



دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات

دوره هفتم / شماره اول / بهار ۱۳۹۶ (۶۶-۵۱)

بررسی کارایی مصرف انرژی ارقام مختلف برنج دانه بلند در استان گلستان

علیرضا طاهری راد^۱، مهدی خجسته پور^{۲*}، عباس روحانی^۳ و سرور خرم دل^۴

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۲/۳۰

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۵/۲۶

چکیده

هدف از این پژوهش تحلیل میزان مصرف نهاده‌ها، تولید ستانده و بررسی کارایی فنی در اراضی شالی کاری استان گلستان با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها است. اطلاعات لازم از طریق پرسش‌نامه و مصاحبه حضوری با ۱۷۳ شالی‌کار گلستانی به روش نمونه‌برداری تصادفی ساده در سال ۱۳۹۲ جمع‌آوری شد. نهاده‌های مورد بررسی شامل نیروی کارگری، ماشین‌ها، سوخت دیزل، بذر، سموم شیمیایی، کودهای شیمیایی، کود آلی و الکتریسیته بودند. نتایج نشان داد که مجموع مصرف انرژی در مزارع برای تولید شلتوک برنج ۹۹۰۶۰/۱ مگاژول بر هکتار بود، به طوری که میانگین کل انرژی ورودی به مزارع شالی برای تولید برنج دانه بلند پرمحصول ۱۰۸۳۹۲/۱ مگاژول بر هکتار و در تولید برنج دانه بلند مرغوب ۸۹۸۳۵/۳ مگاژول بر هکتار برآورد شد. نهاده سوخت دیزل با ۳۸/۷ درصد از کل انرژی ورودی به مزارع شالی به‌عنوان پرمصرف‌ترین نهاده انرژی در تولید شلتوک برنج بود. پس از سوخت دیزل، بیش‌ترین سهم از کل انرژی ورودی در تولید شلتوک برنج مربوط به نهاده‌های الکتریسیته و ماشین‌ها به ترتیب با ۲۹/۳ و ۱۹/۲ درصد بودند. میانگین کارایی فنی کشاورزان شالی‌کار برنج دانه بلند مرغوب و برنج دانه بلند پرمحصول بر مبنای رویکرد نهاده‌محور و بازده متغیر نسبت به مقیاس در تحلیل پوششی داده‌ها به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۹۴ بود. نتایج به‌دست آمده از بهینه‌سازی انرژی در این تحقیق نشان داد که می‌توان در حدود ۱۴ درصد از کل انرژی ورودی در تولید برنج دانه بلند مرغوب و ۱۸/۱۶ درصد از کل انرژی ورودی در تولید برنج دانه بلند پرمحصول را بدون هیچ کاهش در میزان عملکرد، ذخیره کرد. نهاده انرژی الکتریسیته نیز بیش‌ترین سهم از کل انرژی ذخیره‌شده را به خود اختصاص داد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، تحلیل پوششی، کارایی مقیاس، مجموعه مرجع، واحدهای تصمیم‌گیری

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

* نویسنده مسئول: mkhpour@um.ac.ir

مقدمه

از دهه ۱۹۷۰ میلادی با آغاز بحران انرژی در دنیا، در زمینه مصرف انرژی تحقیقات زیادی آغاز شد. بخش کشاورزی به‌عنوان مهم‌ترین بخش تولید کننده غذا، قسمت قابل‌توجهی از انرژی را مورد استفاده قرار می‌دهد، به‌طوری که کشاورزی در ایران بطور متوسط در حدود ۱۳ درصد از مصرف گازوئیل را به‌خود اختصاص داده است (Energy Balancesheet, 2011). به‌منظور رسیدن به توسعه پایدار کشت یک محصول توجه به سیر و جریان انرژی‌های ورودی و خروجی در تولید آن محصول وجود دارد، چرا که استفاده مؤثر از انرژی در کشاورزی باعث توسعه کشاورزی پایدار می‌شود (Hatirli et al., 2005). در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰، سطح انواع واریته‌های شلتوک در کشور حدود ۵۹۰ هزار هکتار برآورد شده که معادل ۴/۶ درصد کل سطح برداشت محصولات زراعی و ۶/۵ درصد از کل سطح برداشت غلات می‌باشد (Jihad-e-Agriculture, 2012). برنج یک گیاه تک‌لپه‌ی دیپلوئید است که به جنس *Oryzae* تعلق دارد. حداقل ۲۰ گونه‌ی شناخته شده از برنج شامل گونه‌های زراعی *Oryzae sativa* L (آسیایی) و *Oryzae glaberrima* Steud. (آفریقایی) وجود دارد (Pirdashti et al., 2006). انواع برنج‌های زراعی ایران از گونه *O. sativa* می‌باشد که برای ادامه رشد به آب زیادی نیاز دارند (Zamani and Alizadeh, 2009). در مورد طبقه‌بندی برنج تحقیقات وسیعی صورت گرفته است که بر اساس طبقه‌بندی برنج‌های ایران از نظر مشخصات ظاهری به انواع برنج‌های دانه‌بلند، دانه‌متوسط، دانه‌کوتاه و ارقام پرمحصول (شامل انواع دانه‌بلند پرمحصول، دانه‌متوسط پرمحصول و دانه‌کوتاه پرمحصول) دسته‌بندی شده‌اند (Zamani and Alizadeh, 2009). بررسی ارقام کشت شده در استان گلستان نشان داد که غالب رقم‌های کشت شده شامل ارقام برنج دانه‌بلند (مرغوب) و ارقام برنج دانه‌بلند پرمحصول می‌باشد.

تحلیل پوششی داده‌ها (Data Envelopment Analysis=DEA) یک روش برنامه‌ریزی کمی جهت اندازه‌گیری عملکرد نسبی با تعیین کارایی نسبی گروهی از واحدهای تصمیم‌گیری با توجه به نهاده‌ها و ستانده‌های مختلف می‌باشد (Ajabshirchi et al., 2011). مهم‌ترین علت موفقیت این روش به‌عنوان یک ابزار کمی ویژگی غیر پارامتری بودن آن است و اندازه‌گیری کارایی به‌دلیل

اهمیت آن در ارزیابی عملکرد یک سازمان مورد توجه محققین قرار داشته است. در مورد تحقیقات انجام شده در زمینه انرژی محصولات کشاورزی با استفاده از روش DEA می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد. تاکی و همکاران (Taki et al., 2012) کارایی انرژی خیار گلخانه‌ای در شهرضا را با رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه که بر مبنای رویکرد نهاده محور صورت گرفت انرژی مربوط به سوخت مصرفی، بذر، کود، نیروی کارگری، ماشین‌ها، آب‌مصرفی و سموم شیمیایی به عنوان نهاده و انرژی محصول به عنوان ستانده در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که سوخت دیزل با ۴۷ درصد از سهم انرژی ورودی بیش‌ترین سهم و آب مصرفی با ۱/۲ درصد، کم‌ترین سهم مصرف انرژی را به خود اختصاص دادند. نتایج استفاده از تحلیل پوششی داده‌های انرژی نشان داد که در مدل بازده ثابت نسبت به مقیاس ۲۴ درصد واحدها و در مدل بازده متغیر نسبت به مقیاس ۳۶ درصد واحدها کارایی صد در صد داشتند و بقیه واحدها به درجات مختلفی ناکارا محسوب می‌شدند (Banker et al., 1984). همچنین کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس به‌ترتیب ۹۰/۳۷، ۹۵/۰۹ و ۹۴/۶ درصد برآورد شد.

موسوی‌اول و همکاران (Mousavi-Avval et al., 2011b) در بررسی بهینه‌سازی مصرف انرژی در تولید سویا در استان گلستان از روش تحلیل پوششی داده‌ها بر اساس پارامترهای ورودی شامل انرژی نیروی انسانی، سوخت دیزل، ماشین‌ها، کودهای شیمیایی، مواد شیمیایی، آب‌آبیاری، الکتریسیته و بذر استفاده کردند. خروجی نیز عملکرد بذر در نظر گرفته شد. میانگین انرژی مصرفی در هر هکتار ۳۵۳۷۲/۲۳ مگاژول گزارش شد. همچنین، نتایج حاصل از روش تحلیل پوششی داده‌ها با توجه به نتایج مدل‌های BCC و CCR با رویکرد نهاده محور نشان داد که کارایی فنی، فنی خالص و مقیاس کشاورزان به‌ترتیب ۰/۸۵۳، ۰/۹۱۹ و ۰/۹۲۶ بود و بدون هیچگونه کاهشی در میزان عملکرد محصول، حدود ۲۰/۱۲ درصد از کل انرژی ورودی یعنی ۷۱۱۸/۸۴ مگاژول بر هکتار می‌تواند ذخیره شود. همچنین، انرژی الکتریسیته با ۷۸/۰۸ درصد بالاترین سهم از کل انرژی قابل صرفه‌جویی را دارا بود. چوهان و همکاران (Chauhan et al., 2006) بهبود بهره‌وری مصرف انرژی در تولید شلتوک در مناطق آبرفتی ایالت بنگال غربی در

خروجی در نظر گرفته شد. میانگین کارایی فنی، فنی خالص و مقیاس به ترتیب ۰/۷۹، ۰/۹۸ و ۰/۸۱ به دست آمد. همچنین، آن‌ها گزارش کردند که ۱۹/۸۰ درصد از کل انرژی مصرفی در تولید برنج قابل ذخیره است. تحقیقات دیگری نیز با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها در تولید محصولات کشاورزی صورت گرفته است، از جمله؛ بررسی کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس برای تولید توت فرنگی در زمین زراعی و گلخانه در استان گیلان (Khoshnevisan et al., 2014). مطالعه کارایی انرژی مصرفی در کشت گندم دیم در دشت سیلاخور (Ajabshirchi et al., 2011)، بررسی روش بهبود کارایی انرژی و کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید گندم در استان اصفهان (Khoshnevisan et al., 2013)، بهینه‌سازی انرژی مورد نیاز تولید یونجه در استان همدان (Mobtaker et al., 2012) و بهینه‌سازی مصرف انرژی و هزینه‌های ورودی برای تولید سیب در ایران (Mousavi-Avval et al., 2011a).

با توجه به بحران انرژی و لزوم بهینه‌سازی مصرف انرژی در سامانه‌های تولید محصولات کشاورزی و عدم انجام مطالعه‌های جامع روی میزان مصرف نهاده‌ها، میزان تولید ستانده‌ها و بررسی کارایی کشاورزان، این تحقیق انجام شد که هدف از آن، تحلیل میزان مصرف نهاده‌ها و میزان تولید ستانده‌ها در تولید شلتوک برنج در مزارع شالی استان گلستان به تفکیک ارقام برنج دانه‌بلند مرغوب و ارقام برنج دانه‌بلند پر محصول، بررسی کارایی هر یک از کشاورزان به عنوان واحدهای تصمیم‌گیری مجزا با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و سپس رتبه‌بندی واحدهایی که به‌طور نسبی دارای کارایی واحد شده‌اند، مقایسه میانگین مصرف هر یک از نهاده‌ها و نیز تفاوت در میزان تولید محصول بین کشاورزان کارا و ناکارا، تعیین میزان استفاده بی‌رویه از نهاده‌های مختلف انرژی در واحدهای ناکارا و در نهایت تعیین مقدار انرژی بهینه مورد نیاز در هر یک از نهاده‌های مصرفی بودند.

مواد و روش‌ها

سطح زیرکشت محصولات زراعی در کشور در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در حدود ۱۲/۷۴ میلیون هکتار بود که ۶۹۹۱۳۲ هکتار آن مربوط به استان گلستان بود (Jihad-e-Agriculture, 2012). استان گلستان با ۹/۷ درصد از کل سطح برداشت اراضی شالی‌کاری کشور رتبه چهارم را

هند را با توجه به کارایی واحدهای مختلف با استفاده از روش DEA و با توجه به نتایج مدل‌های BCC و CCR نهاده‌محور، بررسی کردند. در این مطالعه پارامترهای ورودی شامل انرژی مصرفی نهاده‌های نیروی کارگری، ماشین‌ها، سوخت دیزل، بذر، کود آلی و کودهای شیمیایی و میزان عملکرد محصول به‌عنوان خروجی مورد بررسی قرار گرفتند. آن‌ها گزارش کردند که ۱۱/۶ درصد از کل انرژی مصرفی در تولید برنج بدون هیچ‌گونه کاهشی در عملکرد محصول در صورت استفاده کشاورزان از پیشنهادات ارائه شده در تحقیق قابل ذخیره است. آن‌ها پیشنهاد کردند که استفاده بهتر از انرژی مصرفی در مرحله خاک‌ورزی و اصلاحات ابتدایی در ماشین‌ها می‌تواند کارایی انرژی را در منطقه بهبود بخشد. همچنین آن‌ها بیان کردند استفاده بهتر از قدرت تیلر و ماشین‌ها بازده مصرف انرژی و به‌دنبال آن بهره‌وری انرژی را در تولید برنج بهبود می‌بخشد.

نصیری و سینگ (Nassiri and Singh, 2009) در یک تحلیل غیر پارامتری با استفاده از مدل‌های BCC و CCR با رویکرد نهاده محور در روش DEA، کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس کشاورزان تولید کننده برنج در هند را از لحاظ میزان مصرف انرژی بررسی کردند. در این مطالعه میزان انرژی مصرفی نیروی انسانی، سوخت دیزل، الکتریسیته، ماشین، بذر، کودهای شیمیایی و مواد شیمیایی به عنوان نهاده‌ها و عملکرد به عنوان ستانده در نظر گرفته شد. آن‌ها در این مطالعه کارایی کشاورزان را از لحاظ مصرف انرژی برای تولید برنج در ۵ اندازه مختلف مزرعه و در ۴ منطقه اقلیمی متفاوت بررسی کردند و کارایی فنی، فنی خالص و مقیاس را برای منطقه دو که نسبت به مناطق دیگر بیش‌تر بود به ترتیب ۰/۸۸، ۰/۹۱ و ۰/۹۶ گزارش کردند. همچنین از کل تعداد ۳۶۳ کشاورز مورد بررسی در منطقه ۲۶ نفر در مدل BCC و ۱۳ نفر در مدل CCR کارا بودند. در مطالعه دیگری برای بهبود کارایی انرژی و کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید برنج در استان گیلان بر مبنای رویکرد نهاده محور و بازده متغیر نسبت به مقیاس و بازده ثابت نسبت به مقیاس در تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شد (Nabavi-Pelesaraei et al., 2014). در این مطالعه پارامترهای ورودی شامل انرژی مصرفی نهاده‌های نیروی کارگری، ماشین‌ها، سوخت دیزل، بذر، کود آلی، مواد شیمیایی، الکتریسیته و کودهای شیمیایی و عملکرد برنج به‌عنوان

DEA یک روش برنامه‌ریزی ریاضی برای تخمین توابع تولید و ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده‌ای (Decision Making Unit) است که چندین ورودی و خروجی دارند. در این روش هر واحد تصمیم‌گیری در مقایسه با دیگر واحدها بررسی می‌شود و به‌همین خاطر امتیاز کارایی یک واحد تصمیم‌گیری یک امتیاز نسبی است (Saiedi, 2014). کارایی نشان می‌دهد که یک واحد تصمیم‌گیری تا چه میزان از نهاده‌ها به‌طور بهینه در جهت تولید ستانده‌ها استفاده کرده است. با توجه به اینکه متغیرهای بسیاری در عملکرد هر واحد تحت ارزیابی مؤثر است، از این‌رو کارایی نیز انواع مختلفی خواهد داشت. تحلیل پوششی داده‌ها قادر به محاسبه سه نوع کارایی شامل کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس است. هر چه یک واحد بتواند با مصرف ورودی کمتر خروجی بیش‌تری را تولید کند، کارا تر است. در این مطالعه از دو الگوی CCR و BCC نهاده محور که دو رویکرد الگوهای DEA هستند، برای محاسبه کارایی استفاده شد (رابطه‌های ۱ و ۲):

$$\begin{aligned} \text{Max } E_p &= \sum_{r=1}^{r=s} U_r Y_{rp} \\ \sum_{t=1}^{t=m} V_t X_{tp} & \\ \sum_{r=1}^{r=s} U_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^{i=m} V_i X_{ij} &\leq 0 \\ j=1,2,\dots,n, V_i &\geq \varepsilon, U_r \geq \varepsilon \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Max } E_p &= \sum_{r=1}^{r=s} U_r Y_{rp} + w \\ \sum_{t=1}^{t=m} V_t X_{tp} & \\ \sum_{r=1}^{r=s} U_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^{i=m} V_i X_{ij} + w &\leq 0 \\ j=1,2,\dots,n, V_i &\geq \varepsilon, U_r \geq \varepsilon, w \text{ free} \end{aligned} \quad (2)$$

که در آن‌ها، E_p نرخ کارایی واحد i ام، U_r وزن ورودی‌ها، Y_{rp} مقدار خروجی r ام برای i ام DMU، V_i وزن ورودی‌ها، X_{ip} مقدار ورودی i ام برای p ام DMU، Y_{rj} مقدار خروجی r ام برای j ام DMU، X_{ij} مقدار ورودی i ام برای j ام DMU، $j=1,2,\dots,n$ خروجی‌ها و m تعداد ورودی‌ها می‌باشند (Banker et al., 1984).

داراست و پنج استان مازندران، گیلان، خوزستان، گلستان و فارس جمعاً ۹۳/۱ درصد از اراضی برنج‌خیز کشور را به خود اختصاص داده‌اند (Jihad-e-Agriculture, 2012). طبق آمار جهاد کشاورزی استان گلستان شهرستان‌های علی‌آباد، کردکوی، گرگان و گنبد با تولید بیش از نیمی از تولید شلتوک استان گلستان از مناطق مهم تولید شلتوک هستند و از این‌رو این شهرستان‌ها به‌عنوان مناطق مورد مطالعه در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در نظر گرفته شدند. جمع‌آوری اطلاعات با روش‌های مختلف از جمله پرسش‌نامه، مطالعه اسنادی و کتابخانه‌ای و همچنین مصاحبه انجام شد. پس از طراحی پرسش‌نامه‌ها با توجه به نقطه نظرات کارشناسان جهاد کشاورزی و تعدادی از کشاورزان منطقه و تکمیل آن‌ها توسط کشاورزان مختلف در مناطق مختلف، داده‌ها جمع‌آوری شده و مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای بررسی قابلیت پایایی پرسش‌نامه از ضریب آلفای کرونباخ و نیز برای سنجش میزان اعتبار ابزار اندازه‌گیری از روش روایی محتوایی استفاده شد. به‌علت گسترده بودن جامعه آماری مورد مطالعه در این پژوهش، نمونه‌برداری مناطق با روش نمونه‌برداری تصادفی ساده انجام شد که در این روش نمونه‌گیری، احتمال انتخاب در هر مرحله برای کلیه واحدهای جامعه یکسان است. همچنین، به‌منظور تعیین اندازه نمونه مورد مطالعه از فرمول پیشنهادی اسنکدر و کوکران (Snedecor, and Cochran, 1989) استفاده و بر این اساس تعداد افراد نمونه ۱۷۳ نفر تعیین شد.

نهاده‌های ورودی به سامانه تولید شلتوک برنج در منطقه مورد مطالعه شامل نیروی کارگری (ساعات کار کارکرد به تفکیک مرد و زن)، ماشین‌ها (ادوات آماده‌سازی زمین، کاشت، داشت و برداشت)، سوخت دیزل، بذر، سموم شیمیایی (علف‌کش، قارچ‌کش و حشره‌کش)، کودهای شیمیایی (نیترژن، فسفات، پتاسیم، گوگرد، روی و ریزمغذی‌ها)، کود آلی و الکتریسیته بود. ستانده‌ها نیز در سامانه تولید کاه و شلتوک برنج می‌باشد. برای تعیین میزان انرژی معادل ورودی‌ها و خروجی‌های سامانه تولید مطابق جدول ۱ از ضرایب انرژی متناظر برای هر یک از نهاده‌های ورودی و خروجی مختلف به‌کار گرفته شد. بنابراین با ضرب کردن این اعداد در مقادیری که برای هر یک از نهاده‌های مصرفی در این مطالعه به‌دست آمده است و نیز میزان عملکرد هر مزرعه، مقدار انرژی موجود برای هر کدام از نهاده‌ها و عملکرد محاسبه شد.

آمده سعی شده تا درجه کارایی برای هر یک از واحد تصمیم‌گیری به صورت مجزا تعیین شده و کشاورزان بر اساس کارایی رتبه‌بندی و از لحاظ مقدار نهاده مصرفی با یکدیگر مورد مقایسه قرار گیرند. میزان انرژی بهینه، انرژی قابل‌ذخیره و درصد انرژی قابل‌ذخیره از انرژی مصرفی نیز تعیین شد. برای محاسبه کارایی و تحلیل داده‌ها از نرم-افزار Froniter Analyst 4 استفاده شد.

نتایج و بحث

میانگین انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در یک هکتار مزارع شلتوک برنج در استان گلستان به تفکیک تولید شلتوک برنج دانه بلند مرغوب و شلتوک برنج دانه بلند پر محصول و همچنین کل شلتوک برنج تولیدی در منطقه در جدول ۲ ارایه شده است. طبق نتایج به‌دست آمده میزان میانگین انرژی ورودی به مزرعه برای تولید شلتوک برنج در کل منطقه مورد مطالعه ۹۹۰۶۰/۱ مگاژول بر هکتار می‌باشد. همچنین میانگین کل انرژی ورودی به مزارع شالی برای تولید برنج دانه‌بلند پر محصول و دانه‌بلند مرغوب به ترتیب ۱۰۸۳۹۲/۱ و ۸۹۸۳۵/۳ مگاژول بر هکتار برآورد شد. بالاتر بودن میزان انرژی ورودی در تولید برنج دانه‌بلند پر محصول نسبت به برنج دانه‌بلند مرغوب مربوط به مصرف بیش‌تر سه نهاده کودهای شیمیایی، ماشین‌ها و الکتریسیته می‌باشد. در مورد نهاده کود شیمیایی، اختلاف در میزان مصرف کود نیتروژن می‌باشد که در تولید برنج دانه‌بلند پر محصول چیزی در حدود ۱/۸ برابر بیش‌تر مصرف می‌شود. استفاده بیش‌تر از ماشین‌ها در تولید برنج دانه‌بلند پر محصول به دلیل مکانیزه بودن بیش‌تر مراحل کاشت و برداشت نسبت به برنج دانه‌بلند مرغوب است. مصرف بالای الکتریسیته نیز به علت نیاز بیش‌تر به آب و به تبع آن حجم آبیاری بیش‌تر در ارقام دانه‌بلند پر محصول است.

با توجه به مطالعات انجام گرفته میزان مصرف انرژی در تولید برنج در استان گیلان ۳۹۳۳۳ مگاژول بر هکتار بود که ۴۶ درصد آن مربوط به مصرف سوخت دیزل و ۳۶ درصد آن مربوط به مصرف کودهای شیمیایی بوده است (Pishgar-Kumleh *et al.*, 2011). در مطالعه دیگری که به منظور بررسی انرژی مصرفی تولید برنج در استان مازندران انجام شد، میزان متوسط کل انرژی‌های ورودی در کل منطقه مورد مطالعه برای تولید سه رقم محلی، پر محصول و هیبرید به ترتیب ۶۹۱۸۱/۲۳، ۸۲۰۰۵/۴۲ و

هر یک از مدل‌ها دارای دو جهت مطالعاتی ورودی و خروجی محور هستند. منظور از جهت بررسی ورودی محور این است که با ثابت نگه‌داشتن میزان خروجی‌ها چه مقدار باید ورودی‌ها را کاهش داد تا به مرز کارایی رسید. در روش اندازه‌گیری خروجی محور برای رسیدن به مرز کارایی در واحد مورد نظر سعی بر حداکثر کردن میزان خروجی با ثابت نگه‌داشتن میزان ورودی است (Mousavi-Avval *et al.*, 2011b). در این مطالعه نیز با توجه به قابل کنترل بودن ورودی‌ها سعی بر حداقل کردن میزان ورودی‌ها (استفاده از روش ورودی محور) است. الگوی BCC برای محاسبه کارایی فنی خالص و الگوی CCR برای محاسبه کارایی فنی به کار گرفته شده است (Emami-Meybodi, 2000). کارایی فنی به وسیله واحدهای ارزیابی شده برای عملکرد که وابسته به دیگر واحدها است، اندازه‌گیری می‌شود. می‌توان گفت کارایی فنی، ترکیبی از تأثیر هر دو کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس است. کارایی فنی خالص، کارایی فنی است که متأثر از جابجایی کارایی مقیاس بوده است. کارایی مقیاس نسبت کارایی ایده‌آل و کارایی واقعی را نشان می‌دهد (Ajabshirchi *et al.*, 2011; Taki *et al.*, 2012).

در روش DEA برای هر یک از واحدهای تصمیم‌گیری ناکارا، یک واحد تصمیم‌گیری کارا و یا ترکیبی از دو یا چند واحد تصمیم‌گیری کارا به عنوان مرجع و الگو معرفی می‌شود. همچنین با توجه به اینکه این واحد تصمیم‌گیری مرکب وجود خارجی ندارد، به عنوان یک واحد تصمیم‌گیری مجازی کارا در نظر گرفته می‌شود. در واقع می‌توان گفت در DEA واحد تصمیم‌گیری مجازی کارا برای هر واحد تصمیم‌گیری به عنوان الگو در نظر گرفته می‌شود. مجموع مرجع واحدهای تصمیم‌گیری کارا نیز خود آن واحد تصمیم‌گیری می‌باشد (Gerivani, 2011). انرژی نهاده‌های ورودی مختلف شامل انرژی نیروی انسانی، انرژی ماشین‌ها، انرژی سوخت، انرژی بذر، انرژی سموم شیمیایی، انرژی کودهای شیمیایی، انرژی کود دامی و انرژی الکتریسیته بر حسب مگاژول بر هکتار به عنوان ورودی‌های مدل و انرژی عملکرد محصول بر حسب مگاژول بر هکتار به عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شدند. هر کشاورز نیز به عنوان یک واحد تصمیم‌گیری شناخته شد. واریته‌های برنج دانه‌بلند مرغوب و برنج دانه‌بلند پر محصول به طور جداگانه مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. با استفاده از نتایج به‌دست

۷۱۰۹۲/۲۶ و ۷۹۴۶۰/۳۳ مگاژول بر هکتار گزارش شد
(Agha-Alikhani *et al.*, 2013).

۸۷۱۸۶/۰۶ مگاژول بر هکتار و در کل منطقه مورد مطالعه
در دو روش کشت سنتی و مکانیزه نیز به‌ترتیب

جدول ۱- محتوای انرژی نهاده‌ها و ستاده‌ها در سامانه تولید برنج

Table 1. Energy equivalents of inputs and outputs in rice production system

ورودی‌ها و خروجی‌ها Inputs and Outputs	هم‌ارز انرژی Energy equivalent (MJ.unit ⁻¹)	منبع Reference
نهاده‌ها		
Inputs		
نیروی کارگری (ساعت) Human labor (h)		
مرد Man	1.96	Singh <i>et al.</i> , 1994
زن Woman	1.54	Singh <i>et al.</i> , 1994
ماشین‌ها (ساعت) Machinery (h)	62.7	Singh, and Mittal, 1992
سوخت دیزل (لیتر) Diesel fuel (lit)	56.31	Mobtaker <i>et al.</i> , 2010
بذر (کیلوگرم) Seed (kg)	14.7	Ozkan <i>et al.</i> , 2004; Sayin <i>et al.</i> , 2005
سموم شیمیایی (کیلوگرم) Chemicals (kg)		
علف‌کش Herbicide		Ozkan <i>et al.</i> , 2004
قارچ‌کش Fungicide	216	Pathak and Binning, 1985
حشره‌کش Insecticide	101.2	Erdal <i>et al.</i> , 2007
کودهای شیمیایی (کیلوگرم) Chemical fertilizers (kg)		
نیتروژن Nitrogen	66.14	Ozkan <i>et al.</i> , 2011
فسفات Phosphate	12.44	Ozkan <i>et al.</i> , 2011
پتاسیم Potassium	11.15	Ozkan <i>et al.</i> , 2011
گوگرد Sulfur	1.12	Singh <i>et al.</i> , 2002
روی Zinc	8.4	Canakci <i>et al.</i> , 2005
ریز مغذی‌ها Micronutrients	120	Canakci and Akinci, 2006
کود آلی (کیلوگرم) Organic fertilizer (kg)	0.3	Ozkan <i>et al.</i> , 2004
الکتریسیته (کیلووات ساعت) Electricity (kWh)	11.93	Mobtaker <i>et al.</i> , 2010
ستاده‌ها		
Outputs		
کاه (کیلوگرم) Straw (kg)	12.5	Ozkan <i>et al.</i> , 2004; Sayin <i>et al.</i> , 2005
شلتوک برنج (کیلوگرم) Rice paddy (kg)	14.7	Ozkan <i>et al.</i> , 2004; Sayin <i>et al.</i> , 2005

درصد مربوط به نهاده کودهای شیمیایی و ۱۴/۵ درصد مربوط به استفاده از ماشین‌ها بوده است. موسوی‌اول و همکاران (Mousavi-Avval *et al.*, 2011b) میانگین انرژی مصرفی را در تولید سویا در استان گلستان بر اساس مصرف نهاده‌های انرژی نیروی انسانی، سوخت دیزل، ماشین‌ها، کود شیمیایی، مواد شیمیایی، آب آبیاری، الکتریسیته و بذر، ۳۵۳۷۲/۲۳ مگاژول در هکتار گزارش کردند که ۴۵/۱ درصد آن مربوط به نهاده الکتریسیته، ۲۴/۴ درصد مربوط به نهاده کودهای شیمیایی و ۱۴/۰ درصد مربوط به نهاده سوخت دیزل بوده است.

میانگین کارایی فنی کشاورزان ناکارا در تولید برنج دانه‌بلند مرغوب با استفاده از مدل بازده متغیر نسبت به مقیاس نهاده‌محور ۹۲ درصد بود، یعنی کشاورزان ناکارا با ۹۲ درصد از نهاده‌هایی که استفاده کرده‌اند و با ثابت ماندن میزان عملکرد، می‌توانند به مرز کارایی برسند و ۸ درصد از میزان مصرف نهاده‌های خود را ذخیره کنند. میانگین کارایی فنی و کارایی فنی خالص دو مدل بازده ثابت نسبت به مقیاس و بازده متغیر نسبت به مقیاس نهاده‌محور و نیز میانگین کارایی مقیاس برای کشاورزان در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقادیر کارایی فنی، فنی خالص و مقیاس برای تولید برنج دانه‌بلند مرغوب به ترتیب ۰/۹۵، ۰/۹۷ و ۰/۹۸ به دست آمده‌اند. با توجه به مقدار انحراف معیار به دست آمده، بیش‌ترین پراکندگی مربوط به کارایی فنی با انحراف معیار ۰/۰۷ است. با در نظر گرفتن عوامل غیرقابل کنترل محیطی این نتایج نشان می‌دهند که همه کشاورزان از روش‌های صحیح تولید آگاهی ندارند و یا نهاده‌های مختلف را در زمان مناسب یا به مقدار بهینه استفاده نکرده‌اند. همچنین مقادیر متوسط کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس بر اساس مدل‌های انجام شده برای کشاورزان شالی‌کار تولید کننده برنج دانه‌بلند پرمحصول به ترتیب ۰/۹۴، ۰/۹۷ و ۰/۹۷ به دست آمده است. در بررسی کارایی انرژی محصول خیار گلخانه‌ای در شهرضا، متوسط کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس بر اساس مدل بازده ثابت نسبت به مقیاس و مدل بازده متغیر نسبت به مقیاس نهاده‌محور به ترتیب ۹۰/۳۷، ۹۵/۰۹ و ۹۴/۶ گزارش شده است (Taki *et al.*, 2012).

نتایج بررسی انرژی خروجی از مزارع شالی برای میانگین ارقام مختلف در منطقه مورد مطالعه نتایج نشان می‌دهد که از هر هکتار به‌طور متوسط ۱۰۹۴۳۵/۷ مگاژول انرژی به دست می‌آید. همچنین نتایج نشان می‌دهد که متوسط کل انرژی ستانده در تولید برنج دانه بلند پرمحصول در منطقه مورد مطالعه ۱۳۴۳۷۲/۸ مگاژول بر هکتار می‌باشد که از متوسط کل انرژی ستانده در تولید برنج دانه بلند مرغوب (۸۴۷۸۵/۱) مگاژول بر هکتار) ۱/۶ برابر بیش‌تر است، در حالی که متوسط کل انرژی ورودی به مزارع تولید برنج دانه بلند پرمحصول در منطقه مورد مطالعه تنها ۱/۲ برابر متوسط کل انرژی ورودی برای تولید برنج دانه بلند مرغوب است.

سهم نهاده‌های مختلف از کل انرژی ورودی به تفکیک ارقام برنج دانه‌بلند پرمحصول و ارقام برنج دانه‌بلند مرغوب در شکل ۱ ارائه شده است. دو نهاده سوخت دیزل و الکتریسیته در مجموع ۶۸ و ۷۰ درصد از کل انرژی ورودی را به ترتیب در برنج دانه‌بلند پرمحصول و مرغوب شامل می‌شوند. اگرچه میزان مصرف سوخت دیزل در برنج دانه‌بلند پرمحصول و دانه‌بلند مرغوب تقریباً برابر است (حدود ۳۸۰۰۰ مگاژول بر هکتار) و در هر دو نوع برنج، سوخت دیزل بیش‌ترین سهم را از کل انرژی ورودی دارد، اما به ترتیب ۳۵ و ۴۵ درصد از کل انرژی ورودی تولید را شامل می‌شوند. همچنین در تولید هر دو نوع برنج پس از سوخت دیزل بیش‌ترین سهم انرژی مصرفی مربوط به الکتریسیته می‌باشد، اما سهم الکتریسیته در برنج دانه‌بلند پرمحصول ۳۳ درصد و در برنج دانه‌بلند مرغوب ۲۵ درصد از کل انرژی ورودی است.

انرژی ماشین‌ها در تولید برنج دانه‌بلند پرمحصول و مرغوب به ترتیب با ۱۸ و ۲۰ درصد از کل انرژی ورودی سومین نهاده پرمصرف بودند. سهم کودهای شیمیایی نیز به ترتیب ۸/۴ درصد و ۶ درصد از کل انرژی ورودی در تولید برنج دانه‌بلند پرمحصول و برنج دانه‌بلند مرغوب بوده است. مقدار مصرف نهاده‌های سموم شیمیایی، بذر، نیروی انسانی و کود آلی نیز در تولید شلتوک کمتر از دو درصد برآورد شد. طاهری‌راد و همکاران (Taheri-Rad *et al.*, 2013) میزان کل انرژی مصرفی برای تولید پنبه در استان گلستان را ۲۸۸۹۸/۰ مگاژول بر هکتار گزارش کردند که ۴۵/۶ درصد آن مربوط به نهاده سوخت دیزل، ۱۵/۹

جدول ۲- میانگین انرژی نهاده‌ها و ستاده‌ها برای تولید شلتوک برنج در استان گلستان بر حسب مگاژول بر هکتار

Table 2. The average energy inputs and outputs for production of rice paddy in Golestan province (MJ.ha⁻¹)

ورودی‌ها و خروجی‌ها Inputs and Outputs	ارقام دانه‌بلند مرغوب Long grain high-yielding varieties	ارقام دانه‌بلند پرمحصول Long grain high-grade varieties	کل برنج تولیدی Total rice production
نهاده‌ها			
Inputs			
نیروی کارگری Human labor	1566.8	1533.9	1550.4
مرد Man	1024.5	1068.0	1046.1
زن Woman	542.3	465.9	504.3
ماشین‌ها Machinery	17917.8	20043.8	18974.6
سوخت دیزل Diesel fuel	38525.1	38197.2	38362.1
بذر Seed	1639.6	1513.1	1576.7
سموم شیمیایی Chemicals	1692.2	1629.4	1661.0
علف‌کش Herbicide	820.3	819.6	820.0
قارچ‌کش Fungicide	346.2	364.1	355.1
حشره‌کش Insecticide	525.6	445.7	485.9
کودهای شیمیایی Chemical fertilizers	5390.8	9101.4	7235.4
نیتروژن Nitrogen	4635.6	8371.0	6492.5
فسفات Phosphate	418.3	407.7	413.0
پتاسیم Potassium	256.4	258.6	257.5
گوگرد Sulfur	9.8	10.8	10.3
دیگر کودها Other fertilizers	70.7	53.4	62.1
کود آلی Organic fertilizer	617.2	772.7	697.5
الکتریسیته Electricity	22485.8	35600.7	29005.4
کل انرژی نهاده‌ها Total inputs energy	89835.3	108392.1	99060.1
ستاده‌ها			
Outputs			
کاه Straw	27452.6	37508.7	2596.1
عملکرد شلتوک برنج Rice paddy yield	57332.5	96864.1	76984.1
کل انرژی ستاده‌ها Total outputs energy	84785.1	134372.8	109435.7

درصد زیادی از کل انرژی مصرفی را شامل می‌شود، کشاورزان کارا ۲۷/۶ درصد کمتر از کشاورزان ناکارا مصرف کرده‌اند. مصرف نهاده‌های کود آلی، ماشین‌ها و نیروی انسانی توسط کشاورزان کارا نسبت به کشاورزان ناکارا نیز به ترتیب ۶۳، ۱۸/۳ و ۱۴/۹ درصد کمتر بوده است.

مقادیر انرژی بهینه مورد نیاز، انرژی ذخیره شده و درصد ذخیره‌سازی انرژی برای نهاده‌های انرژی نیروی انسانی، انرژی ماشین‌ها، انرژی سوخت، انرژی بذر، انرژی سموم شیمیایی، انرژی کودهای شیمیایی، انرژی کود دامی و انرژی الکتریسیته در تولید شلتوک برنج ارقام دانه بلند مرغوب و پرمحصول در جدول ۶ نشان داده شده است. طبق نتایج به دست آمده، برای تولید برنج دانه‌بلند مرغوب مقدار کل انرژی بهینه ۷۷۳۵۲/۸ مگاژول بر هکتار می‌باشد، این در حالی است که مقدار انرژی مصرفی واقعی در مزارع تولید برنج دانه‌بلند مرغوب ۸۹۸۳۵/۳ مگاژول بر هکتار محاسبه شد. در بین انرژی بهینه نهاده‌ها، انرژی سوخت، انرژی الکتریسیته و انرژی ماشین‌ها به ترتیب با ۳۴۳۴۷/۸، ۱۷۵۷۱/۸ و ۱۵۵۴۶/۳ مگاژول بر هکتار بیش‌ترین مقدار را در بین نهاده‌های ورودی به خود اختصاص داده‌اند که در مجموع بیش از ۸۷ درصد از کل انرژی بهینه است. همچنین طبق نتایج به دست آمده در صورت بهینه‌سازی انرژی کشاورزان ناکارا در تولید برنج دانه‌بلند پرمحصول، میانگین کل انرژی ورودی به مزرعه برای هر هکتار ۸۸۷۰۶/۸۹ مگاژول خواهد رسید که این مقدار ۸۲ درصد از کل انرژی مصرفی واقعی در منطقه مورد نظر می‌باشد. انرژی سوخت، انرژی الکتریسیته، انرژی ماشین‌ها و انرژی کودهای شیمیایی به ترتیب با ۳۱۹۱۹/۶، ۲۷۲۴۳/۷، ۱۶۷۰۱ و ۹۲۵۸ مگاژول بر هکتار بیش‌ترین سهم را از کل انرژی بهینه دارند. همچنین سهم انرژی نهاده‌های سموم شیمیایی، بذر، نیروی انسانی، و کود آلی به ترتیب ۱۴۳۸/۹، ۱۳۴۳/۳، ۱۲۸۴/۳ و ۵۱۸/۲ مگاژول از مقدار انرژی بهینه به دست آمد.

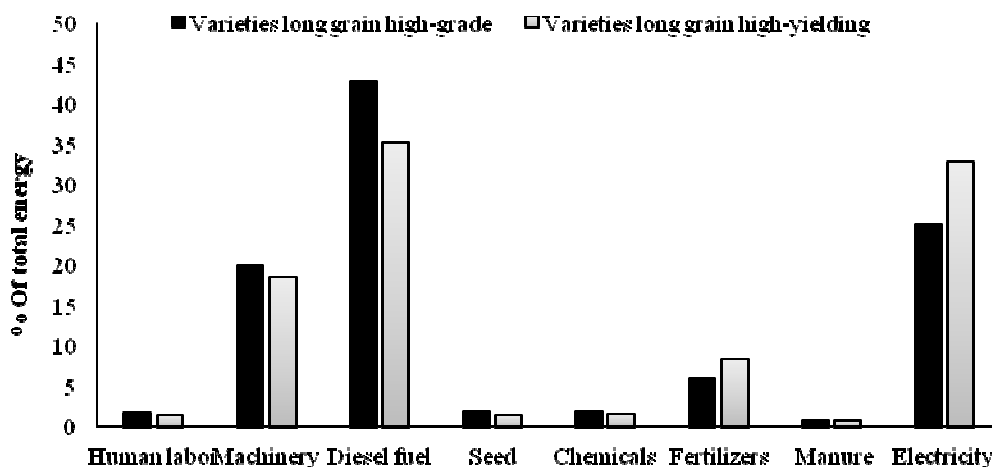
طبق نتایج جدول ۶ می‌توان با اعمال روش‌های مدیریتی صحیح در مصرف نهاده‌ها در تولید برنج دانه‌بلند مرغوب بدون هیچ‌گونه کاهشی در عملکرد محصول، ۲۱/۹ درصد از انرژی الکتریسیته، ۱۴/۳ درصد از انرژی کود آلی، ۱۳/۲ درصد از انرژی ماشین‌ها، ۱۲/۸ درصد از انرژی نیروی انسانی، ۱۱/۱ درصد از انرژی سموم شیمیایی، ۱۰/۸ درصد از انرژی سوخت، ۸/۰ درصد از انرژی کودهای شیمیایی و ۶/۹ درصد از انرژی بذر را نسبت به متوسط

به‌منظور رتبه‌بندی واحدهایی که به‌طور نسبی دارای کارایی واحد شده‌اند، از روش تعداد دفعات ارجاع در مجموعه مرجع استفاده شد و به‌وسیله آن تعداد دفعاتی که هر یک از واحدهای کارا به‌عنوان مرجع برای واحدهای ناکارا در نظر گرفته شدند برآورد شد. با توجه به رتبه‌بندی ۱۰ کشاورز کارا تر به‌همراه تعداد دفعات ارجاع داده شده به آن‌ها در جدول ۴، در تولید برنج دانه‌بلند مرغوب کشاورزان شماره ۱۴ و ۷۶ با تعداد دفعات ارجاع داده شده به ترتیب ۲۳ و ۲۱ کارا ترین کشاورزان هستند. با در نظر گرفتن مقدار مصرف نهاده‌های ورودی این کشاورزان، کشاورزان ناکارا می‌توانند مقدار مصرف هر یک از نهاده‌های خود را با آن‌ها تطبیق داده و تغییرات لازم را در میزان مصرف نهاده‌های ورودی اعمال کنند، تا با کاهش میزان نهاده‌های ورودی و ثابت ماندن عملکرد بتوانند کارایی مصرف انرژی در تولید را افزایش دهند که در نتیجه آن منجر به کاهش مصرف انرژی شود.

به‌منظور مقایسه کشاورزان کارا و ناکارا، میانگین نهاده‌های مصرفی ده کشاورز کارا تر و کشاورزان ناکارا و نیز مقدار تفاوت بین آن‌ها با توجه به مدل بازده متغیر نسبت به مقیاس نهاده‌محور محاسبه و در جدول ۵ ارایه شد. با توجه به نتایج، میانگین عملکرد ده کشاورز کارا در تولید برنج دانه‌بلند مرغوب ۵/۵ درصد بیش‌تر از میانگین عملکرد شلتوک در بین کشاورزان ناکارا می‌باشد، این در حالی است که کشاورزان ناکارا در مصرف نهاده‌های ورودی مقدار بیش‌تری را در مقایسه با ده کشاورز کارا تر مورد استفاده قرار می‌دهند. کشاورزان کارا نسبت به کشاورزان ناکارا ۳۴/۱ درصد الکتریسیته (که خود به تنهایی درصد بالایی از کل انرژی مصرفی را تشکیل می‌دهد) کمتری را مورد استفاده قرار می‌دهند. مصرف کود آلی، علف‌کش، قارچ‌کش و نیروی کارگری توسط کشاورزان کارا نسبت به کشاورزان ناکارا نیز به ترتیب ۶۴، ۱۹، ۱۳ و ۱۳ درصد کمتر است. در مقابل، میانگین عملکرد شلتوک در تولید برنج دانه‌بلند پرمحصول برای ۱۰ کشاورز کارا ۶۹۹۶/۵ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد که از مقدار میانگین عملکرد شلتوک برنج برای کشاورزان ناکارا در حدود ۱۰ درصد بیش‌تر است. این در حالی است که میزان مصرف تمامی نهاده‌ها (به‌جز کود گوگرد) توسط کشاورزان ناکارا بیش‌تر از کشاورزان کارا می‌باشد که مدیریت بهتر کشاورزان کارا با مصرف کمتر نهاده‌ها و تولید عملکرد بیش‌تر را نشان می‌دهد. در مصرف سوخت که یکی از نهاده‌هایی است که

درصد از انرژی سوخت، ۱۶/۳ درصد از انرژی نیروی کارگری، ۱۱/۷ درصد از انرژی سموم شیمیایی، ۱۱/۲ درصد از انرژی بذر و ۹/۳ درصد از انرژی کودهای شیمیایی را می‌توان کاهش داد. نتایج حاصل از روش تحلیل پوششی داده‌ها در بررسی بهینه‌سازی مصرف انرژی در تولید سویا در استان گلستان نیز نشان داد که بدون هیچ‌گونه کاهشی در میزان عملکرد محصول، حدود ۲۰/۱۲ درصد از کل انرژی ورودی یعنی ۷۱۱۸/۸۴ مگاژول بر هکتار می‌تواند ذخیره شود (Mousavi-Avval *et al.*, 2011b). این محققین نیز نشان دادند که درصد بالایی از انرژی صرف شده در مورد کشت محصولات بهاره و تابستانه که به‌عنوان کشت دوم در منطقه مورد توجه کشاورزان قرار می‌گیرند، قابل ذخیره است.

مصرف فعلی این نهاده‌ها کاهش داد و با این مقدار کاهش در هر یک از نهاده‌های مصرفی، در مجموع می‌توان در حدود ۱۴ درصد از انرژی ورودی (۱۲۴۸۲/۵ مگاژول در هکتار) را بدون هیچ کاهشی در خروجی‌ها ذخیره کرد. چوهان و همکاران (Chauhan *et al.*, 2006) در بررسی بهبود بهره‌وری مصرف انرژی در تولید شلتوک در هند گزارش کردند که ۱۱/۶ درصد از کل انرژی مصرفی در تولید برنج (معادل با ۱۰۹۳/۸ مگاژول بر هکتار) بدون هیچ‌گونه کاهشی در عملکرد محصول قابل ذخیره است. همچنین برای صرفه‌جویی ۱۸/۱۶ درصد از کل انرژی ورودی در تولید برنج دانه‌بلند پرمحصول و رسیدن کشاورزان ناکارا به مرز کارایی بدون هیچ‌گونه کاهشی در عملکرد، مقدار ۳۲/۹ درصد از کود آلی، ۲۳/۵ درصد از انرژی الکتریسیته، ۱۶/۷ درصد از انرژی ماشین‌ها، ۱۶/۴



شکل ۱- سهم انرژی‌های ورودی در تولید شلتوک برنج

Figure 1. The proportion of inputs energy in paddy production

جدول ۳- میانگین کارایی‌های مختلف در تولید شلتوک برنج

Table 3. Average of different efficiencies in paddy production

نوع کارایی Efficiency type	ارقام دانه‌بلند مرغوب Long grain high-grade varieties			ارقام دانه‌بلند پرمحصول Long grain high-yielding varieties		
	میانگین Average	انحراف معیار Standard deviation	حداقل Minimum	میانگین Average	انحراف معیار Standard deviation	حداقل Minimum
	کارایی فنی Technical efficiency	0.95	0.07	0.73	0.94	0.07
کارایی فنی خالص Net technical efficiency	0.98	0.04	0.76	0.97	0.05	0.74
کارایی مقیاس Efficacy scale	0.97	0.05	0.77	0.97	0.03	0.85

جدول ۴- ده کشاورز کارا تر در تولید شلتوک برنج

Table 4. Ten farmers with higher efficiency in the rice production

ارقام دانه‌بلند مرغوب Long grain high-grade varieties			ارقام دانه‌بلند پرمحصول Long grain high-yielding varieties		
رتبه Rank	واحد تولیدی DMU	تعداد دفعات ارجاع Number of reference	رتبه Rank	واحد تولیدی DMU	تعداد دفعات ارجاع Number of reference
1	14	23	1	53	38
2	76	21	2	2	20
3	77	15	3	50	17
4	41	15	4	5	14
5	44	13	5	33	14
6	84	13	6	28	13
7	48	11	7	3	11
8	30	11	8	45	11
9	59	10	9	4	9
10	62	10	10	46	9

استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها نشان داد که نهاده‌های الکتریسیته، مواد شیمیایی و سوخت دیزل به ترتیب با ۳۹/۱۴، ۲۱/۲۵ و ۱۲/۸۵ درصد از کل انرژی قابل ذخیره بیش‌ترین سهم را داشتند. همچنین در تولید ارقام برنج دانه بلند پر محصول انرژی الکتریسیته، سوخت و انرژی ماشین‌ها به ترتیب با ۴۳، ۳۲ و ۱۷ درصد از کل انرژی ذخیره شده بیش‌ترین سهم را به خود اختصاص داده‌اند. در مطالعه صورت گرفته در بهینه‌سازی انرژی تولید سویا در استان گلستان نیز گزارش شد که انرژی الکتریسیته با ۷۸/۰۸ درصد بالاترین سهم از کل انرژی قابل صرفه‌جویی دارا است (Mousavi-Avval *et al.*, 2011b). همان‌طور که گفته شد، کل مصرف نهاده انرژی الکتریسیته و بخش عمده‌ای از مصرف دو نهاده سوخت و ماشین‌ها مربوط به نحوه تامین آب می‌باشد. با مدیریت بهتر در این زمینه از جمله استفاده از پمپ‌هایی با بازدهی بالا می‌توان به مقدار انرژی صرفه‌جویی مورد نظر دست پیدا کرد. اما مقداری از این تفاوت به علت اختلاف در نحوه تامین آب آبیاری می‌باشد، به طوری که برای تامین آب در مزارعی که کشت برنج در آن‌ها به صورت غیر نسق صورت می‌گیرد، کشاورزان نیازمند صرف انرژی بیش‌تری برای تامین آب از عمق چاه آب هستند. همچنین مقداری از تفاوت انرژی مصرفی به علت تفاوت ارتفاع چاه‌های عمیق، نیمه‌عمیق و سطحی می‌باشد.

با توجه به مقدار سهم هر یک از نهاده‌ها در میزان انرژی ذخیره شده در شکل ۲، در تولید برنج دانه بلند مرغوب مشاهده می‌شود که نهاده انرژی الکتریسیته با ۳۹ درصد از کل انرژی ذخیره شده بیش‌ترین سهم را به خود اختصاص داده است و پس از آن انرژی سوخت و انرژی ماشین‌ها به ترتیب با ۳۳ و ۱۹ درصد از کل انرژی ذخیره شده بیش‌ترین سهم را دارا هستند. منبع مصرف کننده انرژی الکتریسیته، پمپ‌های تامین آب از چاه‌ها می‌باشند، همچنین به علت استفاده بعضی از کشاورزان از موتورهای دیزل برای تامین آب و حجم آبیاری بالا در مزارع شالی، درصد بالایی از دو نهاده سوخت و ماشین‌ها نیز مربوط به آبیاری می‌باشد. با توجه به اینکه این سه نهاده یعنی انرژی الکتریسیته، انرژی سوخت و انرژی ماشین‌ها در مجموع در حدود ۹۲ درصد از کل انرژی ذخیره شده را شامل می‌شوند و درصد زیادی از این سه نهاده صرف عملیات آبیاری می‌شود، تنها با اعمال مدیریت صحیح در نحوه تامین آب مزارع برنج می‌توان به مقدار زیادی از انرژی ذخیره شده دست پیدا کرد. انرژی ذخیره شده توسط نهاده‌های کودهای شیمیایی و سموم شیمیایی به ترتیب در حدود سه و دو درصد از انرژی ذخیره شده را شامل می‌شوند. همچنین دو نهاده کودهای آلی و بذر با سهمی در حدود یک درصد از مقدار انرژی‌های ذخیره شده کمترین سهم را در ذخیره‌سازی انرژی دارند. موسوی‌اول و همکاران (Mousavi-Avval *et al.*, 2011a) در بررسی بهینه‌سازی مصرف انرژی برای تولید سیب در ایران با

جدول ۵- میانگین مصرف نهاده‌ها و تولید ستاده‌ها توسط ده کشاورز کارا و کشاورزان ناکارا در تولید شلتوک برنج
Table 5. Average consumption of inputs and outputs produced by 10 efficient farmers and inefficient farmers in paddy production

نهادها Inputs	ارقام دانه‌بلند مرغوب Long grain high-grade varieties			ارقام دانه‌بلند پرمحصول Long grain high-yielding varieties		
	ده کشاورز کارا Ten efficient farmers (Unit/ha)	کشاورزان ناکارا Inefficient farmers (Unit/ha)	اختلاف* Difference* (%)	ده کشاورز کارا Ten efficient farmers (Unit/ha)	کشاورزان ناکارا Inefficient farmers (Unit/ha)	اختلاف* Difference* (%)
	(واحد بر هکتار)	(واحد بر هکتار)	(%)	(واحد بر هکتار)	(واحد بر هکتار)	(%)
نیروی کارگری (ساعت) Human labor (h)	799.5	917.2	12.84	765.0	899.2	14.92
ماشین‌ها (ساعت) Machinery (h)	290.1	313.7	7.54	280.1	34.0	18.34
سوخت دیزل (لیتر) Diesel fuel (lit)	740.2	789.3	6.22	519.0	716.5	27.57
بذر (کیلوگرم) Seed (kg)	105.5	112.6	6.33	98.5	105.4	6.57
سموم شیمیایی (کیلوگرم) Chemicals (kg)						
علف‌کش Herbicide	3.0	3.8	19.16	3.1	3.4	8.22
قارچ‌کش Fungicide	1.5	1.8	13.08	1.2	1.9	36.33
حشره‌کش Insecticide	5.1	5.2	1.91	3.6	4.7	22.75
کودهای شیمیایی (کیلوگرم) Chemical fertilizers (kg)						
نیتروژن Nitrogen	69.5	71.9	3.38	128.6	125.4	2.58
فسفات Phosphate	39.0	35.7	-9.18	27.7	37.3	25.86
پتاسیم Potassium	22.3	20.5	-8.58	17.9	21.7	17.36
گوگرد Sulfur	0.0	6.1	100.0	20.0	6.0	-235.48
دیگر کودها (کیلوگرم) Other fertilizers (kg)	1.3	0.6	-127.05	0.6	0.6	0.33
کود آلی (کیلوگرم) Farmyard manure (kg)	500.0	1387.8	63.97	1000.0	2702.0	62.99
الکتریسیته (کیلووات ساعت) Electricity (kWh)	1048.5	1590.5	34.08	2987.1	3244.8	7.94
آب آبیاری (مترمکعب) Irrigation water (m ³)	13270.3	13832.9	2.15	14032.2	15893.7	13.44
ستاده‌ها Outputs						
کاه (کیلوگرم) Straw (kg)	2431.0	2123.7	-14.4	3223.0	2934.0	-9.85
عملکرد شلتوک (کیلوگرم) Paddy yield (kg)	4090.0	3875.5	-5.53	6996.5	6367.4	-9.88

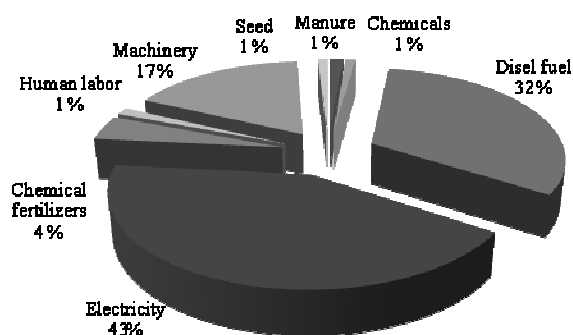
*: از تفاضل میانگین کشاورزان ناکارا از میانگین ده کشاورز کارا تقسیم بر میانگین کشاورزان ناکارا به دست آمده است.

*: The difference between average of inefficient farmers and the average of ten efficient farmers divided to inefficient farmers.

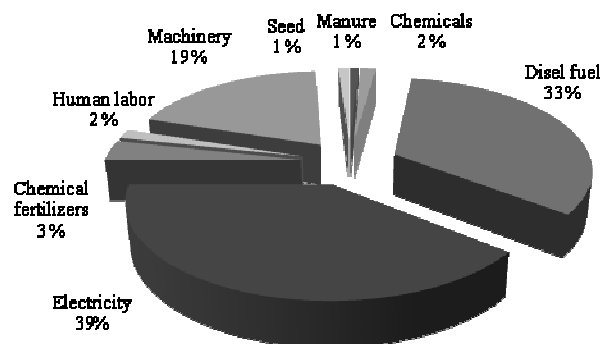
جدول ۶- مقادیر انرژی بهینه مورد نیاز و انرژی ذخیره‌شده برای تولید شلتوک برنج

Table 6. Optimal energy requirements and energy saved for paddy production

نهادها Inputs	ارقام دانه‌بلند مرغوب Long grain high-grade varieties			ارقام دانه‌بلند پرمحصول Long grain high-yielding varieties		
	مقدار بهینه (مگاژول بر هکتار) Optimum content (MJ/ha)	انرژی ذخیره‌شده (مگاژول بر هکتار) Stored energy (MJ/ha)	درصد ذخیره‌شده Saved percentage	مقدار بهینه (مگاژول بر هکتار) Optimum content (MJ/ha)	انرژی ذخیره‌شده (مگاژول بر هکتار) Stored energy (MJ/ha)	درصد ذخیره‌شده Saved percentage
	انرژی نیروی انسانی Human labor energy	1366.17	200.60	12.08	1284.33	249.53
انرژی ماشین‌ها Machinery energy	15546.32	2371.43	13.24	16700.98	3342.79	16.68
انرژی سوخت Diesel fuel energy	34347.84	4177.26	10.84	31919.60	6277.57	16.43
انرژی بذر Seed energy	1527.12	112.52	6.86	1343.27	169.81	11.22
انرژی سموم شیمیایی Chemicals energy	1504.99	187.21	11.06	1438.87	190.48	11.69
انرژی کودهای شیمیایی Chemical fertilizers energy	4959.60	431.18	8.00	9257.98	843.45	9.27
انرژی کود آلی Organic fertilizer energy	528.98	88.26	14.30	518.17	254.51	32.94
انرژی الکتریسیته Electricity energy	17571.78	4914.05	21.85	27243.69	8358.04	23.47
کل Total	77352.80	12482.5	13.89	88706.89	19685.18	18.16



Long grain high-yielding varieties



Long grain high-grade varieties

شکل ۲- سهم هر یک از نهاده‌ها در میزان انرژی ذخیره‌شده در تولید شلتوک برنج

Figure 2. The contribution of each input to the amount of saved energy in paddy production

مرغوب ۸۹۸۳۵/۳ مگاژول بر هکتار برآورد شد. سوخت دیزل با سهم ۳۸/۷ درصد از کل انرژی ورودی به مزارع به‌عنوان پرمصرف‌ترین نهاد انرژی در تولید شلتوک برنج در استان گلستان بود. پس از سوخت دیزل، الکتریسیته و انرژی ماشین‌ها به ترتیب با ۲۹/۳ و ۱۹/۲ درصد بیش‌ترین سهم از کل انرژی نهاده‌ها در تولید شلتوک برنج در استان

نتیجه‌گیری کلی

طبق نتایج به‌دست آمده، میانگین مصرف انرژی برای تولید شلتوک برنج در منطقه مورد مطالعه ۹۹۰۶۰/۱ مگاژول بر هکتار بود، در حالی‌که متوسط کل انرژی ورودی به مزارع شالی برای تولید برنج دانه‌بلند پرمحصول ۱۰۸۳۹۲/۱ مگاژول بر هکتار و برای تولید برنج دانه‌بلند

کارایی در تولید برنج را به‌دنبال دارد. با توجه به بالا بودن میزان مصرف سوخت‌های فسیلی جهت آماده‌سازی مزرعه توسط ادوات و نیز بالا بودن انرژی سوخت فسیلی نسبت به سایر نهاده‌ها، پیشنهاد می‌شود با آموزش کشاورزان و به‌ویژه رانندگان ماشین‌های کشاورزی جهت استفاده صحیح از تراکتور و نیز انتخاب بهترین ادوات آماده‌سازی زمین، میزان مصرف سوخت‌های فسیلی و در نتیجه انرژی مصرفی در تولید را کاهش داد. با توجه به میزان متفاوت آب مصرفی و نیز تعداد دفعات آبیاری، انجام مطالعاتی در زمینه میزان مصرف بهینه آب مورد نیاز و فاصله دوره‌های آبیاری، علاوه بر کاهش مصرف آب که تامین آن منجر به کاهش مصرف انرژی الکتریسیته، سوخت دیزل، ماشین‌ها و نیروی انسانی می‌شود، می‌تواند سبب کاهش درصد بلایی از انرژی مصرفی در سامانه تولید شلتوک برنج شود.

گلستان را داشتند. با توجه به نتایج بهینه‌سازی انرژی، بدون هیچ کاهش در میزان عملکرد و فقط با اعمال روش‌های مدیریتی صحیح می‌توان در حدود ۱۴ درصد از انرژی ورودی (۱۲۴۸۲/۵ مگاژول بر هکتار) در تولید برنج دانه‌بلند مرغوب و ۱۸/۱۶ درصد از انرژی ورودی در تولید برنج دانه‌بلند پرمحصول را با رسیدن کشاورزان ناکارا به مرز کارایی ذخیره کرد. الکتریسیته بیش‌ترین سهم از کل انرژی ذخیره‌شده را به‌خود اختصاص داد و پس از آن سوخت و ماشین‌ها به‌ترتیب بیش‌ترین سهم از کل انرژی ذخیره‌شده را داشتند. بهبود مدیریت آبیاری در شالیزارهای تولید برنج و جلوگیری از هدررفت آب از این مزارع می‌تواند علاوه بر کاهش مصرف آب، باعث حداقل رساندن هدررفت کودهای نیتروژن و فسفر محلول در آب شود که این امر کاهش مصرف این نهاده‌ها و افزایش

References

- Agha-Alikhani, M., Kazemi-Poshtmasari, H. and Habibzadeh, F. 2013.** Energy use pattern in rice production: A case study from Mazandaran province, Iran. *Energy Conversion and Management* 69: 157-162.
- Ajabshirchi, Y., Taki, M., Abdi, R., Ghobadifar, A. and Ranjbar, I. 2011.** Investigation of energy use efficiency for dry wheat production using data envelopment analysis (DEA) approach: Case study: Silakhor Plain. *Journal of Agricultural Machinery* 1 (2): 122-132. (In Persian with English Abstract).
- Banker, R. D., Charnes, A. and Cooper, W. W. 1984.** Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science* 30 (3): 1078-1092.
- Canakci, M. and Akinci, I. 2006.** Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. *Energy Conversion and Management* 31: 1243-1256.
- Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I. and Ozmerzi, A. 2005.** Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya region, Turkey. *Energy Conversion and Management* 46: 55-66.
- Chauhan, N. S., Mohapatra, P. K. J. and 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.
- Emami-Meybodi, A. 2000.** Principles of efficiency and productivity measurement. Trade Institute Publications, Tehran, Iran. (In Persian).
- Energy Balancesheet. 2011.** Ministry of Energy. Power and energy adjutancy of affairs. Energy Efficiency Organization of Iran, Tehran, Iran. Available at: <http://www.saba.org.ir>. (In Persian).
- Erdal, G., Esengun, K., Erdal, H. and Gunduz, O. 2007.** Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy* 32: 35-41.
- Gerivani, H. 2011.** Evaluating the efficiency of Mellat Bank branches of the North Khorasan province using data envelopment analysis (DEA). M. Sc. Dissertation, College of Administrative and Economic Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian).
- Hatirli, S., Ozkan, B. and Fert, C. 2005.** An econometric analysis of energy input-output in Turkish agriculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 9: 608-623
- Jihad-e-Agriculture. 2012.** Annual agricultural statistics. Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. Available at <http://www.maj.ir>. (In Persian).

- Khoshnevisan, B., Motamed Shariati, H. R., Rafiee, Sh. and Mousazadeh, H. 2014.** Comparison of energy consumption and GHG emissions of open field and greenhouse strawberry production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 29: 316-324.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, Sh., Omid, M. and Mousazadeh, H. 2013.** Applying data envelopment analysis approach to improve energy efficiency and reduce GHG (greenhouse gas) emission of wheat production. **Energy** 58: 588-593.
- Mobtaker, H. G., Akram, A., Keyhani, A. and Mohammadi, A. 2012.** Optimization of energy required for alfalfa production using data envelopment analysis approach. **Energy for Sustainable Development** 16 (2): 242-248.
- Mobtaker, H. G., Keyhani, A., Mohammadi, A., Rafiee, S. and Akram, A. 2010.** Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan province of Iran. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 137: 367-372.
- Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, S. and Mohammadi, A. 2011a.** Optimization of energy consumption and input costs for apple production in Iran using data envelopment analysis. **Energy** 36: 909-916.
- Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, S., Jafari, A. and Mohammadi, A. 2011b.** Optimization of energy consumption for soybean production using data envelopment analysis (DEA) approach. **Applied Energy** 88 (11): 3765-3772.
- Nabavi-Pelesaraei, A., Abdi, R., Rafiee, S. and Taromi, K. 2014.** Applying data envelopment analysis approach to improve energy efficiency and reduce greenhouse gas emission of rice production. **Engineering in Agriculture, Environment and Food** 7 (4): 155-162.
- Nassiri, S. M. and Singh, S. 2009.** Study on energy use efficiency for paddy crop using data envelopment analysis (DEA) technique. **Applied Energy** 86: 1320-1325.
- Ozkan, B., Akcaoz, H. and Fert, C. 2004.** Energy input-output analysis in Turkish agriculture. **Renewable Energy** 29: 39-51.
- Ozkan, B., Ceylan, R. F. and Kizilay, H. 2011.** Comparison of energy inputs in glasshouse double crop (fall and summer crops) tomato production. **Renewable Energy** 36: 1639-1644.
- Pathak, B. S. and Binning, A. S. 1985.** Energy use pattern and potential for energy saving in rice-wheat cultivation. **Energy in Agriculture** 4: 271-278.
- Pirdashti, H., Nasiri, M. and Kazemi-Poshtmasari, H. 2006.** Raton discussion of the rice cultivation. Haghshenas Publications, Rasht, Iran. (In Persian).
- Pishgar-Komleh, S. H., Sefeepari, P. and Rafiee, S. 2011.** Energy and economic analysis of rice production under different farm levels in Guilan province of Iran. **Energy** 36: 5824-5831.
- Saiedi, A. 2014.** Determining and comparing effective parameters in energy efficiency of broilers in Mashhad city. M. Sc. Dissertation, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian).
- Sayin, C., Mencet, M. N. and Ozkan, B. 2005.** Assessing of energy policies based on Turkish agriculture: Current status and some implications. **Energy Policy** 33: 2361-2373.
- Singh, H., Mishra, D. and 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: 2275-2286.
- Singh, S. and Mittal, J. P. 1992.** Energy in production agriculture. Mittal Publications. New Delhi.
- Singh, S., Singh, S., Mittal J. P., Pannu, C. J. S. and Bhangoo, B. S. 1994.** Energy inputs and crop yield relationships for rice in Punjab. **Energy** 19 (10): 1061-1065.
- Snedecor, G. W. and Cochran, W. G. 1989.** Statistical methods. 8th ed. Iowa State University Press.
- Taheri-Rad, A., Nikkhah, A., Khojastehpour, M. and Nowrozieh, S. 2015.** Assessing GHG emissions, and energy and economic analysis of cotton production in the Golestan province. **Journal of Agricultural Machinery** 5 (2): 428-445. (In Persian with English Abstract).
- Taki, M., Ajabshirchi, Y., Abdi, R. and Akbarpour, O. 2012.** Analysis of energy efficiency for greenhouse cucumber production using data envelopment analysis (DEA) technique (a case study: Shahreza Township). **Journal of Agricultural Machinery** 2 (1): 28-37. (In Persian with English Abstract).
- Zamani, G. and Alizadeh, M. R. 2009.** Rice of Iran cognition. Pelk publications, Tehran, Iran. (In Persian).



University of Guilan
Faculty of Agricultural
Sciences

Cereal Research
Vol. 7, No. 1, Spring 2017 (51-66)

Assessing the energy consumption efficiency of different long grain rice varieties in Golestan province

Alireza Taheri-Rad¹, Mehdi Khojastehpour^{2*}, Abbas Rohani³ and Sorur Khoramdel⁴

Received: May 20, 2015

Accepted: August 17, 2015

Abstract

The aim of this study was to analyze the inputs consumption, outputs production and to evaluate the technical efficiency of each of the farmers using data envelopment analysis method in rice fields of the Golestan province, Iran, in 2013. Data were collected through interviews and questionnaires with 173 paddy farmers of Golestan using simple randomized sampling method. The inputs were labor, machinery, diesel fuel, seed, irrigation, chemical pesticides, chemical fertilizers, organic fertilizer and electricity. The results showed that total energy consumption in the rice fields for production of paddy was 99060.1 MJ/ha, so that total input energy to the rice fields for production of high-yielding long grain rice and high-grade long grain rice were determined 108392.1 and 89835.3 MJ/ha, respectively. Diesel fuel with 38.7% of the total input energy to paddy fields was the most energy consumed in the production of rice. After diesel fuel, electricity and machines accounted for 29.3% and 19.2% of the total input energy in production of rice, respectively. Average technical efficiency of the farmers producing high-grade long grain rice and high-yielding long grain rice based on the input-oriented approach and variable returns to scale in the data envelopment analysis was 0.95 and 0.94, respectively. The results from the energy optimization in this research showed that about 14% of the total input energy can be stored in the production of high-grade long grain rice, as well as 18.16% of the total input energy in the production of high-yielding long grain rice without any reduction in performance. Electricity energy input was also the largest portion of total stored energy.

Keywords: Decision unit, Envelopment analysis, Optimization, Reference units, Scale efficiency

1. Ph. D. Student, Dept. of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2. Assoc. Prof., Dept. of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3. Assist. Prof., Dept. of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

4. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

* Corresponding author: mkhpour@um.ac.ir