



بهینه سازی بهره وری انرژی ورودی و صرفه جویی در انرژی به منظور تولید کلزا با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)

عادل رنجی^{۱*}، محمد مهدی امیری خوریه^۲ و اسماعیل پیرزاده^۳

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۷

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۱۷

چکیده:

هدف از این مطالعه استفاده از روش غیر پارامتری، تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) برای تجزیه و تحلیل بهره‌وری انرژی مورد استفاده توسط کشاورزان، شناسایی کشاورزان کارآمد از ناکارآمد و همچنین شناسایی کاربردهای بی فایده از انرژی برای تولید کلزا در استان مازندران می‌باشد. این روش بر اساس شش انرژی ورودی از جمله نیروی انسانی، ماشین آلات، سوخت، کود شیمیایی، سموم و انرژی بذر و با خروجی محصول کلزا (عملکرد) مورد بررسی قرار گرفت. کارایی تکنیکی، کارایی تکنیکی خالص، بازده به مقیاس و بهره‌وری متقابل با استفاده از مدل CCR, BCC برای کشاورزان محاسبه شد. از این مطالعه، نتایج زیر به دست آمد: از مجموع ۵۲ کشاورز در نظر گرفته شده برای تجزیه و تحلیل، بترتیب ۰.۰۹ درصد و ۴۶.۱۵ درصد به لحاظ کارایی تکنیکی و کارایی خالص کارآمدتر بودند. متوسط مقادیر کارایی تکنیکی، کارایی تکنیکی خالص و بازده به مقیاس به ترتیب برابر ۰.۷۳، ۰.۹۹ و ۰.۷۴ به دست آمد. نتایج مقایسه‌ای شاخص‌های انرژی نشان داد که با بهینه‌سازی مصرف انرژی، راندمان انرژی، بهره‌وری انرژی و افزوده خالص انرژی با توجه به کاربرد انرژی واقعی، را می‌توان به ترتیب ۱.۲۹ درصد، ۳.۵۰ درصد و ۰.۴۳ درصد افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه و تحلیل بهینه‌سازی، DEA، مدل‌ها CCR و BCC، کارایی تکنیکی، کلزا

مقدمه:

هکتار کلزای آبی کشور ۲۱۸۱.۳ کیلوگرم و عملکرد دیم ۱۸۱۳.۱ کیلوگرم در هکتار بوده است (آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۱). تولید اقتصادی، تابعی از عواملی مانند کار انسانی، سرمایه، منابع طبیعی، در دسترس بودن انرژی و فناوری است. در بخش اقتصادی، انرژی و دیگر منابع به شدت مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین، هر دو منابع طبیعی به سرعت در حال کاهش و مقدار آلاینده‌ها به طور قابل ملاحظه-ای در حال افزایش می‌باشد. بهترین راه برای کاهش خطرهای زیست محیطی استفاده از انرژی با راندمان بالا در مصرف می-باشد (Esengun et al., 2007). محصولات کشاورزی از انرژی‌های تجاری و غیر تجاری استفاده می‌شوند که انرژی‌های غیر تجاری شامل: بذر، کود حیوانی و همچنین انرژی‌های تجاری شامل: سوخت، کود شیمیایی، سموم شیمیایی، آب

کلزا (*Brassica napus L.*) برای تولید روغن خوراکی مناسب بوده و به مصرف انسان و دام نیز می‌رسد (Dupon et al., 1989; Zeratsky, 2009). این روغن همچنین به عنوان بیودیزل استفاده می‌شود. سطح زیر کشت کلزا در کشور در سال زراعی ۱۳۹۱ حدود ۹۳ هزار هکتار برآورد شده که ۶۱.۸ درصد آن اراضی آبی و بقیه به صورت دیم بوده است. استان مازندران با ۲۷.۴ درصد سهم در سطح برداشت کلزا، بیشترین سطح را داراست. میزان تولید کلزا در کشور حدود ۱۹۰ هزار تن برآورد شده که ۶۶ درصد آن از کشت آبی و ۳۴ درصد از کشت دیم به دست آمده است. استان مازندران با ۲۶.۵ درصد تولید کلزا کشور همانند سطح زیر کشت در جایگاه نخست تولیدکننده این محصول قرار گرفته است. راندمان تولید در

۱- دانشجوی دکتری، مکانیزاسیون کشاورزی، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، قزوین، ایران: (نویسنده مسئول) Adelranji@yahoo.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، اصلاح گیاهان دارویی و معطر، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۳- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کازرون، فارس، ایران



از کل انرژی ورودی را می تواند ذخیره کرد. محمدی و همکاران (2011) از رویکرد تحلیل پوششی داده ها به تجزیه و تحلیل بهره وری انرژی کشاورزان و تشخیص انرژی زاید در تولید کیوی در ایران استفاده کردند، نتایج نشان داد که ۱۲.۲ درصد از انرژی ورودی را می تواند ذخیره کرد. همچنین در بهینه سازی مصرف انرژی، راندمان مصرف انرژی، شدت انرژی و افزوده خالص انرژی به ترتیب ۱۳.۹ درصد، ۱۲.۲ درصد و ۲۲.۶ درصد بهبود داد.

با توجه به این که مطالعه‌ای بر روی بهینه سازی انرژی ورودی برای تولید کلزا در ایران وجود ندارد. بنا بر این، هدف از این پژوهش، تعیین الگوی مناسب برای استفاده از انرژی در تولید کلزا، تجزیه و تحلیل کارایی انرژی کشاورزان، رتبه بندی کارآمدی و ناکارآمدی آنها و شناسایی انرژی مصرفی مورد نیاز با توجه هدف و جلوگیری از استفاده بی‌رویه از انرژی ورودی مختلف برای تولید کلزا در استان مازندران می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها برای تجزیه و تحلیل داده به منظور بهینه سازی عملکرد هر یک از واحدهای تولیدی کلزا و نیز تعیین کشاورزانی که نسبت به دیگر کشاورزان برتری دارند، استفاده شد. داده‌های این تحقیق از ۵۲ کشاورز در استان مازندران در سال ۱۳۹۱ به دست آمد. داده‌ها با استفاده از روش نمونه گیری تصادفی و روش مصاحبه حضوری به صورت پرسشنامه‌ای به دست آمده است. پرسشنامه شامل میزان و نوع نهاده‌های ورودی مورد استفاده در تولید کلزا از منابع مختلف از جمله کار انسانی، ماشین‌ها، سوخت، کود شیمیایی، سموم، بذر و عامل خروجی شامل میزان عملکرد است.

استان مازندران بین ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. این استان در قسمت شمال مرکزی کشور واقع با مساحت ۲۳۷۵۶ کیلومتر مربع وسعت، ۱.۴۶ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است.

اندازه نمونه‌ها با استفاده از رابطه (۱) به دست آمد (Yamane, 1967):

$$n = (\sum N_h S_h) / (N^2 D^2 + \sum N_h S_h^2) \quad (1)$$

آبیاری، ماشین‌ها و غیره می‌باشد. استفاده موثر از این انرژی با کمک به افزایش بهره وری تولید، منجر به سودآوری، رقابت پذیری و حرکت به سوی کشاورزی پایدار در جوامع روستایی می‌گردد (Singh et al., 2002). نسبت انرژی، شدت انرژی و بهره وری انرژی در سیستم‌های تولید محصول، شاخص‌های انرژی هستند، که می‌تواند بهره وری و عملکرد مزارع را تعریف کند، مطالعات متعددی در مصرف انرژی در تولید محصولات کشاورزی انجام شده است (Canakci and Akinci, 2006; Cetin and Vardar, 2008; Erdal et al., 2007; Mikkola and Ahokas, 2010; Mobtaker et al., 2010; Mohammadi and Omid, 2010; Ozkan et al., 2007; Rafiee et al., 2010; Unakitan et al., 2010; Zangeneh et al., 2010).

کارایی تکنیکی (نسبت وزن انرژی خروجی به وزن انرژی ورودی) راه دیگر برای تعیین کارایی کشاورزان است (Nassiri and Singh, 2009). تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) یک روش غیر پارامتری است که به طور وسیعی برای اندازه گیری بهره وری و تعیین معیار تصمیم گیری استفاده می‌شود (Adler et al., 2002). در سال‌های اخیر، بسیاری از نویسندگان در تحقیقات کشاورزی از تحلیل پوششی داده‌ها استفاده کرده‌اند: چائوهان و همکاران (۲۰۰۶) از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها برای تعیین کارایی انرژی کشاورزان در تولید برنج در هند استفاده کردند، نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که به طور متوسط، حدود ۱۱.۶ درصد از کل انرژی ورودی می‌تواند صرفه جویی گردد. نصیری و سینگ (2009) با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها برای تعیین کارایی انرژی کشاورزان در تولید برنج در ایالت پنجاب هند برای تحلیل انرژی استفاده کردند.

نتایج نشان داد که کشاورزان کوچک نسبت انرژی بالاتر و شدت انرژی مورد نیاز کمتر در مقایسه با آن‌هایی که دارای مزارع بزرگ‌تر هستند؛ دارند. اگرچه ارتباط بین کارایی تکنیکی و نسبت انرژی، مقایسه بین ضریب همبستگی کشاورزان در مزارع مختلف متفاوت بوده است، تحلیل انرژی نشان داد که نسبت انرژی و شدت انرژی در همه نوع شاخص کارایی تکنیکی، کارایی تکنیکی خالص و بازده به مقیاس کشاورزان قابلیت افزایش ندارد. موسوی و همکاران (2011b) از روش تحلیل پوششی داده‌ها برای تجزیه و تحلیل بازده تولید سیب در استان تهران استفاده کردند، نتایج نشان داد که ۱۱.۳ درصد



که در آن، n اندازه نمونه مورد نیاز، S_h^2 واریانس طبقه h ، تعداد بهره بردار در جامعه مورد بررسی، d دقت اندازه گیری $(\bar{x} - \bar{X})$ ، N_h تعداد افراد جامعه در طبقه h ، قابلیت اطمینان Z ، $D^2 = d^2 / z^2$ ، S_h انحراف معیار استاندارد در طبقه h می باشد.

میزان نهاده‌های ورودی و خروجی بر حسب هکتار محاسبه شده و برای محاسبه بهره وری تکنیکی تمامی ورودی‌ها و خروجی‌ها باید وزن داده شود، بنابراین میزان ورودی و خروجی با ضرب مقدار آنها در واحد سطح با ضریب معادل انرژی تبدیل به مولفه‌های انرژی می‌شود. همچنین هر کشاورز به نام یک واحد تصمیم گیری (DMU^1) در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از مطالعه در زمینه استفاده از انرژی و تجزیه و تحلیل حساسیت انرژی‌های ورودی به طور خلاصه در جدول ۱ ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، تغییرات گسترده‌ای در مقدار انرژی ورودی و خروجی برای تولید کلزا وجود دارد. نتایج نشان می‌دهد که دامنه بسیار خوبی برای بهینه سازی مصرف انرژی وجود دارد و بهبود بهره وری مصرف انرژی برای تولید کلزا در منطقه وجود دارد تا این تحقیق بدین شکل صورت گیرد.

جدول ۱: میزان ورودی و خروجی انرژی در تولید کلزا

نهادها	مقدار بر واحد سطح (ha)	کل معادل انرژی ($GJ ha^{-1}$)	انحراف معیار انرژی‌ها	حداکثر انرژی‌ها	حداقل انرژی‌ها
ورودی					
سوخت (L)	158	8.90	0.27	9.70	8.29
ماشین (h)	79	5.12	0.28	5.83	4.34
نیروی کارگری (h)	34	0.08	0.02	0.11	0.06
کل کود شیمیایی (kg)	305	15.01	0.82	17.63	13.27
کود نیتروژنه (kg) (N)	234	14.15	0.78	16.68	12.68
کود فسفاتنه (P_2O_5) (kg)	72	0.86	0.20	1.19	0.60
سموم (آفت کش) (kg)	1	0.14	0.03	0.16	0.10
بذر (kg)	7	0.15	0.02	0.17	0.13
کل انرژی ورودی (GJ)		29.40	1.13	32.42	26.72
خروجی					
عملکرد محصول (ton)	2.05	44.59	11.99	63.04	15.95
کل انرژی خروجی (GJ)		44.59	11.99	63.04	15.95

¹ - Decision Making Unit



بهترین عملکرد در تولید را دارد و بهترین روش پتانسیل می‌توان به تولید ادامه داد، هر مقدار (TE) کمتر از یک نشان می‌دهد که واحد تصمیم گیرنده (DMU) داری نهاده های ورودی ناکارآمد هست (Mousavi-Avval et al., 2011b).
با استفاده از نمادهای استاندارد، کارایی تکنیکی را می‌توان به صورت ریاضی با رابطه زیر بیان کرد:

(۲)

$$TE_j = \frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_n y_{nj}}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots + v_m x_{mj}} = \frac{\sum_{r=1}^n u_r y_{rj}}{\sum_{s=1}^m v_s x_{sj}}$$

که در آن u_r وزن (ضریب انرژی) با توجه به خروجی N ام Y و مقدار خروجی N ام v_s ، وزن (ضریب انرژی) با توجه به ورودی N ام x_s مقدار نهاده ورودی N ام r ، تعداد خروجی‌ها $(s=1, 2, \dots, m)$ ، تعداد نهاده ورودی $(r=1, 2, \dots, n)$ نشان دهنده زام از DMU ها (واحدهای تصمیم گیرنده) است. برای حل معادله (۲)، برنامه خطی^۱ (LP) مورد استفاده قرار گرفت که در زیر بیان شده است (چارنز و همکاران (1978)).

(۳)

$$\theta = \sum_{r=1}^n u_r y_{rj} \quad \text{حداکثر}$$

(۴)

$$\sum_{r=1}^n u_r y_{rj} - \sum_{s=1}^m v_s x_{sj} \leq 0 \quad \text{تحت}$$

(۵)

$$\sum_{s=1}^m v_s x_{sj} = 1$$

(۶)

$$u_r \geq 0, v_s \geq 0, \text{ و } (i \text{ و } j = 1; 2; 3; \dots; k)$$

که در آن θ کارایی تکنیکی و i نشان دهنده N ام واحد تصمیم‌گیری (که در معادله (۳) و (۶) ثابت خواهد شد، در حالی که j در معادله (۴) افزایش می‌یابد) است. مدل فوق یک مدل برنامه ریزی خطی است و معروف به مدل CCR در تحلیل پوششی داده‌ها می‌باشد، که فرض بر این است که بین بازده به مقیاس و کارایی رابطه معنی داری وجود ندارد (Avkiran, 2001).

در تحلیل پوششی داده‌ها، واحدهای تصمیم‌گیری ناکارآمد را می‌توان با کاهش سطح ورودی در حالی که خروجی ثابت نگه داشته می‌شود (ورودی گرا)، یا به طور متقارن، با افزایش سطح خروجی در حالی که ورودی ثابت (خروجی‌گرا)، به واحدهای تصمیم‌گیری (DMU) کارآمد تبدیل کرد. (Zhou et al., 2008).

انتخاب جهت‌گیری بین ورودی و خروجی بستگی به ویژگی‌های منحصر بفرد از مجموعه‌ای از DMU های (واحد تصمیم‌گیرنده) مورد مطالعه دارد. در این مطالعه یک خروجی و ورودی‌های متعدد استفاده شده است. همچنین در تولید محصولات کشاورزی، یک کشاورز کنترل بیشتری روی نهاده‌های ورودی به جای سطح خروجی دارد و به عنوان یک پیشنهاد، مدیریت بیشتر بر روی نهاده‌های ورودی به جای خروجی به نظر معقول‌تر به نظر می‌رسد.

(Galanopoulos et al., 2006) بنابراین در این مطالعه روش ورودی گرا مورد استفاده قرار گرفت. تحلیل پوششی داده‌ها در این پژوهش دارای دو مدل که شامل: مدل CCR و BCC می‌باشد. تحلیل پوششی داده در مدل CCR با فرض بر بازدهی ثابت نسبت به مقیاس در این تحقیق بنا شده است. در این اندازه‌گیری، در کارایی تکنیکی، کارایی واحدهای تصمیم‌گیری نسبت به دیگر واحدهای تصمیم‌گیری مورد بررسی قرار گرفته است (Cooper et al., 2007). در مدل BCC تحلیل پوششی داده‌ها، فرض بر این است که بازده متغیر به شرایط مقیاس بستگی دارد، بنا بر این مدل محاسبه کارایی تکنیکی واحدهای تصمیم‌گیری را تحت متغیر بازگشت به حالت مقیاس بررسی می‌کند. این تجزیه کارایی تکنیکی و کارایی تکنیکی خالص برای مدیریت فاکتورها و بازده به مقیاس برای مدیریت اندازه (مقیاس) مزرعه می‌باشد. (Mousavi-Avval et al., 2011b) در این مطالعه، به منظور تجزیه و تحلیل کارایی کشاورزان، شاخص‌های بازده به مقیاس و کارایی تکنیکی خالص و کارایی تکنیکی به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفت:

کارایی تکنیکی

کارایی تکنیکی (TE) را می‌توان به طور کلی نسبت مجموع وزنی خروجی‌های به مجموع وزنی ورودی‌ها بیان کرد. مقدار عددی کارایی تکنیکی بین صفر و یک می‌باشد که در آن مقدار، عدد یک حاکی از آن است که واحدهای تصمیم‌گیری،

¹ - Linear programming



مجله مهندسی زیست سامانه

نمره بازده تکنیکی واحد تصمیم گیری کمی داشته باشد، سپس آن واحد در سطح محلی کارآمد اما توجه به اندازه مقیاس آن در سطح جهانی کارآمد نیست. بنابراین، معقول و منطقی است که برای توصیف بازده به مقیاس یک واحد تصمیم گیری با توجه به نسبت دو نمره بیان گردد. (Sarica and Or, 2007). رابطه میان بازده به مقیاس، کارایی تکنیکی و کارایی تکنیکی خالص را می توان به شرح زیر بیان کرد: (۱۱)

کارایی تکنیکی = بازده به مقیاس
کارایی تکنیکی خالص

بهره وری متقابل

نتایج مدل های تحلیل پوششی داده ها به صورت دو مجموعه واحدهای تصمیم گیرنده کارآمد و ناکارآمد از هم جدا می شوند، بسیاری از واحدهای کارآمد محاسبه شده را نمی توان رتبه بندی کرد. همچنین در تحلیل پوششی داده ها به علت مشکل انعطاف پذیری وزن نامحدود، این امکان وجود دارد که برخی از واحدهای کارآمد در عملکرد به طور کلی بهتر از آنهایی که کارآمدترین، باشد (Adler et al., 2002). برای غلبه بر این مشکل و رسیدن به یک رتبه بندی کامل از کشاورزان کارآمد، روش رتبه بندی بهره وری متقابل مورد استفاده قرار گرفت که توسط سکستون و همکاران (1986) توسعه داده شد. در این روش نتایج حاصل از تمام نمرات کارایی در تحلیل پوششی را می توان در یک ماتریس جمع آوری کرد و به نام ماتریس بهره وری متقابل نامید. در این ماتریس E_{ij} عنصر سطر i و ستون j ام، نشان دهنده رتبه متوسط از نظر بهره وری کشاورز j ام محاسبه شده با استفاده از وزن مطلوب کشاورز i ام، توسط مدل CCR محاسبه شده است. به طور کلی، کشاورزان کارآمد را می توان با توجه به متوسط نمره بهره وری متقابل رتبه بندی کرد، که می تواند به طور متوسط هر ستون از ماتریس متقابل بهره وری را به دست آورد و آن را برای قضاوت، تجزیه و تحلیل در انتخاب کشاورزان مورد استفاده قرار داد، به طوری که آنهایی که واقعا کارآمد هستند؛ کشاورزانی با یک میانگین نمره متقابل بهره وری بالا و دارای عملکرد خوبی در تولید میباشند (Angulo-Meza and Lins, 2002; Chauhan et al., 2006; Zhang et al., 2009)

بنابراین، تولید کنندگان بزرگ به همان اندازه تولیدکنندگان کوچک در تبدیل ورودی به خروجی موثر و کارا خواهند بود.

کارایی تکنیکی خالص

کارایی تکنیکی خالص مدل دیگری در تحلیل پوششی داده ها می باشد، که توسط بانکر و همکاران در سال ۱۹۸۴ معرفی شدند، این مدل را مدل BCC می نامند و محاسبه کارایی تکنیکی از DMU ها (واحدهای تصمیم گیرنده) تحت متغیر بازده به مقیاس است. کارایی تکنیکی خالص می تواند هر دو کارایی تکنیکی و بازده به مقیاس را از هم جدا کند. مزیت اصلی این مدل این است که مزارع ناکارآمد در قیاس تنها با مزارع کارآمد هم اندازه مشابه خود مقایسه خواهد شد (Bames, 2006). موارد فوق را می تواند توسط برنامه خطی دوگانه^۱ (DLP) به شرح زیر بیان شود.

$$z = uy_i - u_i \quad (7)$$

$$vx_i = 1 \quad (8)$$

$$-vX + uY - u_0 e \leq 0 \quad (9)$$

$$u_0, v \geq 0, u \geq 0 \quad (10)$$

که در آن z و u_0 عددی و متغیر آزاد، U و V خروجی و ورودی های ماتریس وزن، X و Y به ترتیب مربوط به ماتریس های خروجی و ورودی می باشد. حروف x_i و y_i اشاره به ورودی و خروجی ها نام واحد تصمیم گیری دارد.

بازده به مقیاس

بازده به مقیاس نشان دهنده تاثیر اندازه واحدهای تصمیم گیری بر بهره وری یک سیستم است. به سادگی، این مولفه نشان می دهد که برخی از بخش های ناکارآمد اشاره به اندازه نامناسب واحد تصمیم گیری دارد و اگر هر واحد تصمیم گیری به سمت بهترین اندازه حرکت کند، بازده کلی (تکنیکی) را می تواند در همان اندازه از سطح فناوری (ورودی) بهبود داد (نصیری و سینگ، 2009). اگر یکی از واحدهای تصمیم گیری به طور کامل در هر کدام از کارایی تکنیکی و کارایی تکنیکی خالص، دارای نمره کارآمد باشد، پس آن واحد تصمیم گیری در اندازه مقیاس مولد ترین عامل می باشد. اگر یک واحد تصمیم گیری نمره بازده تکنیکی خالص بالایی داشته باشد، اما

¹ - Double linear programming



تکنیکی خالص کارآمد با نمره ۱ بودند و از ۵ کشاورز کارآمد یک کشاورز دارای بازده به مقیاس یک بوده است. از بین کشاورزان کارآمد، ۵ کشاورز به طور کامل در هر دو نمرات کارایی تکنیکی و کارایی تکنیکی خالص کارآمد بودند. نتایج نشان می‌دهد که کشاورزان در سطح جهانی کارآمد و از نظر اندازه به مقیاس مولدترین کشاورزان می‌باشند، هر چند، از ۲۸ کشاورز باقیمانده تنها از نظر منطقه‌ای دارای کارایی تکنیکی خالص کارآمد هستند؛ علت شرایط زیان آورشان از نظر اندازه در مقیاس مزارع می‌باشد. از بین کشاورزان ناکارآمد به ترتیب ۸ و ۲۸ کشاورز دارای کارایی تکنیکی و کارایی تکنیکی خالص، در محدوده ۰.۹۹-۰.۹۰ دارند، این بدان معنی است که کشاورزان باید قادر به تولید همان سطح از خروجی با استفاده همان سطح از انرژی ورودی در مقایسه با زمانی که با توجه با معیار-های که از بهترین عملکرد با ویژگی‌های مشابه ساخته شده اند، باشند. این نتایج مشابه با نتیجه فرازر و کوردینا (۱۹۹۹) و محمدی و همکاران (۲۰۱۱) می‌باشد.

خلاصه نتایج برای برآورد سه کارایی در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که میانگین مقادیر نمرات کارایی تکنیکی، کارایی تکنیکی خالص و بازده به مقیاس به ترتیب ۰.۷۳، ۰.۹۹ و ۰.۷۴ به دست آمده است. علاوه بر این کارایی فنی از ۰.۳۵ تا ۱ قابل تغییر بوده و دارای انحراف استاندارد ۰.۱۹ می‌باشد که بالاترین تنوع بین کارایی تکنیکی خالص و بازده به مقیاس می‌باشد. تنوع گسترده‌ای در کارایی تکنیکی کشاورزان حاکی از آن است که همه کشاورزان به طور کامل از تکنیک‌های درست تولید آگاه نیست و یا آنها از مقدار مطلوب در زمان مناسب اعمال نهاده‌ها آگاه نیستند. محمدی و همکاران (2011) اعمال روش تحلیل پوششی داده‌ها برای تعیین بازده کشاورزان در تولید کیوی در ایران را مورد بررسی قرار دادند، آنها گزارش دادند که نمرات کارایی تکنیکی، کارایی تکنیکی خالص و بازده به مقیاس بترتیب ۰.۹۴، ۰.۹۹ و ۰.۹۵ بدست آمده‌اند. در یک مطالعه دیگر، بهره وری در تولید سویا مورد بررسی قرار گرفت و شاخص‌های بهره وری فوق به ترتیب ۰.۸۵، ۰.۹۲ و ۰.۹۳ گزارش شده‌اند.

(Mousavi-Avval et al., 2011a)

در تجزیه و تحلیل واحدهای تصمیم‌گیری کارآمد و ناکارآمد، شاخص صرفه جویی انرژی نسبت به هدف^۱ (ESTR) را می‌توان مورد استفاده قرار داد که نشان دهنده سطح ناکارآمدی برای هر واحد تصمیم‌گیری با توجه به مصرف انرژی است. فرمول به صورت زیر بیان می‌شود:

$$(12) \quad z = \text{ESTR}_j = \left(\frac{\text{صرفه جویی در انرژی هدف}}{\text{مقدار ورودی واقعی انرژی}} \right)$$

که در آن هدف صرفه جویی در انرژی، کاهش مقدار نهاده ورودی است که می‌تواند بدون کاهش سطح خروجی و از نشان دهنده لازم واحد تصمیم‌گیری ذخیره‌کننده انرژی می‌باشد. مقدار حداقل در شاخص صرفه جویی انرژی نسبت به هدف صفر است، بنا بر این مقدار صرفه جویی انرژی نسبت به هدف (ESTR) بین صفر و یک خواهد بود. اگر مقدار صرفه جویی انرژی نسبت به هدف (ESTR) صفر را نشان دهد یعنی واحدهای تصمیم‌گیری در مرز می‌باشد؛ مانند آن‌هایی که کارآمد هستند، از سوی دیگر برای واحدهای تصمیم‌گیری ناکارآمد، مقدار صرفه جویی انرژی نسبت به هدف (ESTR) بزرگ‌تر از صفر است، بدان معنی است که می‌تواند انرژی را ذخیره کرد، مقدار صرفه جویی انرژی نسبت به هدف (ESTR) بالاتر به معنی عدم کارایی انرژی بالاتر و مقدار صرفه جویی در انرژی بیشتری برای آن واحد تصمیم‌گیری می‌توان انجام داد (Hu and Kao, 2007). به منظور محاسبه بازده کشاورزان و تفاوت بین کشاورزان کارآمد و ناکارآمد، نرم افزار اکسل^۲ و نرم افزار تحلیلگر مرزی^۳ مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

برآورد بهره وری کشاورزان

نتایج حاصل از تحلیل پوششی داده‌ها مدل‌های CCR و BCC در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بسیاری از نمونه‌های گرفته شده از مزارع، بهره وری نزدیک و یا کامل در همه مشخصات مدل بهم دارند، به طوری که از مجموع ۵۲ کشاورز در نظر گرفته شده برای تجزیه و تحلیل، ۲۴ کشاورز (۴۶.۱۵٪) نمره کارایی تکنیکی خالص و کارایی تکنیکی برابر با یک داشته‌اند. هرچند ۵ کشاورز (۰.۰۹٪) دارای کارایی

¹ - Energy Saving Target Ratio

² - Microsoft Excel

³ - Frontier Analyst software



جدول ۲: مقدار نمرات کارایی تکنیکی، کارایی تکنیکی خالص و بازده به مقیاس برای کشاورزان کلزا کار

شماره کشاورز	کارایی تکنیکی خالص	کارایی تکنیکی	بازده به مقیاس	شماره کشاورز	کارایی تکنیکی خالص	کارایی تکنیکی	بازده به مقیاس
1	0.98	0.56	0.57	27	1.00	0.35	0.35
2	1.00	1.00	1.00	28	1.00	0.95	0.95
3	0.98	0.73	0.75	29	1.00	0.58	0.58
4	1.00	0.54	0.54	30	1.00	0.29	0.29
5	0.96	0.67	0.71	31	1.00	0.62	0.62
6	0.96	0.40	0.42	32	0.99	0.84	0.85
7	1.00	0.94	0.94	33	1.00	1.00	1.00
8	0.99	0.77	0.78	34	0.99	0.74	0.75
9	1.00	0.44	0.44	35	1.00	0.81	0.81
10	1.00	0.97	0.97	36	1.00	1.00	1.00
11	0.96	0.73	0.76	37	0.99	0.76	0.76
12	1.00	0.99	0.99	38	1.00	0.53	0.53
13	1.00	1.00	1.00	39	0.97	0.59	0.60
14	1.00	0.93	0.93	40	0.98	0.76	0.77
15	1.00	0.69	0.69	41	0.98	0.79	0.81
16	0.97	0.76	0.78	42	0.98	0.83	0.85
17	0.98	0.93	0.95	43	1.00	0.93	0.93
18	0.99	0.89	0.90	44	1.00	0.95	0.95
19	0.99	0.73	0.73	45	0.99	0.70	0.71
20	0.99	0.38	0.39	46	0.97	0.76	0.78
21	0.99	0.46	0.46	47	1.00	0.82	0.82
22	0.96	0.51	0.53	48	0.99	0.83	0.84
23	0.97	0.62	0.64	49	1.00	0.86	0.86
24	0.95	0.62	0.65	50	1.00	0.60	0.60
25	0.97	0.66	0.68	51	0.99	0.70	0.71
26	0.98	0.69	0.71	52	1.00	1.00	1.00
		میانگین:					
		انحراف استاندارد:					
کارایی تکنیکی خالص		کارایی تکنیکی		بازده به مقیاس			
0.99		0.73		0.74			
0.01		0.19		0.19			

انرژی بهینه مورد نیاز و صرفه جویی در انرژی

انرژی بهینه مورد نیاز و صرفه جویی در انرژی‌های مختلف ورودی برای تولید سویا بر اساس نتایج حاصل از مدل BCC در جدول ۳ ارائه داده شده است. نتایج نشان داد که کل انرژی بهینه مورد نیاز برای تولید سویا 28.77 GJ ha^{-1} ، همچنین درصد کل انرژی صرفه جویی نسبت به میزان مطلوب، بیشتر از محاسبه شد، نشان می‌دهد که با توجه به اطلاعات حاصل از

این مطالعه، به طور متوسط، حدود 0.006 GJ ha^{-1} از کل انرژی ورودی را نمی‌توان ذخیره کرد. همانطور که قبلاً ذکر شد، در تولید محصولات کشاورزی، کشاورز کنترل بیشتری روی ورودی‌ها به جای سطح خروجی باید داشته باشد، همچنین در این مطالعه تنها یک خروجی وجود دارد و رویکرد ورودی گرا مورد استفاده قرار گرفت. بنابراین، مقدار انرژی را می‌توان، به طوری که سطح خروجی (عملکرد سویا) ثابت نگه داشته



شود؛ ذخیره کرد. سهم انرژی مستقیم و انرژی‌های تجدید پذیر به حالت معکوس روند کاهشی داشته است.

محمدی و همکاران (2011) گزارش دادند که با بهینه سازی انرژی ورودی در تولید کیوی می‌توان راندمان مصرف انرژی به میزان ۱۳.۸۶٪ افزایش داد یعنی می‌توان به مقدار ۱.۷۵ درصد میزان انرژی مصرفی را بهبود بخشید. در مطالعه دیگری، راندمان استفاده از انرژی برای تولید سیب به ترتیب به میزان ۱.۱۶ و ۱.۳۱ برای انرژی استفاده شده موجود و حالت ایده آل با توجه هدف را محاسبه کردند، به طوری که با توجه به داده‌ها می‌توان بهینه سازی به میزان ۱۲.۹۳ درصد را انجام داد (Mousavi-Avval *et al.*, 2011b).

سینگ و همکاران (2004) نشان دادند که سطح بهره‌وری موجود در تولید گندم در پنجاب را می‌توان به میزان ۲۲.۳ درصد، ۲۰.۸ درصد، ۹.۸ درصد، ۷.۱ درصد و ۱۵.۹ درصد توسط کاهش در میزان انرژی ورودی نسبت به انرژی ورودی واقعی به ترتیب در مناطق ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ صرفه جویی کرد. در مطالعه دیگری، محمدی و همکاران (2011) گزارش دادند که به طور متوسط، حدود ۱۲ درصد از کل انرژی ورودی برای تولید کیوی در ایران را می‌توان صرفه جویی کرد.

جدول ۳: انرژی بهینه مورد نیاز و صرفه جویی در انرژی برای

تولید کلزا

نهادهای ورودی	انرژی بهینه مورد نیاز ($GJ ha^{-1}$)	صرفه جویی در انرژی ($GJ ha^{-1}$)	صرفه جویی انرژی نسبت به هدف (ESTR) (درصد)
سوخت	8.77	0.004	0.04
ماشین آلات	5.02	0.011	0.21
نیروی کارگری	0.08	-0.001	-0.99
کود شیمیایی	14.62	-0.019	-0.13
سموم	0.13	-0.001	-0.40
بذر	0.14	0.000	-0.04
کل انرژی ورودی	28.77	-0.006	-0.02

بهبود شاخص‌های انرژی

بهبود شاخص‌های انرژی برای تولید کلزا در جدول ۴ ارائه شده است. راندمان استفاده از انرژی به ترتیب بمیزان ۱.۵۳۰ و ۱.۵۵۰ برای انرژی استفاده شده موجود و انرژی مورد استفاده با توجه به هدف (حالت ایده آل) محاسبه شده، یعنی بهبود ۱.۲۹ درصد انرژی بوجود آمد. همچنین، بهره وری انرژی و افزوده خالص انرژی در شرایط هدف (ایده آل) بترتیب برابر $0.073 kg MJ^{-1}$ و $15.821 GJ ha^{-1}$ می‌باشد. توزیع انرژی ورودی با توجه به طبقه بندی انرژی مستقیم، انرژی غیر مستقیم، انرژی تجدید پذیر و تجدید ناپذیر در تولید سویا نیز در جدول ۴ داده شده است. بدیهی است که با بهینه سازی انرژی ورودی، سهم انرژی‌های غیر مستقیم و تجدید ناپذیر نسبت به کل انرژی ورودی افزایش یافته و همچنین

جدول ۴: بهبود شاخص‌های انرژی برای تولید کلزا

مولفه‌ها	واحد	مقدار موجود	مقدار بهینه	تفاوت (درصد)
راندمان استفاده از انرژی	نسبت (درصد)	1.530	1.550	1.29
بهره‌وری انرژی	$Kg MJ^{-1}$	0.070	0.073	3.50
افزوده خالص انرژی	$GJ ha^{-1}$	15.753	15.821	0.43
انرژی‌های مستقیم	$GJ ha^{-1}$	9.013	8.850	-1.84
انرژی‌های غیرمستقیم	$GJ ha^{-1}$	20.517	19.919	-3.00
انرژی تجدید پذیر	$GJ ha^{-1}$	0.226	0.222	-1.87
انرژی تجدید ناپذیر	$GJ ha^{-1}$	29.304	28.547	-2.65
کل انرژی ورودی	$GJ ha^{-1}$	29.531	28.769	-2.65

تعیین سطح ورودی واقع‌گرایانه برای کشاورزان ناکارآمد

در جدول ۵ کارایی تکنیکی خالص (PTE)، استفاده از انرژی واقعی و انرژی بهینه مورد نیاز از منابع انرژی‌های مختلف برای کشاورزان ناکارآمد نشان داده شده است. همچنین مقادیر میانگین و انحراف استاندارد آنها ارائه شده است. با استفاده از این اطلاعات، می‌توان به تولید کنندگان توصیه کرد که با توجه به شیوه‌های عملیاتی بهتر میزان انرژی ورودی را کم کرد به طوری که مقدار خروجی (عملکرد) با توجه به هدف، ثابت باقی



مجله مهندسی زیست سامانه

صرفه جویی انرژی نسبت به هدف (ESTR) به میزان ۴۰۷ درصد می باشد، که نشان می دهد که بین کشاورزان ناکارآمد، کشاورزان شماره های ۳ و ۵ بهترین بودند و کشاورز شماره ۱ ناکارآمدترین بوده است.

جدول ۵: منبع استفاده بهینه از انرژی واقعی و انرژی با توجه به هدف برای کشاورزان ناکارآمد در تولید کلزا (بر اساس مدل BCC)

بماند. بنابراین، انتشار این نتایج به بهبود بهره وری انرژی برای تولید کلزا در منطقه مورد مطالعه کمک خواهد کرد. در ستون آخر جدول ۵ درصد صرفه جویی انرژی نسبت به هدف (ESTR) برای ۲۸ کشاورز ناکارآمد ارائه شده است. همان طور که مشاهده می شود، برای کشاورزان ناکارآمد، محدوده (ESTR) از زیر (۱ درصد) (کشاورزان با شماره ۲۰، ۳۲، ۴۵، ۵۱) تا ۱۹.۳۳ درصد برای (کشاورز شماره ۱)، میانگین درصد

n	صرف واقعی انرژی ($GJ ha^{-1}$)						انرژی بهینه مورد نیاز ($GJ ha^{-1}$)						بازده تکنیکی خالص (PTE)	شماره واحد تصمیم گیری (DMU)
	نیروی انسانی	ماشین-ن-آلات	سوخت	کود شیمیایی	سموم	بذر	نیروی انسانی	ماشین آلات	سوخت	کود شیمیایی	سموم	بذر		
19.33	0.09	4.73	8.71	15.44	0.15	0.17	0.09	4.63	8.53	14.08	0.14	0.14	0.98	۱
14.74	0.09	4.73	8.78	15.44	0.15	0.16	0.09	4.61	8.56	14.48	0.15	0.14	0.98	۲
10.56	0.07	5.83	9.18	14.77	0.15	0.16	0.07	5.05	8.77	14.12	0.14	0.15	0.96	۳
3.68	0.09	4.80	9.09	14.88	0.15	0.14	0.09	4.62	8.51	13.96	0.14	0.14	0.96	۴
1.05	0.07	5.77	9.09	14.87	0.16	0.14	0.07	5.11	9.00	14.72	0.12	0.14	0.99	۵
4.12	0.09	5.12	8.99	14.87	0.15	0.15	0.08	4.91	8.62	14.26	0.15	0.15	0.96	۶
9.04	0.09	5.12	9.14	14.71	0.11	0.16	0.09	4.90	8.75	14.31	0.11	0.14	0.97	۷
2.11	0.09	5.25	9.70	14.93	0.15	0.15	0.08	5.14	8.75	14.62	0.15	0.14	0.98	۸
2.05	0.09	5.12	8.89	14.69	0.10	0.15	0.09	4.88	8.70	14.55	0.10	0.15	0.99	۹
7.20	0.09	4.92	8.60	14.77	0.12	0.15	0.09	4.90	8.56	14.69	0.12	0.14	0.99	۱۰
1.00	0.09	4.92	8.59	13.95	0.10	0.14	0.08	4.73	8.50	13.65	0.10	0.14	0.99	۱۱
1.17	0.10	5.12	8.71	14.27	0.11	0.14	0.08	4.81	8.59	14.11	0.11	0.14	0.99	۱۲
2.05	0.10	5.12	8.90	14.89	0.12	0.15	0.09	4.74	8.51	14.23	0.11	0.14	0.96	۱۳
2.05	0.08	5.18	9.00	14.97	0.15	0.14	0.08	5.00	8.77	14.59	0.14	0.14	0.97	۱۴
4.55	0.08	5.12	9.04	14.93	0.15	0.15	0.08	4.89	8.63	14.25	0.14	0.14	0.95	۱۵
3.00	0.07	5.18	9.08	15.06	0.15	0.15	0.07	5.03	8.81	14.44	0.14	0.15	0.97	۱۶
2.05	0.07	5.25	9.09	14.89	0.15	0.15	0.07	5.13	8.88	14.55	0.13	0.14	0.98	۱۷
1.00	0.07	5.18	8.78	14.75	0.15	0.15	0.07	5.13	8.69	14.60	0.15	0.15	0.99	۱۸
7.58	0.09	4.92	8.69	14.69	0.10	0.15	0.09	4.88	8.60	14.44	0.10	0.14	0.99	۱۹
1.13	0.09	5.12	8.78	15.17	0.10	0.15	0.08	5.05	8.68	15.00	0.10	0.15	0.99	۲۰
2.75	0.08	5.12	8.78	14.87	0.15	0.15	0.08	4.98	8.54	14.46	0.12	0.14	0.97	۲۱
1.70	0.07	5.25	8.88	17.63	0.15	0.15	0.07	5.16	8.73	14.71	0.14	0.15	0.98	۲۲
2.13	0.06	5.31	9.24	16.77	0.15	0.15	0.06	5.20	9.04	14.92	0.15	0.15	0.98	۲۳
1.88	0.06	5.44	9.34	17.27	0.15	0.15	0.06	5.28	9.17	15.05	0.15	0.15	0.98	۲۴
1.00	0.07	5.18	8.79	14.88	0.15	0.15	0.07	5.13	8.70	14.62	0.14	0.15	0.99	۲۵
2.87	0.07	5.31	9.14	17.28	0.15	0.15	0.07	5.16	8.88	14.69	0.15	0.15	0.97	۲۶
1.21	0.06	5.25	9.19	15.17	0.15	0.15	0.06	5.19	9.08	14.99	0.15	0.15	0.99	۲۷
0.97	0.07	5.18	8.94	15.17	0.15	0.15	0.07	5.13	8.85	14.61	0.14	0.15	0.99	۲۸
4.07	0.08	5.16	8.97	15.21	0.14	0.15	0.08	4.98	8.73	14.49	0.13	0.14	0.98	میانگین:
4.50	0.01	0.25	0.25	0.90	0.02	0.01	0.01	0.19	0.18	0.33	0.02	0.00	0.01	انحراف استاندارد:



نتیجه گیری

در این مطالعه، روش غیر پارامتری تحلیل پوششی داده‌ها برای تجزیه و تحلیل بازده تولید کلزا در استان مازندران، از نظر انرژی مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل از تحقیقات، نتایج زیر بدست آمده‌اند:

۱- از مجموع ۵۲ کشاورز در نظر گرفته شده برای تجزیه و تحلیل، ۰.۰۹ درصد و ۴۶.۱۵ درصد به ترتیب از نظر کارایی تکنیکی و کارایی تکنیکی خالص، از نظر انرژی کارآمد بودند.
۲- مقادیر متوسط نمرات کارایی تکنیکی و کارایی تکنیکی خالص و بازده به مقیاس کشاورزان به ترتیب برابر ۰.۷۳، ۰.۹۹ و ۰.۷۴ به دست آمده است.

۳- صرفه جویی انرژی نسبت به هدف (ESTR) برای تولید کلزا ۱.۲۹ درصد محاسبه شد؛ نشان می‌دهد که با توجه به اطلاعات به دست آمده از این مطالعه، حدود ۰.۰۰۶ - GJ ha^{-1} از کل انرژی ورودی را در حالی که سطح عملکرد کلزا ثابت نگه داشته شود؛ را نمی‌توان ذخیره کرد.

نتایج مقایسه شاخص‌های انرژی نشان داد که با بهینه سازی مصرف انرژی، کارایی انرژی، بهره وری انرژی و افزودن خالص انرژی با در نظر گرفتن انرژی واقعی مورد استفاده، به ترتیب می‌توان به میزان ۱.۲۹ درصد، ۳.۵۰ درصد و ۰.۴۳ درصد افزایش داد.

منابع

- 1- Adler N, Friedman L, Sinuany-Stern Z. Review of ranking methods in the data envelopment analysis context. *Eur J Oper Res* 2002;140(2):249-65.
- 2-Angulo-Meza L, Lins MPE. Review of methods for increasing discrimination in Data Envelopment Analysis. *Ann Oper Res* 2002;116(1-4):225-42.
- 3- Anonymous, (1391). Statistics, Ministry of Agriculture, crop year 1391-1390. Ministry of Agriculture of Iran.
- 4- Avkiran NK. Investigating technical and scale efficiencies of Australian universities through data envelopment analysis. *Socioecon Plann Sci* 2001;35(1):57-80.
- 5- Bames A. Does multi-functionality affect technical efficiency? A non-parametric analysis of the Scottish dairy industry. *J Environ Manage* 2006;80(4):287-94.
- 6- Banker R, Charnes A, Cooper W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Manage Sci* 1984;30:1078-92.
- 7- Canakci A, Akinci I. Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. *Energy* 2006;31:1243-56.
- 8-Cetin B, Vardar A. An economic analysis of energy requirements and input costs for tomato production in Turkey. *Renew Energy* 2008;33:428-33.
- 9- Charnes A, Cooper WW, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision-making units. *Eur J Oper Res* 1978;2:429-44.
- 10- Chauhan NS, Mohapatra PKJ, Pandey KP. Improving energy productivity in paddy Production through benchmarking—an application of data envelopment analysis. *Energy Convers Manage* 2006;47(9-10):1063-85.
- 11- Cooper W, Seiford LM, Tone K. Data Envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software. New York: Springer; 2007.
- 12- Dupont, J., P.J. White, H.A. Johnston, B.E. Mc-Donald, S.M. Grundy and A. Bonanome., Food safety and health effects of canola oil. *J. Am. College Nutr.*, 1989; 8(5): 360-375.
- 13- Erdal G, Esengun K, Erdal H, Gunduz O. Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy* 2007;32(1):35-41.
- 14- Esengun K, Gunduz O, Erdal G. Input-output energy analysis in dry apricot production of Turkey. *Energy Convers Manage* 2007;48:592-8.
- 15- Fraser I, Cordina D. An application of Data Envelopment Analysis to irrigated dairy farms in Northern Victoria, Australia. *Agric Syst* 1999;59(3):267-82.



- 26-Rafiee S, Mousavi-Avval SH, Mohammadi A. Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran. *Energy* 2010;35:3301-6.
- 27- SarIca K, Or I. Efficiency assessment of Turkish power plants using data envelopment analysis. *Energy* 2007;32(8):1484-99.
- 28- Sexton TR, Silkman RH, Hogan AJ. Data envelopment analysis: critique and extensions. In: Silkman RH, editor. *Measuring efficiency: an assessment of data envelopment analysis*. San Francisco: Jossey-Bass; 1986.
- 29- Singh JM. On farm energy use pattern in different cropping systems in Haryana, India. Master of science. Germany: International Institute of Management, University of Flensburg; 2002.
- 30- Singh G, Singh S, Singh J. Optimization of energy inputs for wheat crop in Punjab. *Energy Convers Manage* 2004;45:453-65.
- 31- Unakitan G, Hurma H, Yilmaz F. An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey. *Energy* 2010;35:3623-7.
- 32-Yamane, T., *Elementary Sampling Theory*. Engle Wood Cliffs, NJ, Prentice-Hall Inc., USA. 1967.
- 33- Zangeneh M, Omid M, Akram A. A comparative study on energy use and cost analysis of potato production under different farming technologies in Hamadan province of Iran. *Energy* 2010;35:2927-33.
- 34- Zeratsky, K., .Canola Oil: Does it Contain Toxins? Mayo Clinic, Retrieved from: 2009; <http://www.mayoclinic.com/health/canola-oil/AN01281>.
- 35- Zhang X, Huang GH, Lin Q, Yu H. Petroleum-contaminated groundwater remediation systems design: a data envelopment analysis based approach. *Expert Syst Appl* 2009;36(3, Part 1):5666-72.
- 36- Zhou P, Ang BW, Poh KL. A survey of data envelopment analysis in energy an environmental studies. *Eur J Oper Res* 2008;189:1-18.
- 16-Galanopoulos K, Aggelopoulos S, Kamenidou I, Mattas K. Assessing the effects of managerial and production practices on the efficiency of commercial pig farming. *Agric Syst* 2006;88(2-3):125-41.
- 17- Hu JL, Kao CH. Efficient energy-saving targets for APEC economies. *Energy Policy* 2007;35(1):373-82.
- 18- Mikkola JH, Ahokas J. Indirect energy input of agricultural machinery in bioenergy production. *Renew Energy* 2010;35:23-8.
- 19- Mobtaker HG, Keyhani A, Mohammadi A, Rafiee S, Akram A. Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. *Agric Ecosyst Environ* 2010;137(3-4):367-72.
- 20-Mohammadi A, Omid M. Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. *Appl Energy* 2010;87(1):191-6.
- 21- Mohammadi A, Rafiee SH, Mohtasebi SS, Mousavi-Avval SH, Rafiee H. Energy efficiency improvement and input cost saving in kiwifruit production using Data Envelopment Analysis approach. *Renew Energy* 2011;36:2573-9.
- 22-Mousavi-Avval SH, Rafiee S, Jafari A, Mohammadi A. Optimization of energy consumption for soybean production using Data Envelopment Analysis (DEA) approach. *Appl Energy* 2011a ;35:2156-64.
- 23-Mousavi-Avval SH, Rafiee S, Mohammadi A. Optimization of energy consumption and input costs for apple production in Iran using data envelopment analysis. *Energy* 2011b;36 :909-16.
- 24-Nassiri SM, Singh S. Study on energy use efficiency for paddy crop using data envelopment analysis (DEA) technique. *Appl Energy* 2009; 86(7):1320-5.
- 25- Ozkan B, Fert C, Karadeniz CF. Energy and cost analysis for greenhouse and open-field grape production. *Energy* 2007;32(8):1500-4.



Energy efficiency improvement and input energy saving in canola production using Data Envelopment Analysis approach

Adel Ranji^{1*}, and Mohammad Mehdi Amiri Khorie², Esmaeil Pirzadeh³

1. Researchers and Elite Club, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran

2. Young Researchers and Elites club, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3. Researchers and Elite Club, Kazerun Branch, Islamic Azad University, Kazerun, Iran

Adelranji@yahoo.com

Abstract:

The objective of this study was the application of non-parametric method of data envelopment analysis (DEA) to analyze the efficiency of farmers, discriminate efficient farmers from inefficient ones and to identify wasteful uses of energy for canola production in Mazandaran province, Iran. This method was used based on six energy inputs including human labor, machinery, diesel fuel, fertilizers, biocide and seed energy and three output of canola (yield). Technical, pure technical, scale and cross efficiencies were calculated using CCR and BCC models for farmers. From this study the following results were obtained: from the total of 52 farmers, considered for the analysis, 0.09 % and 46.15 % were found to be technically and pure technically efficient, respectively. The average values of technical, pure technical and scale efficiency scores of farmers were found to be 0.73, 0.99 and 0.74, respectively. The comparative results of energy indices revealed that by optimization of energy consumption, energy efficiency, energy productivity and net energy with respect to the actual energy use can be increased by 1.29 %, 3.50 % and 0.43 %, respectively.

Keywords: analysis Optimization, DEA, CCR and BCC models, Technical efficiency, Canola