems in central India. *Biomass Bioenergy, 23*(5), p. 337-345.

Mehrabi-Boshrabadi, H., & Ismaili, A. (2010). Analysis energy output-input in the agricultural sector of Iran. *Journal of Agricultural and Development Economics, 19*(74), p. 1-28. (in Persian)

Mohammadi, S., Maysami, M. A., & Ajabshirchi, Y. (2017). Energy consumption patterns of irrigated wheat production in Iran. *Journal of Agricultural Mechanization, 3*(2), p. 33-41. (in Persian)

Molaei, K., Keyhani, A., Karimi, M., Kheir-Alipour, K., & Ghasemi, M. (2009). Energy ratio in rainfed wheat: Case study of Eghlid region. *Iranian Journal of Agricultural Science, 39*(1), p. 13-19. (in Persian)

Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, S., Jafari, A., & Mohammadi, A. (2011). Optimization of energy consumption for soybean production using Data Envelopment Analysis (DEA) approach. *Applied Energy, 88*(11), p. 3756-3772.

Naderloo, L., Alimardani, R., Omid, M., Sarmadian, F., Javadikia, P., Torabi, M. Y., & Alimardani, F. (2012). Application of ANFIS to predict crop yield based on different energy inputs. *Measurement, 45*(6), p. 1406-1413.

Nassiri, S. M., & Singh, S. (2009). Study on energy use efficiency for paddy crop using data envelopment analysis (DEA) technique. *Applied Energy, 86*(7-8), p. 1320-1325.

Ozkan, B., Akcaoz, H., & Fert, C. (2004). Energy input output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy. 29*(1), p. 39-51.

Rahman, S., & Hasan, M. K. (2014). Energy Productivity and efficiency of wheat farming in Bangladesh. *Energy, 66*, p. 107-114.

Sarica, K., & Or, I. (2007). Efficiency assessment of Turkish power plants using data envelopment analysis. *Energy, 32*(8), p. 1484-99.

Shahin, S., Jafari, A., Mobli, H., Rafiee, S., & Karimi, M. (2008). Energy use and economical analysis of wheat production in Iran: A case study from Ardabil province. *Journal of Agricultural Technology, 4*(1), p. 77-88.

Singh, H., Mishra, D., & Nahar, N. M. (2002). Energy use pattern in production agriculture of a typical village in arid zone, India part I. *Energy Conversion and Management. 43*(16), p. 2275-2286.

Taheri-Asl, A., & Sadeghi, A. (2011). *Requirements and solutions to optimize energy consumption in the agricultural sector. 8th National Conference on Energy*. Tehran, Islamic Republic of Iran's National Energy Committee. (in Persian)

Vahedi, A., & Younesi-Alamooti, M. (2017). Determining energy indices of broiler units in the province of Alborz. *Agricultural Mechanization and Systems Research, 17*(67), p. 41-54. (in Persian)

Yilmaz, I., Akcaoz, H., & Ozkan, B. (2005). An analysis of energy use and input costs for cotton productionin Turkey. *Renewable Energy, 30*(2), p. 145-155.

Agricultural Mechanization and Systems Research/Vol.20/No.73/Autumn & Winter 2020/P: 173-192

An Analysis and Optimization of Energy Consumption for Irrigated Wheat Production Using Data Envelopment Approach (Case Study in Alborz Province)

A. Vahedi*

* Corresponding Author: Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: vahedi_adel@yahoo.com
Received: 16 April 2019, Accepted: 3 July 2019

Abstract

Wheat as strategic product, has the highest area of cultivation and crop production in Iran. In this study energy use pattern for irrigated wheat production in Alborz province of Iran was studied and the score of technical and scale efficiency of producers were analyzed using a non-parametric data envelopment analysis (DEA) technique for discriminate efficient farmers from inefficient ones. The study also helped to identify the wasteful uses of energy by inefficient farmers and to suggest reasonable savings in energy uses from different inputs. Further, the effect of optimization of energy on energy ratio and energy productivity was investigated. Primary data were obtained through field survey and personal interviews using questionnaires from 20 randomly selected irrigated wheat farms from Alborz province, the one of important center of wheat production in Iran. Secondary data and energy equivalents were obtained from available literature using collected data of the production period of 2017–2018. The inputs were human labor, diesel, machinery, fertilizers and chemicals, water for irrigation, seeds and electrical energies; while the yield value of wheat was considered as output. The results revealed that, the total input energy, output energy, energy use efficiency, energy productivity, net energy were 45458.84 $MJ.ha^{-1}$, 162169.28 $MJ.ha^{-1}$, 3.57, 0.27 $kg.MJ^{-1}$ and 116710.44 $MJ.ha^{-1}$, respectively. It was disclosed that the greatest shares of input energy with 43.06% (19576.2 $MJ.ha^{-1}$) corresponded to the fertilizers. The production of wheat in the province of Alborz is reasonable because of the positive amount of net energy index. About 20% of farmers were found to be technically efficient. Based on input-oriented CRS and VRS models of DEA, the average values of technical efficiency, pure technical efficiency and scale efficiency were found to be 0.893, 0.990 and 0.901, respectively**.** The results also suggested that, on average, about 3.51% (1610.62 $MJ.ha^{-1}$) of the total input energy could be saved without reducing the wheat yield from its present level provided that all farmers operated efficiently by adopting the recommendations based on the present study.

Keywords: Energy Indices, Energy Saving, Input, Output, Technical Efficiency