

## Analysis and Optimization of Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions in Sugarcane Production Using Data Envelopment Analysis

ALI KAAB<sup>1</sup>, MOHAMMAD SHARIFI<sup>2\*</sup>, HOSSEIN MOBLI<sup>3</sup>

1. M.Sc. Student, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2. Associate Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3. Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran  
(Received: Feb. 3, 2018- Revised: Apr. 12, 2018- Accepted: May. 5, 2018)

### ABSTRACT

This study was conducted to analyze and optimize the energy consumption and greenhouse gas emissions for sugarcane production in planted and ratoon farms using data envelopment analysis in Khuzestan Province. Information needed for this study, related to the years of 2011-2016, were interviewed by company staff and filled out questionnaire from Imam Khomeini Sugarcane Agro-Industrial Company. Based on two models of constant return to scale and variable return to scale, the average values of technical efficiency, pure technical efficiency and scale efficiency were calculated as 0.91, 0.98 and 0.93 in planted farms and 0.95, 0.98 and 0.96 in ratoon farms, respectively. In optimal consumption mode, total energy savings of 14763.1 (equivalent to 8.52%) and 3205.17 (equivalent to 2.61%) MJ ha<sup>-1</sup> was calculated planted and ratoon farms, respectively. Of the total energy stored in plant farms, the largest share storage of electricity, water for irrigation and diesel fuel belonged to 77.03%, 7.64% and 5.58%, respectively. Also, electricity, water for irrigation and diesel fuel were 51.57%, 26.51% and 13.2%, respectively, also of the total energy stored in the ratoon farms, with the highest percentage of storage compared to conventional consumption. The amount of total greenhouse gas emissions were 5825.25 and 4310.76 kgCO<sub>2eq</sub> ha<sup>-1</sup> in planted and ratoon farms, respectively and optimal mode 5192.13 and 4200.75 kgCO<sub>2eq</sub> ha<sup>-1</sup> respectively. The amount of was reduced to 633.12 and 110.1m kgCO<sub>2eq</sub>, in planted and ratoon farms, respectively.

**Keywords:** Energy, Greenhouse gas emissions, Sugarcane, Optimization, Data envelopment analysis

## تجزیه و تحلیل و بهینه‌سازی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید نیشکر با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها

علی کعب<sup>۱</sup>، محمد شریفی<sup>۲\*</sup>، حسین مبلی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی،

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲. دانشیار، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی،

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳. استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی،

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۴ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱/۲۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۲/۱۵)

### چکیده

این مطالعه به منظور تجزیه و تحلیل و بهینه‌سازی انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای برای تولید نیشکر در مزارع پلنت و راتون با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها در استان خوزستان انجام گرفت. اطلاعات لازم برای انجام این مطالعه، مربوط به سال‌های زراعی ۹۵-۱۳۹۰ می‌باشد که از طریق مصاحبه حضوری و تکمیل پرسش‌نامه از کارکنان شرکت کشت و صنعت نیشکر امام خمینی (ره) جمع‌آوری شدند. بر اساس دو مدل بازگشت به مقیاس ثابت و بازگشت به مقیاس متغیر، مقادیر متوسط کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس به ترتیب برابر با ۰/۹۱، ۰/۹۸ و ۰/۹۳ در مزارع پلنت و ۰/۹۵، ۰/۹۸ و ۰/۹۶ در مزارع راتون محاسبه شدند. در حالت مصرف بهینه، صرفه‌جویی در کل انرژی (انرژی ذخیره شده) ۱۴۷۶۳/۱ (معادل ۰/۸۵۲) و ۳۲۰۵/۱۷ (معادل ۰/۲۶۱) مگاژول بر هکتار به ترتیب در مزارع پلنت و راتون محاسبه شد. از کل انرژی ذخیره‌شده در مزارع پلنت، بیشترین سهم ذخیره انرژی مربوط به الکتریسیته، آب آبیاری و سوخت دیزل به ترتیب ۰/۳، ۰/۷۷/۰۳ و ۰/۷/۶۴ و ۰/۵/۵۸، ۰/۵۱/۵۷ و ۰/۲۶/۵۱ دارای بالاترین درصد ذخیره نسبت به الکتریسیته، آب آبیاری و سوخت دیزل به ترتیب می‌باشد. همچنین از کل انرژی ذخیره‌شده در مزارع راتون، حالت قبل از بهینه‌نهادن مصرفی در شرکت بودند. میزان کل انتشار گازهای گلخانه‌ای در یک هکتار در مزارع پلنت و راتون به ترتیب برابر با ۵۸۲۵/۲۵ و ۴۳۱۰/۷۶ کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید بوده و در حالت بهینه ۵۱۹۲/۱۳ و ۴۲۰۰/۷۵ محاسبه شد. در مزارع پلنت و راتون در حالت بهینه به میزان ۶۳۳/۱۲ و ۱۱۰/۰۱ کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید کاهش یافت.

**واژه‌های کلیدی:** انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای، نیشکر، بهینه‌سازی، تحلیل پوششی داده‌ها

### مقدمه

محصولات جانبی می‌تواند نقش عمده‌ای در رفع این نیاز و قطع وابستگی ایفا کند. دوره تناوب محصول نیشکر دو تا پنج سال طول می‌کشد و در بعضی موارد با توجه به شرایط مساعد خاک و مزرعه تا هفت سال هم مزرعه می‌تواند عملکرد قابل قبول داشته باشد. به مزارع نیشکری که سال اول کشت شده، پلنت و به مزارع سال‌های بعد راتون گویند. مراحل کاری زراعت نیشکر شامل آماده‌سازی زمین، کاشت، مرحله داشت که شامل کوددهی، علف‌کشی و آبیاری و همچنین مرحله برداشت می‌باشد (Anonymous, 2013).

تأمین و تولید انرژی و چگونگی مصرف آن در جهان از دیرباز یکی از دغدغه‌های ذهن بشر و مباحث روز دنیا بوده است و یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار در تولید پایدار محصولات

نیشکر مهم‌ترین محصولی است که برای تولید شکر کشت می‌شود. حدود ۶۰ درصد شکر جهان از نیشکر و حدود ۴۰ درصد آن از چغندر قند تولید می‌شود. علاوه بر تولید شکر، مواد دیگری نیز مانند علوفه، فیبر، خوراک دام، ملاس از نیشکر تولید می‌شود (Taheri et al., 2010). در کشور ایران به جهت افزایش روزافزون جمعیت و بالا رفتن مقدار شکر مصرفی، هم‌اکنون مقدار زیادی شکر از خارج وارد کشور می‌شود. کشت نیشکر به‌عنوان محصولی استراتژیک با درصد شکر بالا و داشتن

\* نویسنده مسئول: m.sharifi@ut.ac.ir

روش‌های نوین بهینه‌سازی، یکی از فاکتورهای مهم به‌منظور استفاده درست از مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. بهینه‌سازی در یک سامانه، فرآیندی است که در طی آن، با تغییر مقادیر ورودی یا خروجی می‌توان به بیشترین میزان سود یا کمترین میزان زیان دست‌یافت (Elhami *et al.*, 2016a). تحلیل پوششی داده‌ها یک مدل ریاضیاتی قوی بوده که به‌صورت گسترده در جهت نیل به اهداف عالی سازمان و اندازه‌گیری کارایی یک سامانه تولیدی به‌کاربرده می‌شود. این روش برای ارزیابی کارایی مجموعه واحدهای تصمیم‌گیرنده مشابه است که ورودی‌ها را به خروجی‌ها تبدیل می‌کنند (Zhang *et al.*, 2009). و همچنین دارای چهار مدل اصلی می‌باشد که عبارت‌اند از: مدل بازگشت به مقیاس ثابت (CRS)، مدل بازگشت به مقیاس متغیر (VRS)، مدل بازگشت به مقیاس افزایشی (IRS) و مدل بازگشت به مقیاس کاهش (DRS). هرکدام از مدل‌های مذکور دارای دو جهت مطالعاتی خروجی محور و ورودی محور می‌باشند. منظور از مدل ورودی محور این است که به چه میزان باید ورودی‌ها را با ثابت نگه‌داشتن میزان خروجی‌ها، کاهش داد تا واحد موردنظر به مرز کارایی برسد. در اندازه‌گیری‌های خروجی محور سعی بر آن است که با ثابت نگه‌داشتن میزان ورودی به حداکثر میزان خروجی دست‌یافته و واحد به مرز کارایی برسد. در کشاورزی به دلایل اقتصادی و زیست‌محیطی سعی بر حداقل کردن میزان ورودی است (Jacobs, 2006). تحلیل پوششی داده‌ها در سه تعریف متفاوت کارایی فنی (TE)، کارایی فنی خالص (PTE) و کارایی مقیاس (SEf) مطرح می‌گردد (Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2016).

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها صورت گرفته است (Elhami *et al.*, 2016a; Khoshnevisan *et al.*, 2013a; Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2014; Amid *et al.*, 2016; Payandeh *et al.*, 2016). در تحقیقی به بهینه‌سازی مصرفی انرژی برای تولید عدس آبی در استان اصفهان شهرستان فریدون‌شهر با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها پرداختند. بر اساس نتایج بهینه‌سازی ۳/۱۲٪ از کل انرژی مصرفی عدس قابلیت ذخیره‌سازی است (Elhami *et al.*, 2016a). در مطالعه‌ای به بررسی انرژی ورودی برای تولید گندم در پنج منطقه در پنجاب هند از تابع تولید مرزی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که بدون تغییر در سطح عملکرد از وضعیت فعلی می‌توان از کل انرژی ورودی در مناطق ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ به ترتیب ۲۲/۳، ۲۰/۸، ۹/۸، ۷/۱ و ۱۵/۹ درصد ذخیره کرد (Singh *et al.*, 2004). در پژوهشی به‌منظور

غذایی و کشاورزی، مقدار انرژی ورودی به ازای تولید یک واحد از محصول است. انرژی نقشی تأثیرگذار در توسعه بخش‌های مهم اقتصادی از قبیل حمل‌ونقل، صنعت و کشاورزی دارد. ارزیابی انرژی و آلاینده‌های زیست‌محیطی یک فرآیند تولیدی از نظر ارائه راهکارهای کاهش مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌ها، دارای اهمیت می‌باشد. به این دلیل تحقیقات بسیاری از محققان به سمت مدیریت انرژی معطوف می‌باشد. از سوی دیگر، استفاده‌ی بیش‌ازحد انرژی باعث بروز برخی از مشکلات مربوط به سلامتی انسان و محیط‌زیست می‌شود؛ لذا بررسی انتشار آلاینده‌ها در فرایندهای تولید مواد غذایی امری ضروری به نظر می‌رسد (Kouchaki-Penchah *et al.*, 2016a). امروزه یکی از مهم‌ترین بحث‌های مطرح‌شده در توسعه پایدار کشاورزی مقدار انرژی تولیدی به ازای مقدار انرژی مصرفی می‌باشد. هر چه مقدار انرژی تولیدی نسبت به انرژی مصرفی بیشتر باشد، یا به‌عبارت‌دیگر، میزان بهره‌وری انرژی بیشتری داشته باشد، در جهت توسعه پایدار کشاورزی بوده و هر چه این نسبت کوچک‌تر باشد، تخریب محیط‌زیست و ناپایداری اکولوژیکی را نشان می‌دهد (Pishgar-Komleh *et al.*, 2011). در پژوهشی به محاسبه میزان مصرف انرژی و تجزیه و تحلیل انتشار کربن دی‌اکسید در مزارع نیشکر پرداخته‌شده است. نتایج نشان داد کل انرژی ورودی در مزارع پلنت و راتون به ترتیب ۱۹۸ و ۱۴۴ گیگاژول بر هکتار بود و ۴۳٪ انرژی مستقیم و ۵۷٪ انرژی غیرمستقیم در مزارع پلنت محاسبه شد. ۳۳٪ و ۶۷٪ به ترتیب انرژی مستقیم و غیرمستقیم در مزارع راتون به دست آمد. بیشترین مصرف انرژی مربوط به الکتریسیته و آب آبیاری که به ترتیب ۳۹٪ و ۲۸٪ بود و ۸/۲ و ۶/۴ تن کربن دی‌اکسید به ترتیب در مزارع پلنت و راتون به دست آمد (Sefeedpari *et al.*, 2014). نتایج تحقیقی در خصوص تحلیل انرژی در تولید نیشکر در مزارع پلنت نشان داد کل انرژی نهاده‌ها ۱۴۸/۰۲ گیگا ژول بوده و انرژی مربوط به سوخت و الکتریسیته بالابود (Karimi *et al.*, 2008).

استفاده بهینه از منابع انرژی و بهبود بهره‌وری مصرف انرژی یک مسیر ممکن برای کاهش زیان‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف نهاده‌های انرژی در تولید مواد غذایی محسوب می‌شود که صرفه‌جویی مالی، حفظ منابع فسیلی و کاهش آلودگی هوا را به ارمغان می‌آورد. منابع طبیعی محدود و اثرات سوءاستفاده نامناسب از منابع مختلف انرژی روی سلامتی انسان و محیط‌زیست، ضرورت بررسی الگوهای مصرف انرژی برای استفاده مؤثر از آن را در بخش کشاورزی حیاتی ساخته است (Mousavi-Avval *et al.*, 2011). بر این اساس استفاده از

که در آن N اندازه جامعه آماری یا تعداد مزارع منطقه مورد مطالعه، t ضریب اطمینان قابل قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر از جدول تی استیودنت به دست می آید،  $S^2$  برآورد واریانس صفت مورد مطالعه در جامعه؛ d دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله اطمینان) و n حجم نمونه است (Elhami *et al.*, 2016b).

### انرژی ورودی و خروجی

انرژی ورودی برای منابع مختلف ورودی سامانه شامل ماشین‌های کشاورزی، نیروی انسانی، سوخت دیزل، کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی، قلمه نیشکر، الکتريسيته و آب آبیاری در نظر گرفته شدند. همچنین خروجی سامانه شامل نیشکر می‌باشد. معادل انرژی هر یک از نهاده‌های ورودی و خروجی در جدول (۱) آورده شده است. انرژی نهاده‌های مصرفی از ضرب هم‌ارزهای انرژی در میزان مصرف نهاده‌ها بر هکتار محاسبه گردیدند.

جدول ۱. ضریب‌های استاندارد انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها برای تولید نیشکر

عنوان	واحد	محتوای انرژی (MJ/unit)	منبع
<b>نهاده‌ها</b>			
۱. نیروی انسانی	h	۱/۹۶	Nabavi-pelesaraei <i>et al.</i> , (2014)
۲. ماشین‌ها	kg		Kitani, (1999)
تراکتور و ادوات خودگردان		۹-۱۰	Kitani, (1999)
هاروستر		۸-۱۰	Kitani, (1999)
سایر ماشین‌ها		۶-۱۰	Kitani, (1999)
۳. سوخت دیزل	l	۵۶/۳۱	Kouchaki-Penchah <i>et al.</i> , (2016b)
۴. سموم شیمیایی	kg	۲۵۰	Pishgar-Komleh <i>et al.</i> , (2012)
۵. کودهای شیمیایی	kg		
نیتروژن		۷۸/۱	Kitani, (1999)
فسفر		۱۷/۴	Kitani, (1999)
۶. آب آبیاری	m <sup>3</sup>	۱/۰۲	Mohammadi <i>et al.</i> , (2010)
۷. الکتريسيته	kWh	۱۲	Kitani, (1999)
۸. قلمه نیشکر	kg	۱/۲	Ricaud, (1980)
<b>ستانده</b>			
۱. نیشکر	kg	۱/۲	Fluck, (1992)

انرژی مربوط به نهاده‌های ماشینی یکی از مهم‌ترین اقلام انرژی مصرفی در کل فرآیند موازنه انرژی تولیدات کشاورزی است. برای محاسبه انرژی ماشین‌های استفاده شده از رابطه (۲)

بهینه‌سازی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در محصول خیار در استان اصفهان با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها، کل انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در حالت واقعی به ترتیب ۱۶/۱۶۶۷ گیگاژول بر هکتار و ۳/۴۵۱۷۷ کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید بر هکتار محاسبه شدند و در حالت بهینه انرژی مصرفی ۲۴/۱۲۵۹ گیگاژول بر هکتار و انتشار گازهای گلخانه‌ای ۳۴۹۹۶ کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید بر هکتار محاسبه شدند (Khoshnevisan *et al.*, 2013a).

با وجود گستردگی تحقیقات در زمینه‌ی انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در نیشکر ایران، هیچ‌یک از آن‌ها از دیدگاه بهینه‌سازی مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی مرتبط با آن، به این مقوله نپرداخته‌اند. بنابراین هدف اصلی در این مطالعه بهینه‌سازی انرژی مصرفی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای برای تولید محصول نیشکر در مزارع پلنت و راتون با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها در شرکت کشت و صنعت نیشکر امام خمینی (ره) می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق در یک دوره پنج‌ساله در سال‌های زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۰ در اراضی کشت و صنعت نیشکر امام خمینی (ره) به عنوان یکی از شرکت‌های هفت‌گانه وابسته به شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی استان خوزستان انجام شد. این شرکت در موقعیت جغرافیایی بین ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است (Ministry of Jihad-e-Agriculture, 2013). کل مزارع موجود در منطقه مورد مطالعه برابر با ۴۸۰ مزرعه می‌باشد. از این مجموع، مزارع پلنت شامل ۱۰۶ مزرعه و مزارع راتون شامل ۳۷۴ مزرعه هستند. در این واحد، مزارع در قالب‌های ۲۵ هکتاری تقسیم شده‌اند.

با توجه به گسترده بودن جامعه آماری در این پژوهش از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده برای تعیین حجم نمونه استفاده شد. حجم نمونه مورد نیاز برای محصول نیشکر با استفاده از رابطه کوکران (رابطه ۱) برابر با ۹۲ نمونه در این تحقیق برآورد گردید. جهت تکمیل آمار و اطلاعات مربوط به وضعیت کشاورزی در منطقه مورد مطالعه در سال‌های زراعی ۹۵-۱۳۹۰، سعی گردید در مراحل مختلف تحقیق با کارشناسان کشت و صنعت، مصاحبه به عمل آید و نظرات آن‌ها نیز لحاظ گردد.

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

$$d = \frac{t \times s}{\sqrt{n}}$$

جدول ۲. ضرایب استاندارد انتشار گازهای گلخانه‌ای

منبع	ضرایب استاندارد (کیلوگرم بر واحد) CO <sub>2</sub>	عنوان
Dyer and Desjardins., (2006)	۲/۷۶	سوخت دیزل (l)
Nabavi-Pelesaraei et al., (2014)	۰/۶۰۸	الکتریسیته (kWh)
Dyer and Desjardins., (2006)	۰/۰۷۱	ماشین‌های کشاورزی (kg year)
		کودهای شیمیایی (kg)
Lal, (2004)	۱/۳	نیترژن (N)
Lal, (2004)	۰/۲	فسفات (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
Lal, (2004)	۶/۳	سموم شیمیایی (kg)

### تحلیل پوششی داده‌ها

در این مطالعه، تحلیل پوششی داده‌ها در سه مدل کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس به‌منظور محاسبه‌ی مقادیر بهینه‌شده در انرژی مصرفی و انتشارات گازهای گلخانه‌ای برای محصول نیشکر در مزارع پلنت و راتون به کار گرفته شد. به‌طورکلی، تعریف کارایی که در مدل‌های تحلیل پوششی استفاده می‌شود طبق رابطه (۴) می‌باشد (Charness et al., 1978)

$$\text{کارایی} = \frac{\text{مجموع خروجی وزن دار شده}}{\text{مجموع ورودی وزن دار شده}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

کارایی فنی که بر اساس مدل بازگشت به مقیاس ثابت معرفی می‌گردد، اساساً به‌وسیله‌ی واحدهای ارزیابی شده برای عملکردشان اندازه‌گیری می‌شود که وابسته به دیگر واحدها می‌باشد. این نوع کارایی از رابطه‌ی (۵) قابل محاسبه بوده که در واقع همان مدل برنامه‌ریزی خطی در رابطه‌ی (۴) می‌باشد:

$$\begin{aligned} \text{Max } h_k &= \frac{\sum_{r=1}^s (u_{rk} y_{rk})}{\sum_{i=1}^m (v_{ik} x_{ik})} \\ \frac{\sum_{r=1}^s (u_{rk} y_{rk})}{\sum_{i=1}^m (v_{ik} x_{ik})} &\leq 1; \quad j = 1, \dots, n \\ u_{rk}, y_{rk} &\geq 0 \quad r = 1, \dots, s; \\ &\quad i = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (\text{رابطه ۵})$$

در این رابطه،  $h_k$  کارایی فنی،  $x$  مقادیر مربوط به ورودی‌ها،  $y$  خروجی موردنظر،  $m$  و  $s$  به ترتیب تعداد ورودی‌ها و خروجی‌های تولیدی توسط واحد تصمیم‌گیرنده،  $n$  تعداد نهاده‌ها و  $v_{ik}$  و  $u_{rk}$  به ترتیب ماتریس ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد.

کارایی فنی خالص، همان کارایی فنی بوده که متأثر از جابه‌جایی کارایی مقیاس بر اساس مدل بازگشت به مقیاس متغیر است. در این مدل با تغییر یک واحد در ورودی‌ها، خروجی

استفاده شد (Pishgar-Komleh et al., 2012):

$$\text{ME} = \frac{G \times M_p \times t}{T} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن ME انرژی ماشین در واحد سطح (Mg/ha)، G جرم ماشین (kg)،  $M_p$  انرژی ماشین (MJ/kg)،  $t$  زمان استفاده‌شده از ماشین در واحد سطح (h) و T عمر مفید ماشین (h) است.

انرژی موردنیاز برای تأمین آب موردنیاز برای آبیاری و انرژی لازم برای زهکشی و آبیاری در طی فصل رشد شامل انرژی مستقیم و انرژی غیرمستقیم می‌باشد. انرژی مستقیم شامل مصرف انرژی جهت بالا آوردن و ایجاد فشار متناسب با نیاز سامانه آبیاری می‌باشد که از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$\text{DE} = \frac{\rho g H Q}{\eta_1 \eta_2} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در رابطه (۳)، DE انرژی مستقیم آبیاری (J/ha)،  $\rho$  چگالی آب ( $1000 \text{ kg/m}^3$ )،  $g$  شتاب جاذبه ( $9.8 \text{ m/s}^2$ )،  $Q$  دبی کل آب مصرفی در فصل زراعی ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )،  $H$  کل ارتفاع دینامیکی به علاوه افت اصطکاکی فشار (m)،  $\eta_1$  بازده پمپ، تابعی از ارتفاع عمودی بالابر، سرعت و جریان آب معمولاً معادل  $0.7 - 0.9$  در نظر گرفته می‌شود،  $\eta_2$  بازدهی کل تبدیل انرژی و توان، برای پمپ‌های برقی معمولاً معادل  $0.18 - 0.20$  در نظر گرفته می‌شود.

انرژی غیرمستقیم آبیاری شامل انرژی تجهیزات مورد استفاده در عملیات پمپاژ آب، آبیاری و حفر چاه و به‌طورکلی شامل انرژی مواد خام مصرفی و همچنین ساخت و انتقال کلیه عواملی که در آبیاری دخالت دارند، می‌باشد که با توجه به طول عمر سامانه محاسبه می‌شود (Khan et al., 2009).

### انتشار گازهای گلخانه‌ای

انتشار گازهای گلخانه‌ای برای تولید نیشکر در مزارع پلنت و راتون محاسبه شد. ضرایب انتشار مربوط به کربن دی‌اکسید در جدول (۲) آورده شده است. در تولید نیشکر برای محاسبه‌ی انتشار گاز کربن دی‌اکسید نهاده‌ها شامل سوخت دیزل، ماشین‌های کشاورزی، الکتریسیته، سموم شیمیایی، نیترژن و فسفات می‌باشد. میزان انتشار از حاصل ضرب مقادیر هر یک از نهاده‌ها در ضرایب انتشار مربوط به آن نهاده در هر هکتار محاسبه گردید.

استفاده گردید؛ زیرا چندین نهاد به عنوان ورودی مدل مشخص شده است؛ این در حالی است که تنها یک خروجی عملکرد نیشکر وجود دارد.

به منظور تحلیل داده‌ها، ابتدا داده‌ها قبل از اجرا به صورت یک کاربرگ در نرم‌افزار اکسل آماده شد تا نرم‌افزار EMS بتواند آن‌ها را شناسایی کند. از نرم‌افزار اندازه‌گیری کارایی سامانه‌ها (EMS V1.3) برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و بررسی کارایی واحدها استفاده شد (APERCO, 2002). مزارع از نظر مصرف انرژی و عملکرد تولید و همچنین روند انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفتند. سپس واحدهای کارا و ناکارا مشخص شده و میزان انرژی نهاده‌ها و انتشارات گازهای گلخانه‌ای در حالت بهینه محاسبه و تفاوت آن‌ها با حالت واقعی مشخص گردید.

### نتایج و بحث

#### تجزیه و تحلیل انرژی ورودی و خروجی

بر اساس نتایج به دست آمده در جدول‌های ۳ و ۴ مقدار واقعی انرژی ورودی در تولید محصول نیشکر در مزارع پلنت و راتون به ترتیب ۱۷۲۸۸۴/۷۰ و ۱۲۲۸۰۱/۱۵ مگاژول بر هکتار و انرژی خروجی برابر با ۱۲۰۰۰۰ و ۹۸۸۵۰ مگاژول بر هکتار محاسبه شدند. در شکل‌های ۱ و ۲ سهم نهاده‌های مصرفی در مزارع پلنت و راتون مشخص شده‌اند. در مزارع پلنت الکتریسیته، آب آبیاری، سوخت دیزل و نیتروژن به ترتیب با سهم ۴۹/۴۶٪، ۱۴/۳٪، ۱۱/۸۴٪ و ۸/۳۱٪ و در مزارع راتون الکتریسیته، آب آبیاری، نیتروژن و سوخت دیزل به ترتیب ۵۴/۹۵٪، ۱۸/۲۲٪، ۱۰/۶۸٪ و ۸/۳۸٪ بیشترین سهم را در بین نهاده‌های مصرفی به خود اختصاص داده‌اند.

با نسبت متغیری افزایش یا کاهش پیدا می‌کند. رابطه‌ی خطی (۶) نحوه محاسبه‌ی کارایی فنی خالص را نشان می‌دهد (Banker et al., 1984):

$$\begin{aligned} \text{Max } z &= uy_j - u_j \\ \text{subjected to } vx_i &= 1 \\ -vx + uy - u_0e &\leq 0 \\ v \geq 0, u &\geq 0 \text{ and } u_0 \text{ free is sign} \end{aligned} \quad (\text{رابطه ۶})$$

کارایی مقیاس نیز بنا به تعریف، پتانسیل بالقوه‌ی دستیابی به مقدار بهینه برای یک واحد تصمیم‌گیرنده می‌باشد و از رابطه‌ی (۷) قابل محاسبه است (Mousavi - Avval et al., 2011):

$$\text{کارایی مقیاس} = \frac{\text{کارایی فنی}}{\text{کارایی فنی خالص}} \quad (\text{رابطه ۷})$$

وقتی که مقادیر کارایی فنی و کارایی فنی خالص یکسان باشند نشان از کارایی مقیاس بوده و در غیر این صورت پارامتر مقیاس ناکارا است. به منظور تعیین سطح عدم کارایی در انرژی مصرفی از رابطه‌ی (۸) محاسبه نسبت انرژی صرفه‌جویی شده استفاده شد (Hu and Kao, 2007).

(رابطه ۸)

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

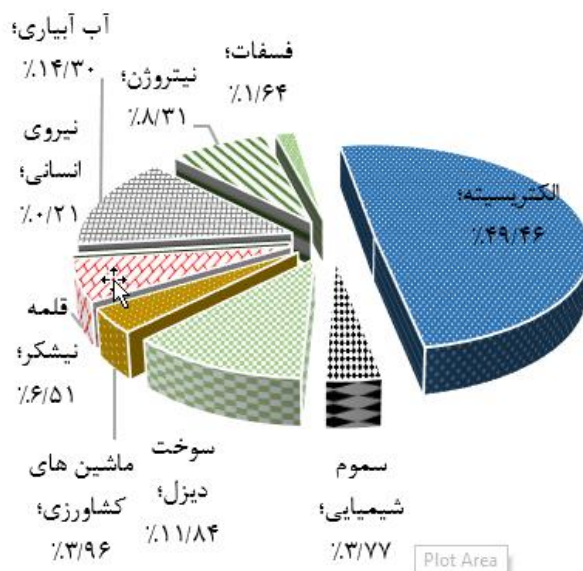
در رابطه (۸)، محدوده‌ی نسبت انرژی صرفه‌جویی شده بین صفر و یک می‌باشد. هر چه مقدار انرژی ذخیره‌شده مطلوب نسبت به انرژی ورودی واقعی بیشتر شود ناکارایی مزارع مورد مطالعه در انرژی مصرف‌شده افزایش یافته و قابلیت میزان انرژی ذخیره‌شده نیز افزایش می‌یابد. همچنین در این مطالعه از روش ورودی محور برای ارزیابی مقادیر بهینه یافته‌ی نهاده‌ها

جدول ۳. مقادیر بهینه و ذخیره‌شده انرژی برای تولید نیشکر در مزارع پلنت

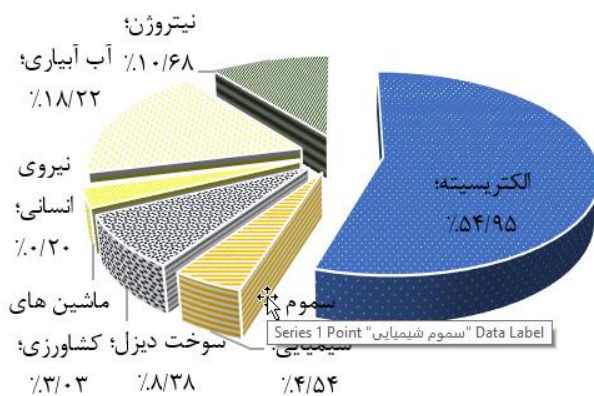
انحراف معیار نهاده‌ها	مقدار واقعی مصرف (مگاژول بر هکتار)	مقدار بهینه مصرف (مگاژول بر هکتار)	مقدار انرژی ذخیره‌شده (مگاژول بر هکتار)	صرفه‌جویی (%)
۱- سوخت دیزل	۲۰۲۳/۹۴	۱۹۶۸۲/۲۵	۷۹۰/۵۴	۳/۸۶
۲- نیروی انسانی	۳۴/۰۳	۳۳۴/۳۹	۲۷/۲۹	۷/۵۴
۳- ماشین‌ها	۵۲۷/۳۴	۶۶۴۷/۴۹	۲۰۶/۸۳	۳/۰۱
۴- الکتریسیته	۸۱۲۹/۲۶	۷۴۱۳۴/۱	۱۱۳۷۳/۰۶	۱۳/۳
۵- کودهای شیمیایی				
الف) نیتروژن	۱۲۶۵/۵۸	۱۳۹۵۳/۲	۴۱۸/۸۹	۲/۹۱
ب) فسفات	۲۶۰/۶۲	۲۶۷۲/۲۵	۱۵۸/۰۹	۵/۵۸
۶- سموم شیمیایی	۵۹۰/۰۴	۶۲۰۶/۷۳	۳۱۸/۳۴	۴/۸۷
۷- آب آبیاری	۲۴۴۱/۷	۲۳۵۸۶/۷۸	۱۱۲۸/۵۷	۴/۵۶
۸- قلمه نیشکر	۷۸۲/۹۸	۱۰۹۰۴/۳۳	۳۴۱/۴۸	۳/۰۳
کل انرژی نهاده‌ها	۱۷۲۸۸۴/۷۰	۱۵۸۱۲۱/۶	۱۴۷۶۳/۱	۸/۵۲
کل انرژی خروجی	۱۲۰۰۰۰	-	-	-

جدول ۴. مقادیر بهینه و ذخیره‌شده انرژی برای تولید نیشکر در مزارع راتون

نهادها	انحراف معیار نهادها	مقدار واقعی مصرف (مگاژول بر هکتار)	مقدار بهینه مصرف (مگاژول بر هکتار)	مقدار انرژی ذخیره‌شده (مگاژول بر هکتار)	صرفه‌جویی (%)
۱- سوخت دیزل	۸۱۶/۳۲	۱۰۲۹۲/۳۴	۹۸۶۹/۲۷	۴۲۴/۳۷	۴/۱۲
۲- نیروی انسانی	۱۷/۵۶	۲۴۹/۷۵	۲۴۴/۸۳	۴/۸۸	۱/۹۵
۳- ماشین‌ها	۱۲۵/۸۵	۳۷۲۵/۸۵	۳۶۷۲/۵۶	۴۹/۴۲	۱/۳۲
۴- الکتریسیته	۵۰۴۰/۴۳	۶۷۴۶۱/۹۲	۶۵۷۳۳/۷۶	۱۶۵۳/۰۳	۲/۴۵
۵- کودهای شیمیایی					
الف) نیتروژن	۱۰۵۱/۹۴	۱۳۱۱۵/۹۸	۱۳۰۳۵/۳۳	۱۳۴/۱۴	۱/۰۲
۶- سموم شیمیایی	۲۵۸/۳۷	۵۵۷۵/۷۳	۵۴۹۵/۹۹	۷۹/۵۱	۱/۴۲
۷- آب آبیاری	۱۴۸۵/۳۶	۲۲۳۷۹/۵۷	۲۱۵۴۴/۲۲	۸۴۹/۷۴	۳/۷۹
کل انرژی نهاده‌ها		۱۲۲۸۰۱/۱۵	۱۱۹۵۹۶	۳۲۰۵/۱۷	۲/۶۱
کل انرژی خروجی		۹۸۸۵۰	-	-	-



شکل ۱. سهم نهاده‌های مصرفی در مزارع پلنت



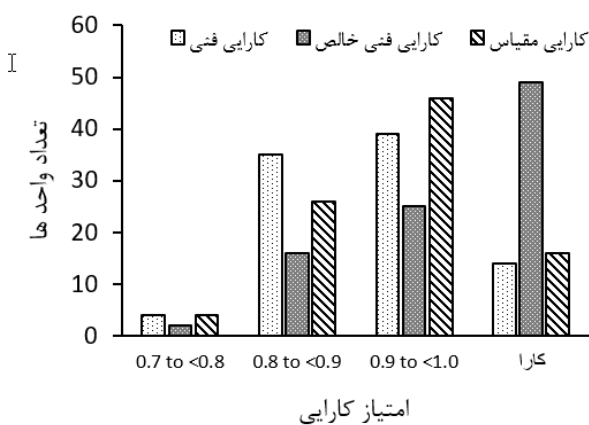
شکل ۲. سهم نهاده‌های مصرفی در مزارع راتون

محاسبه شد و سهم الکتریسیته از کل انرژی مصرفی ۵۲ و ۵۴ درصد به ترتیب در مزارع راتون و پلنت به دست آمد. پس از

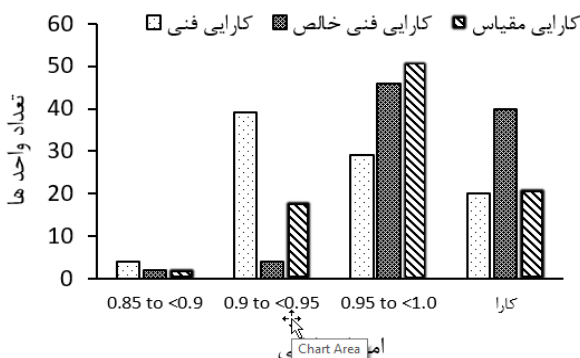
در مطالعاتی دیگر انرژی نهاده‌ها در مزارع پلنت و راتون به ترتیب ۱۷۴۲۸۳/۷۶ و ۱۴۵۱۱۷/۷۹ مگاژول بر هکتار

اصلی آن است. با توجه به این که کارایی فنی و کارایی مقیاس در مزارع راتون نسبت به مزارع پلنت بالاتر می‌باشد این نتیجه نشان می‌دهد که در مزارع راتون نهاده‌های مختلف را در زمان مناسب و به مقدار بهینه استفاده کرده‌اند.

در مطالعه‌ای مقادیر کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس برای کشاورزان تولیدکننده‌ی نخود زراعی استان اصفهان به ترتیب برابر با ۰/۹۴، ۰/۹۹ و ۰/۹۴ به دست آمد. همچنین مشخص شد که به علت پراکندگی زیاد در مقدار کارایی فنی، کشاورزان مورد مطالعه نهاده‌های مختلف را بیش از حد نیاز مصرف کرده‌اند (Elhami et al., 2016b).



شکل ۳. فراوانی مزارع از نظر امتیاز کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس در مصرف انرژی مزارع پلنت



شکل ۴. فراوانی مزارع از نظر امتیاز کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس در مصرف انرژی مزارع راتون

جدول ۵. مقادیر کارایی‌های مختلف در مصرف انرژی برای مزارع پلنت

عنوان	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
کارایی فنی	۰/۹۱	۰/۰۶	۰/۷۸۳	۱
کارایی فنی خالص	۰/۹۸	۰/۰۲	۰/۹۰۱	۱
کارایی مقیاس	۰/۹۳	۰/۰۵	۰/۷۸۶	۱

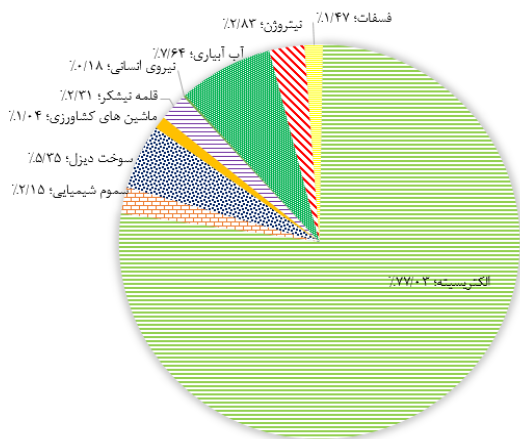
الکتریسیته، کودهای شیمیایی با سهم ۱۹ و ۱۶ درصد به ترتیب در مزارع راتون و پلنت بیشترین سهم از کل انرژی مصرفی را به خود اختصاص دادند و همچنین انرژی مصرفی برای آبیاری بیشترین سهم از نهاده‌های انرژی مصرفی را در عملیات زراعی کشت نیشکر به خود اختصاص داده است (Haroni et al., 2015). غدیریان‌فر و همکاران (۲۰۱۳) مطالعه‌ای روی چرخه‌ی کامل انرژی در تولید اتانول از ملاس نیشکر انجام دادند. مقدار انرژی مصرفی برای مزارع پلنت برابر با ۱۹۴۲۸۳ مگاژول بر هکتار به دست آمد و مقدار انرژی مصرفی در کل بخش کشاورزی از زمان تهیه زمین و کاشت تا انتقال به کارخانه تولید شکر در یک هکتار برابر ۲۰۸۳۴۴ مگاژول محاسبه گردید و از بین نهاده‌های مصرفی، قلمه نیشکر با ۱۱/۵۳ درصد، پس از آبیاری و سوخت به ترتیب با ۶۷/۸۱ و ۱۱/۷۹ درصد، بیشترین سهم را از نهاده‌های انرژی در مزرعه نیشکر داشت. پس از این موارد، کود و سم با ۸/۸۸ درصد بیشترین سهم نهاده‌ها را تشکیل می‌دهند (Ghadirian-Far et al., 2013).

#### برآورد انواع کارایی در بهینه‌سازی مصرف انرژی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها

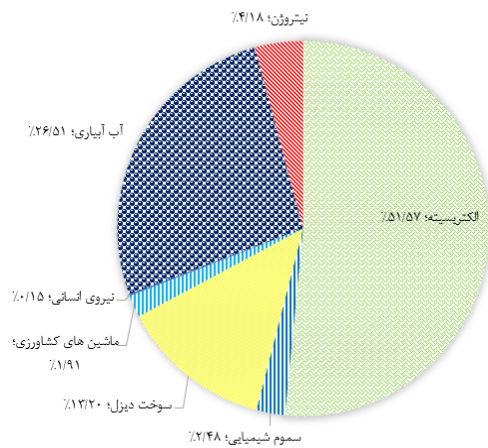
نتایج مدل‌های نرخ بازگشت به مقیاس ثابت و نرخ بازگشت به مقیاس متغیر در مزارع پلنت و راتون به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. بر این اساس از مجموع ۹۲ واحد بررسی شده در مزارع پلنت و راتون به ترتیب بر اساس مدل بازگشت به مقیاس ثابت، ۱۴ و ۲۰ مزرعه دارای کارایی فنی ۱ بوده و این در حالی است که بر اساس مدل بازگشت به مقیاس متغیر، ۴۹ و ۴۰ مزرعه دارای کارایی فنی خالص ۱ شناخته شده‌اند. همچنین مقدار کارایی مقیاس برای ۱۶ و ۲۱ مزرعه برابر ۱ به دست آمد. از دوره‌های ناکارا در مزارع پلنت به ترتیب ۷۸ و ۴۳ دوره دارای کارایی فنی و کارایی فنی خالص کمتر از ۱ و در مزارع راتون از دوره‌های ناکارا به ترتیب ۷۲ و ۵۲ دوره دارای کارایی فنی و کارایی فنی خالص کمتر از ۱ بوده‌اند.

مقادیر میانگین کارایی‌های مختلف برای دوره‌های مختلف برای مزارع پلنت و راتون به ترتیب در جدول‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. بر این اساس، میانگین کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس برای دوره‌های مختلف به ترتیب برابر ۰/۹۱، ۰/۹۸ و ۰/۹۳، ۰/۹۵ و ۰/۹۳، ۰/۹۸ و ۰/۹۶ به ترتیب برای مزارع پلنت و راتون ارائه شده است و نتایج بر آن است که کارایی فنی دارای بیشترین انحراف معیار و بازه‌ی تغییر بوده و عدم آگاهی از روش‌های صحیح تولید و عدم تخصیص بهینه منابع مسبب





شکل ۵. سهم نهاده‌های مختلف در ذخیره‌سازی انرژی در مزارع پلنت



شکل ۶. سهم نهاده‌های مختلف در ذخیره‌سازی انرژی در مزارع راتون

### مقایسه‌ی مقادیر واقعی و بهینه‌شده در انتشار گازهای گلخانه‌ای

نتایج بهینه انتشار گازهای گلخانه‌ای بر اساس بهینه‌سازی مصرف انرژی حاصل شده است. بنابراین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای مزارع پلنت و راتون به ترتیب در حالت واقعی و بهینه‌شده در جدول‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده میزان کل انتشار گازهای گلخانه‌ای در یک هکتار در مزارع پلنت و راتون به ترتیب برابر با ۵۸۲۵/۲۵ و ۴۳۱۰/۷۶ کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید بوده که الکتریسیته، سوخت دیزل و کود نیترژن در مزارع پلنت به ترتیب ۷۴/۳۷٪، ۱۷/۲۲٪ و ۴/۱٪ و همچنین در مزارع راتون الکتریسیته و سوخت دیزل به ترتیب ۷۹/۲۹٪ و ۱۱/۷٪ بیشترین سهم از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص داده‌اند. مصرف کودهای شیمیایی بیش از نیاز گیاه، علاوه بر انتشار فراوان گازهای گلخانه‌ای سبب آلودگی آب و خاک نیز می‌گردد.

جدول ۶. مقادیر کارایی‌های مختلف در مصرف انرژی برای مزارع راتون

عنوان	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
کارایی فنی	۰/۹۵	۰/۰۳۵	۰/۸۵۹	۱
کارایی فنی خالص	۰/۹۸	۰/۰۱۷	۰/۹۳۶	۱
کارایی مقیاس	۰/۹۶	۰/۰۳	۰/۸۸۲	۱

### بهینه‌سازی انرژی مصرفی و میزان ذخیره انرژی در هر یک از نهاده‌های مصرفی

جدول‌های ۳ و ۴ مقادیر انرژی بهینه، انرژی ذخیره‌شده و درصد ذخیره برای تولید نیشکر به ترتیب در مزارع پلنت و راتون را نشان می‌دهند. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد میزان کل انرژی مورد نیاز در حالت مصرف بهینه نهاده‌ها به ترتیب در مزارع پلنت و راتون برابر با ۱۵۸۱۲۱/۶ و ۱۱۹۵۹۶ مگاژول بر هر هکتار به دست آمد. بنابراین، بدون کاهش در عملکرد نیشکر می‌توان در مزارع پلنت و راتون به ترتیب ۸/۵۲٪ و ۲/۶۱٪ در انرژی ورودی کل صرفه‌جویی کرد.

به ترتیب سهم هر یک از نهاده‌های انرژی در میزان کل انرژی ذخیره‌شده در مزارع پلنت و راتون در شکل ۵ و ۶ نشان داده شده است. بر این اساس، از کل انرژی ذخیره‌شده در مزارع پلنت، بیشترین سهم ذخیره انرژی مربوط به الکتریسیته، آب آبیاری و سوخت دیزل به ترتیب با ۷۷/۰۳٪، ۷/۶۴٪ و ۵/۵۸٪ تعلق داشته است. همچنین نتایج به دست آمده در مزارع راتون الکتریسیته، آب آبیاری و سوخت دیزل به ترتیب با ۵۱/۵۷٪، ۲۶/۵۱٪ و ۱۳/۲٪ دارای بالاترین درصد ذخیره نسبت به حالت قبل از بهینه نهاده‌های مصرفی در شرکت بودند. به منظور کاهش مصرف انرژی الکتریکی توصیه می‌شود الکتروموتورهای اضافی در شرکت را خاموش کرده و همچنین الکتروموتور مستهلک‌شده را با الکتروموتور نو تعویض کرده تا مصرف برق مصرفی به حداقل برسد. و همچنین به منظور کاهش مصرف سوخت دیزل توصیه می‌شود تا حد امکان از تردد بیش از حد ماشین‌ها در مزرعه جلوگیری شود و این کار از طریق استفاده از ماشین‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی در عملیات مختلف زراعی میسر خواهد بود. به منظور کاهش مصرف آبیاری توصیه می‌شود که سامانه‌های سنتی آبیاری بازنگری شده و تا حد امکان کارایی آبیاری در مزارع افزایش یابد و همچنین با اجرای آبیاری قطره‌ای برای تولید نیشکر می‌تواند یکی از راه‌های کاهش مصرف انرژی مربوط به آبیاری باشد.

کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی، موجب کاهش سوخت مصرفی می‌گردد. همچنین استفاده از الکتروموتورهای جدید و باقابلیت اطمینان کاری بالا باعث کاهش انتشارات گازهای گلخانه‌ای مربوط به الکتریسیته مصرفی می‌گردد.

همچنین انتشارات مربوط به مصرف سوخت دیزل به دلیل استفاده از تراکتورهای فرسوده در عملیات مختلف کشاورزی، عدم تناسب ظرفیت توانی بین ماشین‌ها و تراکتور و ایجاد انرژی بسیار زیاد ناشی از عملیات شدید خاک‌ورزی می‌باشند. استفاده از روش‌های مناسب خاک‌ورزی نظیر روش استفاده از ماشین‌های

جدول ۷. مقادیر واقعی و بهینه انتشارات گازهای گلخانه‌ای برای تولید نیشکر در مزارع پلنت

نهادها	مقدار واقعی انتشار (کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید بر هکتار)	مقدار بهینه انتشار (کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید بر هکتار)	کاهش انتشارات گازهای گلخانه‌ای (کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید بر هکتار)	کاهش انتشار (%)
۱- سوخت دیزل	۱۰۰۳/۴۶	۹۶۴/۷۱	۳۸/۷۵	۳/۸۶
۲- ماشین‌ها	۵۳/۵۶	۵۱/۹	۱/۶۶	۳/۰۹
۳- الکتریسیته	۴۳۳۲/۳۶	۳۷۵۶/۱۲	۵۷۶/۲۴	۱۳/۳
۴- کودهای شیمیایی				
الف) نیتروژن	۲۳۹/۲۲	۲۳۲/۲۵	۶/۹۷	۲/۹۱
ب) فسفات	۳۲/۲	۳۰/۷۱	۱/۴۹	۴/۶۲
۵- سموم شیمیایی	۱۶۴/۴۳	۱۵۶/۴۰	۸/۰۳	۴/۸۸
کل انتشارات گازهای گلخانه‌ای	۵۸۲۵/۲۵	۵۱۹۲/۱۳	۶۳۳/۱۲	۱۰/۸۶

جدول ۸. مقادیر واقعی و بهینه انتشارات گازهای گلخانه‌ای برای تولید نیشکر در مزارع راتون

نهادها	مقدار واقعی انتشار (کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید بر هکتار)	مقدار بهینه انتشار (کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید بر هکتار)	کاهش انتشارات گازهای گلخانه‌ای (کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید بر هکتار)	کاهش انتشار (%)
۱- سوخت دیزل	۵۰۴/۴۷	۴۸۳/۶۷	۲۰/۸	۴/۱۲
۲- ماشین‌ها	۲۹/۳۹	۲۹	۰/۳۹	۱/۳۲
۳- الکتریسیته	۳۴۱۸/۰۷	۳۳۳۴/۳۱	۸۳/۷۵	۲/۴۵
۴- کودهای شیمیایی				
الف) نیتروژن	۲۱۸/۳۱	۲۱۵/۲۶	۳/۰۵	۱/۳۹
۵- سموم شیمیایی	۱۴۰/۵	۱۳۸/۵	۱۲	۸/۵۴
کل انتشارات گازهای گلخانه‌ای	۴۳۱۰/۷۶	۴۲۰۰/۷۵	۱۱۰/۰۱	۲/۵۵

نیشکر در شرکت کشت و صنعت نیشکر امام خمینی (ره) به روش تحلیل پوششی داده‌ها پرداخته شد و نتایج این تحقیق عبارت است از:

متوسط مصرف انرژی برای کشت یک هکتار نیشکر در منطقه مورد مطالعه در مزارع پلنت و راتون به ترتیب ۱۷۲۸۸۴/۷۰ و ۱۲۲۸۰۱/۱۵ و مقدار انرژی ستانده ۱۲۰۰۰۰ و ۹۸۸۵۰ مگاژول بر هکتار محاسبه شد.

حدود ۱۵٪ و ۲۱٪ از مزارع به ترتیب در مزارع پلنت و راتون با استفاده از مدل‌های بازگشت به مقیاس ثابت و حدود ۵۳٪ و ۴۳٪ با استفاده از مدل بازگشت به مقیاس متغیر به ترتیب در مزارع پلنت و راتون به مقیاس متغیر کارا شدند.

مقدار بهینه متوسط مصرف انرژی در مزارع پلنت و راتون

همان‌طور که در جدول‌های ۷ و ۸ مشاهده می‌شود روش تحلیل پوششی داده‌ها قادر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان ۶۳۳/۱۲ و ۱۱۰/۰۱ کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید به ترتیب در مزارع پلنت و راتون می‌باشد.

در مطالعه‌ای بر روی میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گندم استان اصفهان، نشان دادند که تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها قابلیت کاهش ۴۰ کیلوگرم کربن دی‌اکسید در کشت یک هکتار محصول تولیدی را دارد (Khoshnevisan et al., 2013b).

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه به تجزیه و تحلیل و بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش انتشارات گازهای گلخانه‌ای در سامانه‌ی تولیدی محصول

حالت بهینه به میزان ۶۳۳/۱۲ و ۱۱۰/۰۱ کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید کاهش یافت.

کاهش مصرف الکتریسیته و کودهای شیمیایی به‌طور عمده نیتروژن و آب برای آبیاری از راه‌های مهم مدیریت بهتر انرژی در تولید نیشکر در مزارع منطقه مورد مطالعه است. بدین منظور، با تجزیه و تحلیل پارامترهای خاک برای تعیین نیازهای خاک، کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای در اثر مصرف بالای کود شیمیایی، استفاده از پمپ‌ها با بازدهی بالا و اصلاح سامانه آبیاری، استفاده از ماشین‌های کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی جهت کاهش تردد و استفاده کم از ماشین‌های کشاورزی که باعث کمینه شدن میزان سوخت مصرفی می‌شود، می‌توان مصرف انرژی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را به‌صورت چشم‌گیری کاهش داد.

## REFERENCES

- Amid, S., Mesri Gundoshmian, T., Shahgoli, GH. Rafiee, SH., (2016). Energy use pattern and optimization of energy required for broiler production using data envelopment analysis. *Information Processing in Agricultures*, 3(3), 83-91.
- Anonymous, 2013. Sugarcane production technology in Iran. Volume I: instruction set of field crop production. 332 p (In Farsi)
- Asia Pacific Energy Research Center (APEREC), 2002. Energy Efficiency Indicators and Potential Energy Savings in APEC Economies. APERC, Tokyo.
- Banker, R., Charnes, A., and Cooper, W., (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30, 1078-1092.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- Dyer, J.A., Desjardins, R.L., (2006). Carbon dioxide emissions associated with the manufacturing of tractors and farm machinery in Canada. *Biosystems Engineering*, 93, 107-118.
- Elhami, B., Akram, A., Khanali, M., (2016b). Optimization of energy consumption and environmental impacts of chickpea production using data envelopment analysis (DEA) and multi objective genetic algorithm (MOGA) approaches. *Information Processing in Agricultures*, 3(3), 190-205.
- Elhami, b., Khanali, m., Akram, a., (2016a). Combined application of artificial neural networks and life cycle assessment in lentil farming in Iran. *Information Processing in Agricultures*, 4, 18-32
- Fluck, R.C., (1992). Energy for Florida Sugarcane. Florida, U.o., Fact Sheet EES-87. Florida Cooperative Extension Service, Florida.
- Ghadirian-Far, M., Keyhani, A., Omid, M., (2013). Full cycle of energy in the production of ethanol from sugarcane molasses in Iran. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 44 (2), 135-142 (In Farsi)
- Haroni, S., Shiekhdavoodi, M.G., Kiani, M., (2015). Modeling of energy consumption and greenhouse gas emissions in the sugarcane production process in ratoon farms using artificial neural networks. A case study in Debel Khazai Agro-industry in Iran. *Iranian Journal of Agricultural Machinery*, 11-19 (In Farsi)
- Hu, J.L., Kao, C.H., (2007). Efficient energy-saving targets for APEC economies. *Energy Policy*, 35:373-82.
- Jacobs, R., Smith, P., Street, A., (2006). Measuring efficiency in health care: Analytic techniques and health policy, Cambridge University Press: Cambridge. <https://pure.york.ac.uk>.
- Karimi, M., Rajabipour, A., Tabatabaeefar, A., Borghei, A., 2008. Energy analysis of Sugarcane production in plant farms, a case study in Debel Khazai agro-industry in Iran. *Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 4, 165-171.
- Khan, S., Khan, M.A., Hanjra, M.A., Mu, J., (2009). Pathways to reduce the environmental footprints of water and energy inputs in food production. *Food Policy* 34, 141-149.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., and Mousazadeh, H. (2013a). Reduction of CO<sub>2</sub> emission by improving energy use efficiency of greenhouse cucumber production using DE Approach. *Energy*, 55, 676-682.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Mousazadeh, H., (2013b). Applying data envelopment analysis approach to improve energy efficiency and reduce GHG (greenhouse gas) emission of wheat production. *Energy*, 58, 588-593.
- Kitani, O. (1999). CIGR handbook of agriculture

به ترتیب ۱۵۸۱۲۱/۶ و ۱۱۹۵۹۶ مگاژول بر هکتار محاسبه شد و میزان ذخیره انرژی حدود ۸/۵۲٪ در مزارع پلنت و ۲/۶۱٪ در مزارع راتون در حالت بهینه به دست آمد.

از کل انرژی ذخیره‌شده در مزارع پلنت، بیشترین سهم ذخیره انرژی مربوط به الکتریسیته، آب آبیاری و سوخت دیزل به ترتیب با ۰۳/۷۷٪، ۶۴/۷٪ و ۵۸/۵٪ تعلق داشته است. همچنین از کل انرژی ذخیره‌شده در مزارع راتون الکتریسیته، آب آبیاری و سوخت دیزل به ترتیب با ۵۷/۵۱٪، ۲۶/۵۱٪ و ۱۳/۲٪ دارای بالاترین درصد ذخیره نسبت به حالت قبل از بهینه نهاده‌های مصرفی در شرکت بودند.

میزان کل انتشارات گازهای گلخانه‌ای در یک هکتار در مزارع پلنت و راتون به ترتیب برابر با ۵۸۲۵/۲۵ و ۴۳۱۰/۷۶ کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید بوده و در حالت بهینه ۵۱۹۲/۱۳ و ۴۲۰۰/۷۵ محاسبه شد. در مزارع پلنت و راتون در

- engineering, Volume 5: *Energy and biomass engineering*. ASAE Publications, St Joseph, MI.
- Kizilaslan, H., (2009). Input-output energy analysis of cherries production in Tokat Province of Turkey. *Apply Energy* 86, 1354–1358.
- Kouchaki-Penchah, H., Sharifi, M., Mousazadeh, H., Zarea-Hosseinabadi, H. (2016a). Life cycle assessment of medium-density fiberboard manufacturing process in IR Iran. *Journal of Cleaner Production*, 112: 351-358.
- Kouchaki-Penchah, H., Sharifi, M., Mousazadeh, H., Zarea-Hosseinabadi, H., Nabavi-Pelesaraei, A. (2016b). Gate to gate life cycle assessment of flat pressed particleboard production in Islamic Republic of Iran. *Journal of Cleaner Production*, 112: 343-350.
- Lal, R., 2004. Carbon emission from farm operations. *Environ. Int.* 30, 981-990.
- Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran, 2013. Annual Agricultural Statistics. <http://www.maj.ir>, [in Persian].
- Mohammadi, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S.S., Rafiee, S.H., (2010). Energy inputs- yield relationship and cost analysis of kiwifruit production in Iran. *Renew. Energy*, 35, 1071-1075.
- Mousavi-Avval, S.H., Rafiee, S.H., Jafari, A., Mohammadi, A., (2011). Improving energy use efficiency of canola production using data envelopment analysis (DEA) approach. *Energy*, 36: 2765-2772.
- Nabavi-Pelesaraei, A., Abdi, R., Rafiee, S.H., 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.
- Nabavi-Pelesaraei, A., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Qasemi-Kordkheili, P., Kouchaki-Penchah, H., Riahi-Dorcheh, F., (2016). Applying optimization techniques to improve of energy efficiency and GHG (greenhouse gas) emissions of wheat production. *Energy*, 103, 672-678.
- Payandeh, Z., Pour Kamran, Kh.A. Karimi, M., (2016). The effectiveness of broiler chicken breeding units using date envelopment analysis - A case study Esfahan Province. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*. 47(3), 577-585 [In Persian].
- Pishgar-Komleh, S.H., Keyhani, A., Mostofi-Sarkari, M.R., Jafari, A. (2012). Energy and economic analysis of different seed corn harvesting systems in Iran. *Energy*, 43, 469-476.
- Pishgar-Komleh, S.H., Sefeedpari, P., Rafiee, S., (2011). Energy and economic analysis of rice production under different farm levels in Guilan province of Iran. *Energy*, 36, 5824-5831.
- Ricaud, R., 1980. Energy input and output for sugarcane in Louisiana. In: Pimentel, D. (Ed.), *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 135-136.
- Sefeedpari, P., Shokoohi, Z., Behzadifar, Y., (2014). Energy use and carbon dioxide emission analysis in sugarcane farms: a survey on Haft-Tappeh Sugarcane Agro-Industrial Company in Iran. *Journal of cleaner production*. 83, 212-219.
- Singh, G., Singh, S., Singh, J., (2004). Optimization of energy inputs for wheat crop in Punjab. *Energy Conversion and Management*, 45, 453-465.
- Taheri, G.A., Asakereh, A., Haghani, K. (2010). Energy elevation and economic analysis of canola production in Iran a case study: Mazandaran province. *Int. J. Environ. Sci.* 1, 236-243.
- Zhang, X., Huang, G.H., Lin, Q., and Yu, H. (2009). Petroleum - contaminated groundwater remediation systems design: a data envelopment analysis based approach. *Expert Systems with Applications*, 36(3):5666-5772.