دوره ۶ ، شماره ۱، بهار۱۳۹۶

مجله مهندسی زیست سامانه

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]*، داود محمد زمانی[۲]، محمد مهدی امیری خوریه [۳]و اسماعیل پیرزاده[۴]

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۷

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۱۷

چکیده:

هدف از این مطالعه استفاده از روش غیر پارامتری، تحلیل پوششی داده ها (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. کارآیی تکنیکی،کارآیی 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 کارآیی تکنیکی و کارآیی خالص کارآمدتر بودند. متوسط مقادیر کارآیی تکنیکی، کارآیی 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 :

کلزا (*Brassica napus L.*) برای تولید روغن خوراکی مناسب بوده و به مصرف انسان و دام نیز می رسد (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 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

۱و۲- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران

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

۲- استادیار، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، قزوین، ایران

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

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

غیر تجاری شامل: بذر، کود حیوانی و همچنین انرژی‌های تجاری شامل: سوخت، کود شیمیایی، سموم شیمیایی، آب آبیاری، ماشین ها 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 سیستم های 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 داده ها (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 کارآیی 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 داده ها برای تجزیه و تحلیل بازده تولید سیب در استان تهران استفاده کردند، نتایج نشان داد که ۱۱.۳ درصد 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):

$$n = (\sum N_h S_h)/\left(N^2 D^2 + \sum N_h S_h^2\right) \qquad (۱)$$

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 $(x-\bar{X})$، N_h تعداد افراد جامعه در طبقه h، Z قابلیت اطمینان (۹۵٪)، S_h انحراف معیار استاندارد در طبقه h، $D^2 = d^2/z^2$ می‌باشد.

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.

جدول۱ : میزان ورودی و خروجی انرژی در تولید کلزا

نهاده‌ها	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 فسفاته (P2O5) (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

در تحلیل پوششی داده‌ها، واحدهای تصمیم گیری 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 تصمیم گیری (DMU) کارآمد تبدیل کرد. (Zhou *et al*., 2008).

انتخاب جهت گیری بین ورودی و خروجی بستگی به ویژگی-های منحصر بفرد از مجموعه‌ای از DMU های (واحد تصمیم گیرنده) مورد مطالعه دارد. در این مطالعه یک خروجی و ورودی‌های متعدد استفاده شده است. همچنین در تولید محصولات کشاورزی، یک کشاورز کنترل بیشتری(۲)ی نهاده-های ورودی به جای سطح خروجی دارد و به عنوان یک پیشنهاد، مدیریت بیشتر بر روی نهاده‌های ورودی به جای خروجی به نظر معقول تر 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 می باشد. تحلیل پوششی داده در مدل CCR با فرض بر بازدهی ثابت نسبت به مقیاس در این تحقیق بنا شده است. در این اندازه گیری، در کارایی تکنیکی، کارآیی واحدهای تصمیم گیری نسبت به دیگر واحدهای تصمیم گیری 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 این مدل محاسبه کارایی تکنیکی واحدهای تصمیم گیری را تحت متغیر بازگشت به حالت مقیاس بررسی می کند. 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 تصمیم گیری، بهترین عملکرد در تولید را دارد و بدون کاهش در 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)

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

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

(۳)

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

(۴)

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

(۵)

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

(۶)

$$u_r \ge 0, v_s \ge 0,$$ و (i و j = 1; 2; 3;…; k)

که در آن θ کارایی تکنیکی و i نشان دهنده iام واحد تصمیم-گیری (که در معادله (۳) و (۶) ثابت خواهد شد، در حالی که j در معادله (۴) افزایش می‌یابد) است. مدل فوق یک مدل برنامه

[1] - Linear programming

ریزی خطی است و معروف به مدل CCR در تحلیل پوششی داده‌ها می‌باشد، که فرض بر این است که بین بازده به مقیاس و کارآیی رابطه معنی داری وجود ندارد (Avkiran,2001). 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 داده‌ها می‌باشد، که توسط بانکر و همکاران در سال ۱۹۸۴ معرفی شدند، این مدل را مدل BCC می‌نامند و محاسبه کارایی تکنیکی از DMU ها (واحدهای تصمیم گیرنده) تحت متغیر بازده به مقیاس است. کارایی تکنیکی خالص می‌تواند 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 می‌تواند توسط برنامه خطی دوگانه[1] (DLP) به شرح زیر بیان شود.

$$\text{حداکثر } z = uy_i - u_i \quad (۷)$$

$$\text{تحت } vx_i = 1 \quad (۸)$$

$$-vX + uY - u_o e \le 0 \quad (۹)$$

$$v \ge 0, u \ge 0 \text{ و } u_o \text{ متغیر آزاد} \quad (۱۰)$$

که در آن z و u_0 عددی و متغیر آزاد، U و V خروجی و ورودی‌های ماتریس وزن، Yو X به ترتیب مربوط به ماتریس-های خروجی و ورودی می‌باشد. حروف x_i و y_i اشاره به ورودی و خروجی‌ها iام 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 می‌تواند 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 کارامد باشد، پس آن واحد تصمیم گیری در اندازه مقیاس مولد ترین عامل می‌باشد. اگر یک واحد تصمیم گیری نمره بازده تکنیکی خالص بالایی داشته باشد، اما نمره بازده تکنیکی واحد تصمیم گیری کمی داشته باشد، سپس آن واحد در سطح محلی کارامد اما توجه به اندازه مقیاس آن در سطح جهانی کارامد 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 می‌توان به شرح زیر بیان کرد: (۱۱)

$$\text{بازده به مقیاس} = \frac{\text{کارآیی تکنیکی}}{\text{کارآیی تکنیکی خالص}}$$

بهره وری متقابل

نتایج مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها به صورت دو مجموعه واحدهای تصمیم گیرنده کارآمد و ناکارآمد از هم جدا می شوند، بسیاری از واحدهای کارآمد محاسبه شده را نمی‌توان رتبه بندی کرد. همچنین در تحلیل پوششی داده‌ها 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 کارآمدترند، 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 می‌توان در یک ماتریس جمع آوری کرد و به نام ماتریس بهره وری متقابل نامید. در این ماتریس E_{ij}، عنصر سطر i ام 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 می‌توان با توجه به متوسط نمره بهره وری متقابل رتبه بندی کرد، که می‌تواند 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

[1] - Double linear programming

عملکرد خوبی در تولید میباشند (Angulo-Meza and Lins, 2002; Chauhan *et al*., 2006; Zhang *et al*., 2009).

در تجزیه و تحلیل واحدهای تصمیم گیری کارآمد و ناکارآمد، شاخص صرفه جویی انرژی نسبت به هدف[1] (ESTR) را می توان مورد استفاده قرار داد که نشان دهنده سطح ناکارآمدی برای هر واحد تصمیم گیری با توجه به مصرف انرژی است. فرمول به صورت زیر بیان می‌شود:

$$ESTR_j = \frac{\text{(صرفه جویی در انرژی هدف)}_j}{\text{(مقدار ورودی واقعی انرژی)}_j} \quad (۱۲)$$

که در آن هدف صرفه جویی در انرژی، کاهش مقدار نهاده ورودی است که می تواند بدون کاهش سطح خروجی و j؛ نشان دهنده jام واحد تصمیم گیری ذخیره کننده انرژی می باشد. 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 می باشد؛ مانند آن هایی که کارآمد هستند، از سوی دیگر برای واحدهای تصمیم گیری ناکارآمد، مقدار صرفه جویی انرژی نسبت به هدف (ESTR) بزرگ تر از صفر است، بدان معنی است که می تواند 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 تصمیم گیری می توان انجام داد (Hu and Kao, 2007). به منظور محاسبه بازده کشاورزان و تفاوت بین کشاورزان کارآمد و ناکارآمد، نرم افزار اکسل[2] و نرم افزار تحلیلگر مرزی[3] 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 نمونه های 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 کارآیی تکنیکی خالص و کارآیی تکنیکی برابر با یک داشته اند. هرچند ۵ کشاورز (۰.۰۹٪) دارای کارآیی 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 کارآیی 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 کارآیی تکنیکی خالص کارآمد هستند؛ علت شرایط زیان آورشان از نظر اندازه در مقیاس مزارع می‌باشد. از بین کشاورزان ناکارآمد به‌ترتیب ۸ و ۲۸ کشاورز دارای کارآیی تکنیکی و کارآیی تکنیکی خالص، در محدوده ۰.۹۹-۰.۹دارند، 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) می باشد.

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 گسترده ای 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 کارآیی تکنیکی، کارآیی تکنیکی خالص و بازده به مقیاس بترتیب ۰.۹۴، ۰.۹۹و 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)

[1] - Energy Saving Target Ratio
[2] - Microsoft Excel
[3] - Frontier Analyst software

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

شماره کشاورز	کارآیی تکنیکی خالص	کارآیی تکنیکی	بازده به مقیاس	شماره کشاورز	کارآیی تکنیکی خالص	کارآیی 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

	کارآیی تکنیکی خالص	کارآیی تکنیکی	بازده به مقیاس
میانگین:	0.99	0.73	0.74
انحراف استاندارد:	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 ارایه داده شده است. نتایج نشان داد که کل انرژی بهینه مورد نیاز برای تولید سویا ۲۸.۷۷ $GJ\ ha^{-1}$، 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 ۰.۰۰۶- $GJ\ ha^{-1}$ از کل انرژی ورودی را نمی‌توان ذخیره کرد. همانطور که قبلا 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.

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 به‌ترتیب 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 می-توان صرفه جویی کرد.

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

نهاده‌های 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 شاخص های 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 انرژی افزایش یافته و همچنین 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 می توان 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 انرژِی 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).

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 شیوه های عملیاتی بهتر میزان انرژی ورودی را کم کرد به طوری که مقدار خروجی (عملکرد) با توجه به هدف، ثابت باقی

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 می‌شود، 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 صرفه جویی انرژی نسبت به هدف (ESTR) به میزان ۴.۰۷ درصد می باشد، که نشان می‌دهد که بین کشاورزان ناکارآمد، کشاورزان شماره‌های ۳و ۵ بهترین بودند و کشاورز شماره ۱ ناکارآمد ترین 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)

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

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 ۱.۲۹درصد 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، کارآیی انرژی، بهره وری انرژی و افزوده خالص انرژی با در نظر گرفتن انرژی واقعی مورد استفاده، به ترتیب می‌توان به میزان ۱.۲۹درصد، ۳.۵۰درصد و۰.۴۳ 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.

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, AkramA. 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 Energy2009; 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.
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.

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

Adel Ranji[1]*, Davood Mohammad Zamani[2] and Mohammad Mehdi Amiri Khorie[3], Esmaeil Pirzadeh

1,2. Researchers and Elite Club, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran

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

4. 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*