تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی/جلد ۲۴/ شماره ۸۵/بهار ۱۴۰۲/ص ۱۸-۱
سایت مجله: https://www.amsr.areeo.ac.ir

مقاله علمی– پژوهشی

بهینه‌سازی مصرف انرژی و بررسی عوامل تولید نیشکر (نهاده‌های: فیزیکی – مصرفی) در شرکت کشت و صنعت امیرکبیر با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها

منصور سعدونی‌نژاد[۱]، مرتضی الماسی[۲*] و محمد قهدریجانی[۳]

۱، ۲ و ۳- به ترتیب: دانشجوی دانشجوی دکتری؛ استاد؛ و استادیار گروه مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۱۹

چکیده

این مطالعه به منظور بررسی عوامل تولید نیشکر (نهاده‌های: فیزیکی – مصرفی) و بهینه‌سازی انرژی مصرفی برای تولید نیشکر با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها در استان خوزستان واحد کشت و صنعت امیرکبیر اجرا شده است. اطلاعات لازم برای تحقق این مطالعه، از طریق مصاحبهٔ حضوری و تکمیل پرسشنامه از کارشناسان کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر جمع‌آوری شد. طبق نتایج حاصل، از کل انرژی مصرفی در تولید نیشکر، انرژی قلمهٔ نیشکر و انرژی کود شیمیایی به ترتیب با ۵۹ و ۱۶ درصد بیشترین سهم را در بین نهاده‌های مصرفی داشته‌اند. علف‌کش ۳/۱۵ درصد، ماشین‌های کشاورزی ۱/۰۹ درصد و نیروی انسانی ۰/۰۶ درصد کمترین نهاده‌های انرژی‌بر در بین دیگر نهاده‌های تولید نیشکر بودند. با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق، مشخص شد که دو نهادهٔ قلمهٔ نیشکر و کود شیمیایی بیشترین میزان مصرف را در بین تمام نهاده‌ها برای تولید دارند. همچنین نتایج حاصل از تحلیل پوششی داده‌ها نشان داد که کود نیتروژنی و نیروی انسانی با ۴۲ و ۳۱/۶۰ درصد بیشترین سهم را از انرژی ذخیره شده دارند. کمترین سهم از انرژی ذخیره شده در تولید به ترتیب متعلق به سموم شیمیایی و کود فسفره است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که کاهش در مصرف کودهای شیمیایی و سوخت دیزل برای ذخیره‌سازی انرژی و کاهش مشکل خطر زیست‌محیطی در منطقه بااهمیت است. ذخیره‌سازی در سوخت دیزل از طریق بهبود عملکرد پمپ آبیاری و استفاده از تراکتورهای جدید و آنالیز خاک برای بهبود مصرف کودهای شیمیایی امکان‌پذیر است.

واژه‌های کلیدی

انرژی ذخیره شده، انرژی مصرفی، نهاده‌های تولید نیشکر

مقدمه

اغلب نیازهای اساسی هر جامعه مانند غذا، لباس و علوفه از طریق تولیدات کشاورزی تأمین می‌شود. با توجه به افزایش رو به رشد جمعیت و محدودیت اراضی قابل کشت، افزایش عملکرد در واحد سطح یکی از معدود راه‌های باقی‌مانده برای تأمین غذای انسان است. استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر و نهاده‌های مصرفی برای تولید محصول نیشکر اثرهای سوء زیست‌محیطی برجا می‌گذارد از این‌رو چشم‌انداز مدیریت انرژی با رویکرد توجه ویژه به محیط‌زیست اهمیت فراوانی دارد. یکی دیگر از پارامترهای اساسی در راستای اهداف تولید پایدار، مدیریت بهینهٔ هزینه‌های تولید است (Kaab *et al.*, 2019a).

سطح زیر کشت نیشکر در بزرگترین شرکت کشاورزی ایران (شرکت توسعه نیشکر

*نگارنده مسئول: Email: morteza.almassi@gmail.com
http://doi:10.22092/AMSR.2022.359662.1425

استان خوزستان) ۸۴ هزار هکتار است (Naseri *et al.*, 2021). یکی از راه‌های بالا بردن کار مؤثر و کاهش هزینه‌های تولید استفاده از تکنولوژی نوین و افزایش بهره‌وری است. مقدار انرژی که در سیستم‌های مختلف تولیدی زراعی مصرف می‌شود، نه فقط به نوع آن محصول بلکه به نوع مواد به کار گرفته شده در تولید آن محصول نیز بستگی دارد. به گونه‌ای که نحوهٔ رفتار سیستم‌های مختلف زراعی در به کارگیری نهاده‌ها و منابع انرژی متفاوت است و در هر سیستم تولیدی کارایی انرژی حاصل متفاوت است به نحوی‌که می‌تواند منجر به ناپایداری کشاورزی شود (Kouchaki-Penchah *et al.*, 2016 & Naseri *et al.*, 2022).

اگر افزایش مصرف انرژی در بخش کشاورزی ادامه پیدا کند، تنها شانس تولیدکنندگان برای افزایش محصول کل، استفاده از نهاده بیشتر، به جای گسترش زمین‌های قابل کشت، خواهد بود. از این‌رو مصرف انرژی در کشاورزی به صورت مسئله درآمده است. یکی از روش‌های بسیار مفید در تحلیل و ارزیابی پایداری کشاورزی، استفاده از انرژی به عنوان ابزار محاسبه است (Kaab *et al.*, 2019b). توجه به منابع طبیعی محدود و اثرهای سوء ناشی از استفادهٔ نامناسب از منابع مختلف انرژی روی سلامتی انسان و محیط‌زیست، لزوم بررسی الگوهای مصرف انرژی را در بخش کشاورزی حیاتی ساخته است (Mousavi-Avval *et al.*, 2011). تحلیل شاخص‌های انرژی از ضرورت‌های مهم در بررسی پروژه‌های کشاورزی است، با تحلیل الگوی مصرف انرژی و مدیریت آن می‌توان با ارائهٔ راهکارهایی به منظور مصرف بهینهٔ انرژی، از هدررفت بیش از حد آن جلوگیری و در جهت بهبود وضعیت موجود و افزایش سودآوری حرکت کرد و مقایسهٔ انرژی‌های ورودی و خروجی در یک نظام کشاورزی را به دست آورد. مزایای دیگر تجزیه و تحلیل انرژی، تعیین انرژی مصرف شده در هر فرآیند تولید و در واقع تعیین مراحلی است که کمترین انرژی نهاده را نیاز دارند، فراهم آوردن مبنایی برای محافظت از منابع و مساعدت در زمینهٔ مدیریت پایدار و سیاست‌گذاری‌های مربوط است (Payandeh *et al.*, 2016).

در زمینهٔ مصرف انرژی مطالعات فراوان است. نورمحمدی و همکاران (Noor Mohammadi *et al.*, 2014) با بررسی شاخص‌های انرژی و میزان تأثیر انرژی‌های ورودی نشان دادند که رابطهٔ بین کشاورزی و انرژی خیلی نزدیک و بهره‌دهی و سودمندی کشاورزی به مصرف انرژی وابسته است و یکی از روش‌های مصرف مطلوب انرژی در کشاورزی تعیین بازده یا کارایی روش‌های مورد استفاده می‌باشد. این محققان متغیرهای تحقیق شامل انرژی ورودی (انرژی سوخت، بذر، آبیاری، کود، سم، کارگر و ماشین‌ها) انرژی خروجی (انرژی دانه و کاه) شاخص‌های انرژی (نسبت انرژی، افزوده خالص انرژی، بهره‌وری انرژی و شدت انرژی) را محاسبه - کردند و گزارش دادند انرژی سوخت، کود و بذر به - ترتیب با ۳۰/۵۱ و ۲۴/۲ و ۲۰/۳ درصد بیشترین سهم مصرف انرژی را از کل مصرف انرژی داشته‌اند؛ کمترین میزان مصرف انرژی مربوط به انرژی بیولوژیکی بوده است. نسبت انرژی دانه ۲/۷۴ محاسبه شد که نسبت به سایر تحقیقات صورت گرفته در این زمینه وضعیت بهتری دارد. برای بررسی متغیرهای ورودی که بیشترین تأثیر را روی عملکرد گندم دارند، از تجزیهٔ رگرسیون به روش گام به گام استفاده کردند و نشان دادند که ۹۰ درصد از کل تغییرات توسط ۵ متغیر کود، بذر، سم، سوخت و آب توجیه شده‌اند. برای بهبود شاخص‌های انرژی

پیشنهاد شده با مدیریت عوامل مختلف، نهاده‌های ورودی کاهش و عملکرد در واحد سطح افزایش یابد. طیب‌طاهر و الماسی (Tayyeb Tahir & Almasi, 2010) سیر مصرف انرژی را در کشت و صنعت میان‌آب واقع در شمال خوزستان بررسی کردند. این مطالعه در سطح حدود ۲۵۰۰ هکتار انجام شد که ۷۰۷ هکتار آن مربوط به مزارع پلنت و ۱۷۹۳ هکتار تحت پوشش مزارع راتون بود. کل انرژی ورودی در مزارع پلنت ۷/۱۸۳ گیگاژول بر هکتار محاسبه شده که سهم انرژی ورودی مستقیم ۴۵/۳۱ درصد و غیرمستقیم ۵۵/۶۵ درصد و کارایی انرژی، افزوده خالص انرژی و انرژی تولیدی به ترتیب ۷۶/۳ و ۴/۵۰۶ گیگاژول بر هکتار و ۷۱/۰ کیلوگرم بر مگاژول به دست آمده است. در مزارع پلنت، قلمه با ۸۵/۲۸ درصد بیشترین سهم را در انرژی‌های ورودی داشته است. در گزارش این محققان آمده است که انرژی ورودی در مزارع راتون یک ۱۰۶۲۴۵/۴ گیگاژول بر هکتار بوده که سهم انرژی ورودی مستقیم ۴۵/۳۱ درصد و غیرمستقیم ۵۵/۶۵ درصد محاسبه شده است. الکتریسیته مصرفی با ۵/۳۶ درصد بیشترین سهم را در انرژی ورودی داشته است. در مزارع راتون کارایی انرژی به ترتیب برابر ۴/۳۲، ۵/۰۹، ۵/۳۵، ۴/۱۲ و ۴/۰۴ است.

در این تحقیقات آمده است که افزوده خالص انرژی و انرژی تولیدی با افزایش شمارهٔ راتون کاهش یافته‌اند زیرا با میزان نهاده‌های ورودی یکسان، عملکرد کاهش می‌یافت. کارایی انرژی در مزارع راتون مخصوصاً در راتون‌های اول و دوم نشان از عملکرد مناسب سیستم در میزان نهاده‌های مصرفی به نسبت عملکرد را دارد و دلیل پایین بودن این دو شاخص در مزارع پلنت این نکته را می‌رساند که انرژی‌های ورودی بسیار بالاست و پایین آمدن عملکرد محصول در مزارع راتون، آن هم بعد از راتون ۲، کنترل مناسب نهاده‌های ورودی به این مزارع را طلب می‌کند. در راتون‌های سوم و چهارم و پنجم تقریباً شاخص‌های انرژی یکسان بوده است. میزان انرژی‌های ورودی و عملکرد محصول در این مزارع یکسان است و از این‌رو طولانی کردن تعداد دوره‌های راتونینگ بعد از دو دوره تفاوت زیادی نمی‌کند.

در زمینهٔ بررسی انرژی مصرفی برای تولید نیشکر در مزارع پلنت و راتون در اندازه‌های کوچک و بزرگ نتایج بررسی‌ها نشان داده کل انرژی ورودی ۶۴/۰۹ و ۴۷/۸۳ گیگا ژول به ترتیب در مزارع بزرگ و کوچک به دست آمده است (Mrini *et al.*, 2001). آتشی و همکاران (Atashi *et al.*, 2008) در بررسی‌هایشان در خصوص تعیین بازده انرژی تولید نیشکر نشان دادند انرژی معادل سوخت مورد استفاده با مصرف ۲۶/۸۹ گیگا ژول بر هکتار بیشترین سهم از انرژی ورودی را به خود اختصاص داده است. بعد از آن کود شیمیایی با مصرف ۱۶/۱۸ گیگاژول بر هکتار در ردیف دوم و ماشین‌های کشاورزی، قلمهٔ نیشکر، الکتریسیته، نیروی انسانی و سموم شیمیایی به ترتیب با مصرف ۸/۲۴، ۳/۶۵، ۲/۰۱، ۱/۴و ۱/۳۸ گیگاژول بر هکتار در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. به طور متوسط در دورهٔ مورد مطالعه مجموع انرژی ورودی، سالانه ۶۰/۰۷ گیگاژول بر هکتار محاسبه شد که ۴۸/۱۰ درصد آن انرژی مستقیم، ۴۹/۵۸ درصد آن شامل انرژی غیرمستقیم و ۲/۳۲ درصد آن مربوط به انرژی نیروی انسانی بوده است. نسبت انرژی، در گزارش این محققان اضافه شده است بهره‌وری انرژی و افزودهٔ خالص انرژی در دورهٔ هفت ساله به ترتیب ۱/۷، ۱/۴۱ کیلوگرم بر مگاژول، ۴۰/۵۰ گیگاژول بر

هکتار است. خان و همکاران (Khan *et al.*, 2008) در تحقیقی در خصوص تحلیل انرژی تولید نیشکر نشان دادند که کل انرژی ورودی در مزارع راتون ۲۰/۰۲ گیگا ژول و در مزارع پلنت ۴۹/۲۴ گیگا ژول و کل انرژی خروجی در مزارع پلنت ۳۰۹/۰۹ گیگا ژول و در مزارع راتون ۲۶۱/۵۳ گیگا ژول بوده است. زارعی‌شهامت و همکاران (Zarei Shahamat *et al.*, 2009) در مطالعهٔ بهره‌وری اقتصادی تولید نیشکر نشان دادند انرژی ورودی ۸۶/۶ گیگا ژول در هکتار است که در بین نهاده‌های مصرفی، انرژی الکتریکی با حدود ۸۱ درصد از کل انرژی‌های مصرفی به عنوان اولین نهاده انرژی بر در تولید نیشکر شناخته می‌شود و پس از آن به ترتیب آبیاری ۹۴ /۲۲ درصد، سوخت ۱۵/۶۳ درصد، کود شیمیایی ۱۲/۵۴ درصد، قلمهٔ مصرفی ۱۰/۵۲ درصد، ماشین‌ها ۴/۶۵ درصد، سموم شیمیایی ۴/۱۶ درصد و نیروی انسانی ۰/۶۹ درصد سهم را در انرژی‌های ورودی دارند. انرژی خروجی نیز ۳۸۶/۳۶ گیگاژول در هکتار به دست آمد. سفیدپری و همکاران (Sefeedpari *et al.*, 2014) در پژوهشی با محاسبهٔ شاخص‌های انرژی مصرفی و تجزیه و تحلیل انتشار کربن‌دی‌اکسید در مزارع نیشکر نشان دادند که کل انرژی ورودی در مزارع پلنت و راتون به ترتیب ۱۹۸ و ۱۴۴ گیگا ژول بر هکتار و ۴۳ درصد انرژی مستقیم و ۵۷ درصد انرژی غیرمستقیم در مزارع پلنت محاسبه شده است. در گزارش این محققان اضافه شده که به ترتیب ۳۳ و ۶۷ درصد انرژی مستقیم و غیرمستقیم در مزارع راتون به دست آمده که بیشترین مصرف انرژی مربوط به الکتریسیته و آب آبیاری به ترتیب ۳۹ و ۲۸ درصد است. میزان ۸/۲ و۶/۴ تن کربن‌دی‌اکسید به ترتیب در مزارع پلنت و راتون به دست آمده است.

روش تحلیل پوششی داده‌ها روشی است که به کمک آن می‌توان واحدهای دارای منابع ورودی و خروجی مشابه را از لحاظ کارایی مقایسه کرد و ضریب کارایی هر واحد را به صورت کمی به دست آورد. خصیصه‌ها و قابلیت‌های ویژه و منحصر به فرد این روش در چند سال اخیر به توسعهٔ سریع در حوزه‌ها و سازمان های مختلف انجامیده است. این روش در واقع روش برنامه‌ریزی ریاضی برای ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری است که چندین ورودی و چندین خروجی دارد (Khajovi *et al.*, 2010). بنابراین، لزوم تحقیقات کاربردی با در نظر گرفتن الگوهای پایداری مهم شامل انرژی، هزینه‌ها و نیز اثرهای زیست‌محیطی در حوزه‌های تولیدی نیشکر بیش از پیش احساس می‌شود. در این راستا به منظور مدیریت بهینهٔ نهاده‌های ورودی و بهینه‌سازی مصرف انرژی با هدف حداکثر کردن عملکرد و بهره‌وری عوامل تولید، الگوی پایداری شامل نهاده‌های فیزیکی- مصرفی تولید نیشکر در کشت و صنعت‌های نیشکری استان خوزستان با هدف دستیابی به الگوهای پایداری در کشور بررسی خواهد شد.

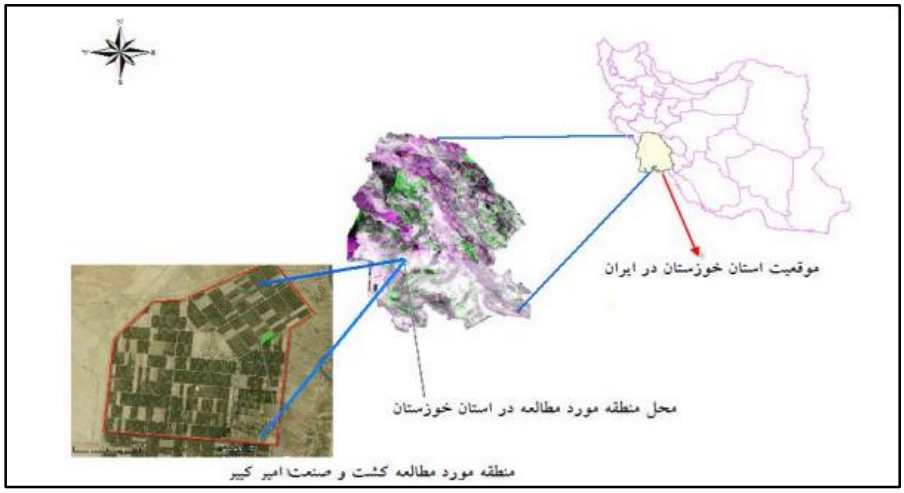
بیش از ۵۰ درصد نیاز داخلی کشور در شرکت طرح و توسعه نیشکر و صنایع جانبی استان خوزستان تأمین می‌شود، و این شرکت با هفت کشت و صنعت زیرمجموعه خود یکی از سیستم‌های تولیدی است. بنابراین با توجه به میزان بالای حجم عملیات تهیهٔ زمین، کاشت، داشت و برداشت صورت گرفته برای تولید نیشکر و به تبع آن تأمین نیروی انسانی لازم و نقش مهمی که در منطقه دارد، ضرورت خواهد داشت مطالعات راهبردی در راستای تعیین اثرهای مکانیزاسیون کشاورزی بر سطوح پایداری تولید صورت گیرد تا گلوگاه‌های هدررفت

انرژی، مسائل زیست‌محیطی و تشخیص میزان آنها به منظور استفاده بهتر از سیر پایداری تولید نیشکر برای حفظ این صنعت و رشد به سمت خودکفایی و پایداری اجتماعی با توجه به شرایط منطقه و روند اجرایی موجود این مسئله شناسایی شود. محققان زیادی در خصوص مصرف انرژی در کشاورزی پژوهش کرده‌اند اما نتوانستند تحلیل انرژی کاملی در تولید نیشکر در ایران ارائه دهند. بنابراین نیاز فوری برای عملی کردن این تحقیق با هدف بهبود در تولید نیشکر وجود دارد. از این‌رو، به منظور شناخت الگوها و روش‌های مرسوم در تولید نیشکر و تعیین میزان سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی از نظر مصرف انرژی، محاسبهٔ شاخص‌های انرژی و کارایی مزارع این ناحیه این مطالعه به مرحلهٔ اجرا درآمد. نتیجه‌گیری اینکه در بهبود شرایط موجود توسعه درست آینده نیاز خواهد بود تا اشتباهات، سعی و خطاها و گلوگاه‌های تولید نیشکر و صنایع آن بررسی شود و بر پایهٔ نتایج به دست آمده مطالعات به روز کشور و دنیا برنامه‌ها، سناریوها و مدل‌های مناسبی به منظور بهبود بهره‌وری عوامل تولید (نهادهای: فیزیکی- مصرفی) و شرایط محیطی، وضعیت به کارگیری منابع انرژی و توان در منطقه ارائه گردد.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر، یکی از شرکت‌های هفت‌گانه وابسته به شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی استان خوزستان، اجرا شد. محدودهٔ منطقهٔ مورد مطالعه بخشی از دشت خوزستان در جنوب غربی ایران است که بین عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۲ درجه شمالی و طول شرقی ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه تا۵۰ درجه واقع شده است (Anon, 2020). شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig. 1- Location of the research area

به علت گستردگی مناطق و فاکتورهای مورد مطالعه، از روش پیمایشی برای این تحقیق استفاده و پرسشنامه‌های مورد نظر توسط کارشناسان و مدیران تولید تکمیل شد. از آنجا که تناسب بین تعداد پارامترهای ورودی و خروجی یک مدل تحلیل پوششی داده‌ها و تعداد واحدهای تصمیم‌گیرنده، که

در مدل‌های خود تحت ارزیابی قرار می‌گیرند، از معیار بسیار مهمی در ارائه نتایج معتبر است، بنابراین باید تعداد واحدهای تصمیم‌گیرنده تقریباً ۳ برابر تعداد مجموع پارامترهای ورودی و پارامترهای خروجی باشد (Kaab *et al.*, 2019b). حداقل حجم نمونه از رابطهٔ ۱ محاسبه شد (Elhami *et al.*, 2016). در این مطالعه حجم نمونه برابر با ۸۰ واحد برآورد شد.

$$n = \frac{N(t \times S)^2}{Nd + (t \times S)^2} \qquad (۱)$$

که در آن،

N= اندازهٔ 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 می‌آید؛ S= برآورد واریانس صفت مورد مطالعه در جامعه؛ d= دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله اطمینان) و n= حجم نمونه.

محاسبه انرژی ورودی و خروجی

انرژی مستقیم و انرژی غیرمستقیم: نهاده‌های مورد نظر استفاده در تولید عبارت‌اند از نیروی انسانی، ماشین‌ها (دروگر، تراکتور و سایر ماشین‌های مزرعه‌ای)، سوخت دیزل ،آبیاری، الکتریسته، کودهای شیمیایی (نیتروژنی، فسفات) سموم شیمیایی (علف‌کش‌ها) و از طرف دیگر ستاده نیشکر است. معادل انرژی هریک از نهاده‌های ورودی و خروجی در جدول ۱ آورده شده است. انرژی نهاده‌های مصرفی از ضرب‌کردن هم‌ارز انرژی در میزان مصرف نهاده‌ها بر هکتار محاسبه شد.

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

Table 1- Energy coefficients of inputs-output in sugarcane production

منبع References	مقدار انرژی (مگاژول بر واحد) Energy equivalent (MJ unit-1)	واحد Unit	نهاده‌ها Inputs	
(Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2014)	1.96	h	Human labor	نیروی انسانی
(Kitani, 1999)	62.70	kg	Agricultural Machinery	ماشین‌های کشاورزی
(Kaab *et al.*, 2019)	56.31	l	Diesel fuel	سوخت دیزل
(Pishgar-Komleh *et al.*, 2012)	199.00	kg	Biocides	سموم شیمیایی
		kg	Chemical fertilizers	کودهای شیمیایی
(Kitani, 1999)	66.10		Nitrogen	نیتروژن
(Kitani, 1999)	12.44		Phosphate	فسفر
(Kitani, 1999)	12.00	kWh	Electricity	الکتریسیته
(Ricaud, 1980)	5.30	kg	Sugarcane cutting	قلمه نیشکر
			ستانده Output	
(Fluck, 1992)	0.52	kg	Sugarcane	نیشکر

انرژی مربوط به نهاده‌های ماشینی یکی از مهم‌ترین اقلام انرژی مصرفی در کل فرآیند موازنهٔ انرژی تولیدات کشاورزی است. برای محاسبه انرژی ماشین‌های استفاده شده از رابطهٔ ۲ استفاده شد (Pishgar-Komleh *et al.*, 2012):

$$ME = \frac{G \times M_P \times t}{T} \qquad (۲)$$

که در آن،

ME= انرژی ماشین در واحد سطح (مگاژول بر هکتار)؛ G= جرم ماشین (کیلوگرم)؛ M_P= انرژی

ماشین (مگاژول بر کیلوگرم)؛ t= زمان استفاده شده از ماشین در واحد سطح (ساعت)؛ و T= عمر مفید ماشین (ساعت).

انرژی مورد نیاز برای تأمین آب مورد نیاز برای آبیاری و انرژی لازم برای زهکشی و آبیاری در فصل رشد شامل انرژی مستقیم و انرژی غیرمستقیم است.

انرژی مستقیم شامل انرژی مصرف شده به منظور بالا آوردن آب و ایجاد فشار متناسب با نیاز سیستم آبیاری از رابطهٔ ۳ محاسبه می‌شود.

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

که در آن،

DE= انرژی مستقیم آبیاری (ژول بر هکتار)؛ ρ= چگالی (۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب)؛ g= شتاب جاذبه (۹/۸ متر بر مجذورثانیه)؛ Q= دبی کل آب مصرفی در فصل زراعی (مترمکعب بر هکتار)؛ H= کل ارتفاع دینامیکی به علاوه افت اصطکاکی فشار (متر)؛ η_1= بازده پمپ که تابعی از ارتفاع عمودی بالابر، سرعت و جریان آب معمولاً معادل ۰/۷- ۰/۹ در نظر گرفته می‌شود؛ η_2 = بازدهی کل تبدیل انرژی و توان که برای پمپ‌های برقی معمولاً معادل ۰/۱۸- ۰/۲۰ در نظر گرفته می‌شود.

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

محاسبه شاخص‌های انرژی

نسبت انرژی: این شاخص نسبت بین کالری گرمایی محصولات خروجی و کل انرژی صرف شده در عوامل تولید و فاقد واحد است و تأثیر واحد انرژی نهاده در دستیابی به اهداف مصرف‌کننده را نشان می‌دهد و طبق رابطهٔ ۴ برآورد خواهد شد (Talukder *et al.*, 2019).

افزوده خالص انرژی: تفاوت مقدار کل انرژی ستانده با انرژی نهاده است. این شاخص در یکای سطح تعریف می‌شود. در تولیدات کشاورزی به خصوص در محصولاتی است که به منظور تولید انرژی کاشته می‌شوند. هدف معمولاً رسیدن به بیشترین افزوده خالص انرژی است. افزوده خالص انرژی طبق رابطهٔ ۵ برآورده خواهد شد (Talukder *et al.*, 2019).

بهره‌وری انرژی: نسبت وزن محصول ستانده به کل انرژی نهاده در واحد سطح را بهره‌وری انرژی می‌نامند و با کیلوگرم بر مگاژول مشخص می‌شود. در واقع این شاخص مقدار محصول تولیدی به ازای مصرف یک واحد انرژی را بیان می‌کند. بهره‌وری انرژی رابطهٔ مستقیم با شاخص نسبت انرژی دارد. بهره‌وری انرژی در یک سیستم تولیدی را می‌توان با کاهش انرژی مصرفی در تولید نهاده یا با افزایش عملکرد محصول و یا با تغییر در هر دو، بهبود بخشید. این شاخص یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها برای مقایسه سیستم‌های تولیدی است (Kitani, 1999). بهره وری انرژی طبق رابطهٔ ۶ محاسبه خواهد شد.

شدت انرژی: شدت انرژی نسبت کل انرژی نهاده به وزن محصول ستانده در واحد سطح است و بر حسب مگاژول بر کیلوگرم مشخص می‌شود. این شاخص عکس بهره‌وری انرژی و بیان‌کنندهٔ انرژی مصرفی برای تولید هر واحد از محصول است (Kitani, 1999). شدت انرژی طبق رابطهٔ ۷ محاسبه خواهد شد.

$$\text{نسبت انرژی} = \frac{\text{انرژی خروجی (مگا ژول بر هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگا ژول بر هکتار)}} \quad (۴)$$

$$\text{افزوده انرژی} = \text{انرژی ورودی (مگا ژول بر هکتار)} - \text{انرژی خروجی (مگا ژول بر هکتار)} \quad (۵)$$

$$\text{بهره وری انرژی} = \frac{\text{عملکرد (کیلو گرم بر هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگا ژول بر هکتار)}} \quad (۶)$$

$$\text{شدت انرژی} = \frac{\text{انرژی ورودی (مگا ژول بر هکتار)}}{\text{عملکرد (کیلو گرم بر هکتار)}} \quad (۷)$$

تحلیل پوششی داده‌ها

تحلیل پوششی داده، نوعی مدل برنامه‌ریزی خطی است که کارایی نسبی گروهی از واحدهای تصمیم‌گیری یا DMU[1] را اندازه‌گیری می‌کند. به عبارت دیگر، تحلیل پوششی داده روش برنامه‌ریزی کمی برای اندازه‌گیری عملکرد نسبی واحدهای سازمانی است که چون دارای نهاده و ستانده‌های مختلف هستند، در مقایسه و سنجش کارایی نارسایی دارند. در روش تحلیل پوششی داده نیاز به هیچ‌گونه فرض یا شکل ریاضی خاص نیست، یعنی نیازی به شناخت تابع تولید نیست. همچنین در اختیار داشتن قیمت عامل‌های تولید نیز ضرورت ندارد. روش تحلیل پوششی داده گاهی به عنوان روش اندازه‌گیری کارایی فنی شناخته می‌شود. کارایی فنی سعی دارد که حداکثر خروجی را با مصرف ورودی‌هایی ایجاد کند که به واحد داده شده است.

تحلیل پوششی داده چهار مدل اصلی دارد: مدل بازگشت به مقیاس ثابت[2]، مدل بازگشت به مقیاس متغیر[3]، مدل بازگشت به مقیاس افزایشی[4]، مدل بازگشت به مقیاس کاهشی[5]. هر یک از مدل‌ها دو جهت مطالعه (خروجی محور- ورودی محور) دارد. مفهوم خروجی محور این است که به چه میزان باید خروجی‌ها را با ثابت نگه‌داشتن میزان ورودی‌ها افزایش داد تا واحد مورد نظر به مرز کارایی برسد. یعنی بدون نیاز به عوامل تولید بیشتر، می‌توان تولید را به این میزان افزایش داد. مفهوم ورودی محور این است که به چه میزان باید ورودی‌ها را با ثابت نگه‌داشتن میزان خروجی‌ها، کاهش داد تا واحد مورد نظر به مرز کارایی برسد.

مدل‌های استفاده شده در روش تحلیل پوششی داده‌ها

در این مطالعه، تحلیل پوششی داده‌ها در سه مدل کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس به منظور محاسبهٔ مقادیر بهینه شده در انرژی مصرفی برای محصول نیشکر به کار گرفته شد. به طور کلی، تعریف کارایی که در مدل‌های تحلیل پوششی استفاده می‌شود طبق رابطهٔ ۸ است (Charnes *et al*., 1978):

$$\text{کارایی} = \frac{\text{مجموع خروجی وزن دار شده}}{\text{مجموع ورودی وزن دار شده}} \quad (۸)$$

1- Decision Unit Making
2- Constant Return to Scale
3- Variable Return to Scale
4- Increasing Return to Scale
5- Increasing Return to Scale

کارایی فنی که بر اساس مدل بازگشت به مقیاس ثابت معرفی می‌گردد، اساساً به وسیلهٔ واحدهای ارزیابی شده برای عملکردشان اندازه‌گیری می‌شود که وابسته به دیگر واحدهاست. این نوع کارایی از رابطهٔ ۵ قابل محاسبه است که در واقع همان مدل برنامه‌ریزی خطی در رابطهٔ ۹ است:

$$\begin{aligned} &\text{Max } h_k = \frac{\sum_{r=1}^{s}(u_{rk}y_{rk})}{\sum_{i=1}^{m}(v_{ik}x_{ik})} \\ &\frac{\sum_{r=1}^{s}(u_{rk}y_{rk})}{\sum_{i=1}^{m}(v_{ik}x_{ik})} \le 1; \qquad j = 1, \dots, n \\ &u_{rk}\ , y_{rk} \ge 0 \qquad\qquad r = 1, \dots, s; \\ &\qquad\qquad\qquad\quad i = 1, \dots, m \end{aligned} \qquad (۹)$$

که در آن،

hk= کارایی فنی؛ x= مقادیر مربوط به ورودی‌ها؛ y= خروجی مورد نظر؛ m= و s= به ترتیب تعداد ورودی‌ها و خروجی‌های تولیدی توسط واحد تصمیم‌گیرنده؛ n= تعداد نهاده‌ها؛ v_{ik} و u_{rk}= به ترتیب ماتریس ورودی‌ها و خروجی‌ها.

کارایی فنی خالص، همان کارایی فنی است که متأثر از جابه‌جایی کارایی مقیاس بر اساس مدل بازگشت به مقیاس متغیر است. در این مدل، تغییر یک واحد در ورودی‌ها، خروجی با نسبت متغیری افزایش یا کاهش پیدا می‌کند. رابطهٔ خطی ۱۰ نحوهٔ محاسبهٔ کارایی فنی خالص را نشان می‌دهد (Banker *et al*., 1984):

$$\begin{aligned} &Max\ z = uy_j - u_j \\ &subjected\ to\ vx_i = 1 \\ &-vx + uy - u_0 e \le 0 \\ &v \ge 0, u \ge 0\ and\ u_0\ free\ is\ sign \end{aligned} \qquad (۱۰)$$

کارایی مقیاس نیز بنا به تعریف، پتانسیل بالقوهٔ دستیابی به مقدار بهینه برای یک واحد تصمیم‌گیرنده است و از رابطهٔ ۱۱ قابل محاسبه است (Mousavi-Avval *et al*., 2011).

$$\text{کارایی مقیاس} = \frac{\text{کارایی فنی}}{\text{کارایی فنی خالص}} \qquad (۱۱)$$

وقتی مقادیر کارایی فنی و کارایی فنی خالص یکسان باشند، نشان از کارایی مقیاس است و در غیر این‌صورت پارامتر مقیاس ناکاراست. به منظور تعیین سطح ناکارایی در انرژی مصرفی، از رابطهٔ ۱۲ محاسبهٔ نسبت انرژی صرفه‌جویی شده استفاده شد (Hu & Kao, 2007).

$$\text{نسبت انرژی صرفه جویی شده} = \frac{\text{انرژی ذخیره شده مطلوب}}{\text{انرژی ورودی واقعی}} \times 100 \qquad (۱۲)$$

در رابطهٔ ۱۱، محدودهٔ نسبت انرژی صرفه‌جویی شده بین صفر و یک است. هرچه مقدار انرژی ذخیره شده مطلوب نسبت به انرژی ورودی واقعی بیشتر شود ناکارایی مزارع مورد مطالعه در انرژی مصرف شده افزایش می‌یابد و قابلیت میزان انرژی ذخیره شده نیز بالا می‌رود. در این مطالعه، از روش ورودی محور برای ارزیابی مقادیر بهینه یافتهٔ نهاده‌ها استفاده شد زیرا چندین نهاده به عنوان ورودی مدل مشخص شده است؛ این در حالی است که تنها یک خروجی، عملکرد نیشکر، وجود دارد.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل انرژی ورودی و خروجی

به منظور تعیین میزان انرژی به کار رفته در تولید نیشکر، انرژی معادل ماشین‌های کشاورزی، سوخت مصرفی، کود و سموم شیمیایی و نیروی انسانی محاسبه و سهم هر یک از آنها مشخص شد. در جدول ۲ میزان نهاده‌های مصرفی، مقدار انرژی

آنها و درصد مصرف هر یک از نهاده‌ها ارائه شده است. میزان مصرف نهاده‌ها بر حسب واحد هر نهاده و عملکرد نهایی بر حسب کیلوگرم و نهایتاً مقدار انرژی این مقادیر را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۲ به طور متوسط در هر هکتار ۹۵/۸۲ لیتر سوخت استفاده می‌شود که انرژی معادل آن ۹۳۹۵/۶۲ مگاژول بر هکتار محاسبه شده است. سوخت گازوییل عمدتاً برای حرکت تراکتور در عملیات مختلف استفاده می‌شود. از مهم‌ترین دلایلی که بتوان برای مصرف بالای سوخت فسیلی مطرح کرد فرسودگی منابع توان است. با توجه به بی‌دقت بودن اکثر رانندگان نسبت به تنظیم مناسب گاز و استفاده از دندهٔ مناسب کاری، توصیه‌هایی در مورد تنظیم گاز و استفاده از دندهٔ مناسب به رانندگان یا حتی در صورت امکان استفاده از تراکتور مناسب می‌تواند سبب صرفه‌جویی قابل توجهی در میزان مصرف سوخت شود.

کودهای شیمیایی استفاده شده برای مزارع نیشکر شامل کودهای نیتروژنی و فسفات است. با بررسی مزارع این منطقه مشخص شد که جمعاً میزان ۳۱۵ کیلوگرم کود شیمیایی در هر هکتار استفاده شده است، این میزان شامل ۱۱۵ کیلوگرم نیتروژن، ۲۰۰ کیلوگرم فسفات است. یکی از دلایل مصرف زیاد کودهای شیمیایی در کشور، ناآگاهی کشاورزان از میزان دقیق و زمان درست کوددهی است که علاوه بر صرف انرژی و هزینه باعث مشکلات فراوانی از قبیل آلودگی خاک، شوری خاک، آلودگی آب‌های زیرزمینی شده است. همان‌طور که جدول ۲ نشان می‌دهد میزان استفاده از ماشین‌های کشاورزی در حدود ۶۸۹/۷ مگاژول بر هکتار انرژی است، عمده استفاده از ماشین‌های کشاورزی شامل تراکتور، سمپاش و گاوآهن است.

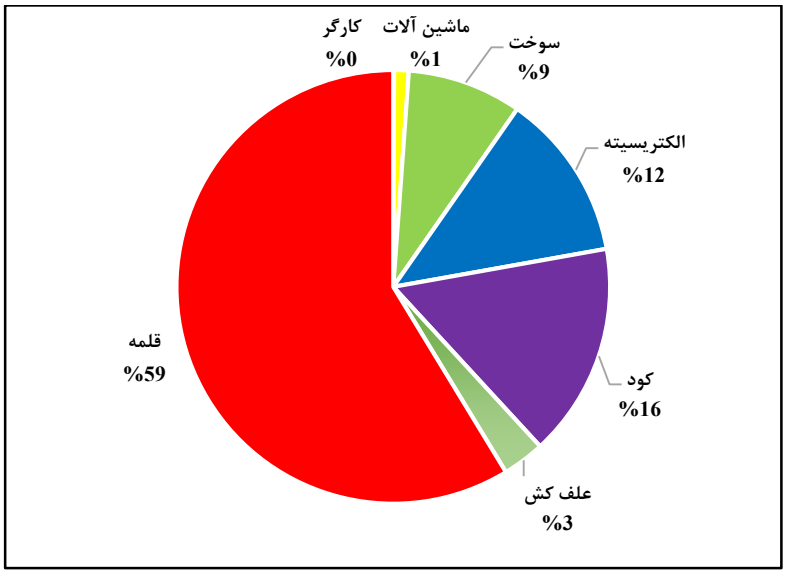
سموم شیمیایی نقش مهمی در مقابله با آفات و بیماری‌ها دارند و سالانه در چند وهله برای مبارزه با آفات سمپاشی می‌کنند، علف‌کش‌های توفوردی از جمله این سموم هستند. به طور متوسط ۱۰ لیتر در هکتار از سموم شیمیایی استفاده می‌شود. انرژی معادل سموم شیمیایی استفاده شده در هر هکتار نیز ۱۱۹۰ مگاژول بر هکتار است. معلوم شده است در یک هکتار مزرعه ۲۰ ساعت کار توسط نیروی انسانی برای فعالیت‌هایی مانند آماده‌سازی زمین، کاشت، برداشت، سمپاشی و آبیاری صرف می‌شود. اغلب نیروی انسانی مرد مشغول به کار است. معادل انرژی نیروی انسانی ۳۹/۲ مگاژول بر هکتار است. بسیاری از تحقیقات دیگر نیز گزارش شده که انرژی نیروی انسانی کمترین میزان انرژی مصرفی را در بین دیگر نهاده‌ها دارد.

طبق شکل ۲، از کل انرژی مصرفی در تولید، انرژی قلمه و کود شیمیایی به ترتیب با ۵۹ و ۱۶درصد بیشترین سهم را در بین نهاده‌های مصرفی دارند. علف‌کش ۳/۱۵ درصد، ماشین‌های کشاورزی ۱/۰۹ درصد، نیروی انسانی ۰/۰۶ درصد کمترین نهاده‌های انرژی‌بر در بین دیگر نهاده‌های تولید نیشکر هستند. با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق مشخص شد که دو نهاده قلمه و کود شیمیایی بیشترین میزان مصرف را در بین تمام نهاده‌ها برای تولید دارند.

جدول ۲- سهم و مقادیر انرژی‌های ورودی و خروجی در تولید نیشکر

Table 2- Contribution and values of input and output energies in sugarcane production

سهم انرژی (درصد) Energy share (%)	انرژی (مگاژول بر هکتار) Energy (MJ ha -1)	مقدار (واحد بر هکتار) Quantity (unit ha-1)	نهاده‌ها Inputs	
0.06	39.20	20.00	Human labor	نیروی انسانی
1.09	689.70	11.00	Agricultural Machinery	ماشین‌های کشاورزی
8.54	9395.62	95.82	Diesel fuel	سوخت دیزل
12.50	9978.21	662.13	Electricity	الکتریسیته
12.03	7606.01	115.00	Nitrogen fertilizer	کود نیتروژن
3.94	2488.00	200.00	Phosphate fertilizer	کود فسفر
3.15	1190.00	10.00	Biocides	علف‌کش
58.70	37100.00	7000.00	Sugarcane cuttings	قلمهٔ نیشکر
100	63207.84		Sum of inputs	جمع نهاده‌ها
			ستانده Output	
	33974.30	64141.00	Sugarcane	نیشکر



شکل ۲- میزان سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی در تولید نیشکر

Fig. 2- The share of each inputs in sugarcane production

در مطالعات دیگر در زمینهٔ مصرف انرژی، کریمی و همکاران (Karimi *et al.*, 2008) در پژوهشی در خصوص تحلیل انرژی در تولید نیشکر در مزارع پلنت نشان دادند کل انرژی نهاده‌ها ۱۴۸/۰۲ گیگاژول است و انرژی مربوط به سوخت و الکتریسیته بالاست. هارونی و همکاران (Harooni *et al.*, 2017) انرژی نهاده‌ها در مزارع پلنت و راتون را به ترتیب ۱۷۴۲۸۳/۷۶ و ۱۴۵۱۱۷/۷۹ مگاژول بر هکتار محاسبه کرده‌اند. سهم الکتریسیته از کل انرژی مصرفی ۵۴ و ۵۲ درصد به ترتیب در مزارع راتون و پلنت به دست آمده است. پس از الکتریسیته، کودهای شیمیایی با ۱۹ و ۱۶ درصد به ترتیب در مزارع راتون و پلنت بیشترین سهم را از کل انرژی مصرفی به خود

اختصاص دادند. انرژی مصرفی برای آبیاری بیشترین سهم از نهاده‌های انرژی مصرفی را در عملیات زراعی کشت نیشکر دارد. غدیریان‌فر و همکاران (Ghadirianfar *et al.*, 2013) روی چرخهٔ کامل انرژی در تولید اتانول از ملاس نیشکر مطالعه کردند و نشان دادند مقدار انرژی مصرفی برای مزارع پلنت برابر با ۱۹۴۲۸۳ مگاژول بر هکتار است، و مقدار انرژی مصرفی در کل بخش کشاورزی از زمان تهیهٔ زمین و کاشت تا انتقال به کارخانهٔ تولید شکر در یک هکتار برابر ۲۰۸۳۴۴ مگاژول است. از بین نهاده‌های مصرفی، قلمه نیشکر با ۱۱/۵۳ درصد، پس از آبیاری و سوخت به ترتیب با ۶۷/۸۱ و۱۱/۷۹ درصد، بیشترین سهم را از نهاده‌های انرژی در مزرعه نیشکر دارند. پس از این موارد، کود و سم با ۸/۸۸ درصد بیشترین سهم نهاده‌ها را تشکیل می‌دهند. سامی و همکاران (Sami *et al.*, 2014) در بررسی‌هایی که در بارهٔ مصرف انرژی در کشت نیشکر در ایران کرده‌اند نشان دادند که در میان تمامی نهاده‌های مصرفی در کشت نیشکر، الکتریسیته بیشترین سهم را از کل انرژی نهاده‌ها دارد. کعب و همکارن (Kaab *et al.*, 2018) در پژوهشی به بررسی مصرف انرژی در تولید نیشکر پرداختند و گزارش دادند که میزان کل انرژی نهاده‌ها در تولید محصول نیشکر در مزارع پلنت و راتون به ترتیب برابر با ۱۷۲۸۸۴/۷۰ و ۱۲۲۸۰۱/۱۵ مگاژول بر هکتار است. بیشترین میزان مصرف انرژی در مزارع پلنت و راتون متعلق به الکتریسیته، آب آبیاری، سوخت دیزل و کود نیتروژن است.

محاسبهٔ شاخص‌های انرژی

با استفاده از این شاخص‌ها امکان مطالعه و مقایسهٔ نظام‌های تولید محصولات در نقاط یا محصولات مختلف یک منطقه با یکدیگر فراهم خواهد بود. بنابر نتایج حاصل از انرژی نهاده و ستانده، شاخص‌های انرژی با استفاده از تعاریف ارائه شده محاسبه شدند. شاخص‌های انرژی در تولید نیشکر در جدول ۳ نشان داده شده است. نسبت انرژی که به عنوان فاکتوری برای بررسی کارایی انرژی در تولید محصولات به کار می‌رود، ۰/۵۳ به دست آمد. این نسبت مشخص می‌کند که به ازای هر یک مگاژول انرژی ورودی ۰/۵۳ مگاژول انرژی تولید شده است. برای بهبود این شاخص می‌توان عملکرد را بالا برد یا انرژی ورودی را کاهش داد یا هر دو مورد را مدنظر قرار داد. شدت انرژی در این تحقیق ۰/۹۸۵ مگاژول بر کیلوگرم به دست آمد که نشان می‌دهد به ازای تولید هر یک کیلوگرم ۰/۹۸۵ مگاژول انرژی صرف شده است.

در مطالعاتی مشابه، کریمی و همکاران (Karimi *et al.*, 2008) شاخص‌های انرژی را برای تولید نیشکر در مزارع پلنت محاسبه کردند و میزان نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی و افزوده خالص انرژی را به ترتیب ۰/۷۶، ۰/۶۳ کیلوگرم بر مگاژول، ۱/۵۹ مگاژول بر کیلوگرم و ۳۵۸۰۰- مگاژول بر هکتار به دست آوردند. هارونی و همکاران (Harooni *et al.*, 2015) در پژوهشی به محاسبه شاخص‌های انرژی برای تولید نیشکر در مزارع راتون پرداختند و میزان نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی و افزوده خالص انرژی را به ترتیب ۰/۶، ۰/۵ کیلوگرم بر مگاژول، ۱/۹۹ مگاژول بر کیلوگرم و ۵۸۰۲۱/۴- مگاژول بر هکتار برآورد کردند. کعب و همکاران (Kaab *et al.*, 2019a) مقادیر شاخص‌های انرژی از قبیل نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی و افزوده خالص انرژی برای تولید نیشکر در مزارع پلنت را به ترتیب ۰/۷۲، ۰/۶کیلوگرم بر مگاژول، ۱/۷۳ مگاژول بر

کیلوگرم و ۵۲۸۸۴/۷۰- مگاژول بر هکتار و در مزارع راتون به ترتیب ۰/۸۱، ۰/۶۷ کیلوگرم بر مگاژول، ۱/۴۹ مگاژول بر کیلوگرم و ۲۳۹۵۱/۱۵- مگاژول بر هکتار محاسبه کردند.

جدول ۳- شاخص‌های انرژی در تولید نیشکر

Table 3- Energy indicators in sugarcane production

	عنوان Items	مقدار Amount	واحد Unit	
نسبت انرژی	Energy use efficiency (ratio)	0.53		
بهره وری انرژی	Energy productivity	1.01	کیلوگرم بر مگاژول	$Kg\ MJ^{-1}$
شدت انرژی	Specific energy	0.985	مگاژول بر کیلوگرم	$MJ\ Kg^{-1}$
انرژی خالص	Net energy gain	-29233.54	مگاژول بر هکتار	$MJ\ ha^{-1}$

تحلیل پوششی داده‌ها

بررسی کارایی مزارع

اطلاعات جمع آوری شده از پرسشنامه‌ها با استفاد از روش تحلیل پوششی داده‌ها و با بهره‌بری از نرم‌افزار EMS تجزیه و تحلیل و مزارع کارا و ناکارا مشخص شدند. چگونگی کارا شدن مزارع ناکارا توضیح داده شده است. داده‌ها با مدل بازگشت به مقیاس ثابت و مدل بازگشت به مقیاس متغیر تجزیه و تحلیل شدند. ابتدا داده‌ها در نرم‌افزار اکسل به فرمی مرتب و کدگذاری شد که برای نرم‌افزار EMS قابل درک باشد. پس از آن با نرم‌افزار EMS برای هر مدل یک مرتبه تحلیل صورت گرفت.

تجزیه و تحلیل مزارع با استفاده از مدل بازگشت به مقیاس ثابت

میانگین کارایی مزارع ناکارا در مزارع تولید ۰/۶ است، مقادیر میانگین کارایی مزارع ناکارا نشان می‌دهد با استفاده این مقادیر از نهادها و با ثابت بودن میزان خروجی، مزارع ناکارا می‌توانند به مرز کارایی برسند و مقادیر ۰/۴ نهاده‌ها را در مزارع تولید با افزایش کارایی خود ذخیره کنند. میانگین کارایی فنی در مزارع ناکارا نشان می‌دهد از منابع مختلف انرژی بیشتر از مقدار مورد نیاز استفاده شده است. بنابراین باید سطوح واقعی انرژی از هر منبع در مزارع ناکارا برای جلوگیری از اتلاف انرژی بدون کاهش سطح خروجی استفاده شود.

تجزیه و تحلیل مزارع با استفاده از مدل بازگشت به مقیاس متغیر

میانگین کارایی مزارع ناکارا با استفاده از مدل بازگشت به مقیاس متغیر در مزارع تولید ۰/۹۲ است. این مقدار نشان می‌دهد که با رفع نواقص مدیریتی در مصرف بهینه منابع با استفاده از ۰/۹۲ نهاده‌ها در مزارع تولید و ثابت بودن میزان خروجی این مزارع، می‌توانند به مرز کارایی برسد و ۰/۰۸ نهاده‌ها را در تولید با افزایش کارایی خود ذخیره کنند.

جدول ۴ مقادیر میانگین، بیشترین و کمترین کارایی فنی، فنی خالص و مقیاس را برای تولید نشان می‌دهد. طبق نتایج، میانگین کارایی فنی مزارع تولید ۰/۵۹ است. بنابراین با توجه به نتایج کارایی فنی، با استفاده از ترکیب بهتر عوامل تولید موجود در مزارع تولید می‌توان ۰/۴۱ کارایی فنی تولید را افزایش داد. طبق نتایج به دست آمده، میانگین کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس در تولید ۰/۹۷ و ۰/۶ است. عدد کارایی مقیاس نشان می‌دهد که اگر اندازهٔ مقیاس مزارع به سمت بهترین اندازه حرکت کند، کارایی مقیاس می‌تواند بهبود یابد.

جدول ٤- مقادیر کارایی‌های مختلف در مصرف انرژی برای تولید نیشکر

Table 4- Values of different efficiencies in energy consumption for sugarcane production

انحراف معیار Standard deviation	حداکثر Maximum	میانگین Average	حداقل Minimum	عنوان Item	
11.50	1.00	72.60	59.80	Technical efficiency	کارایی فنی
13.10	1.00	76.40	60.60	Pure technical efficiency	کارایی فنی خالص
6.60	1.00	95.49	71.20	Scale efficiency	کارایی مقیاس

مقادیر متوسط حقیقی انرژی مصرف شده و مقادیر بهینه و انرژی ذخیره شده

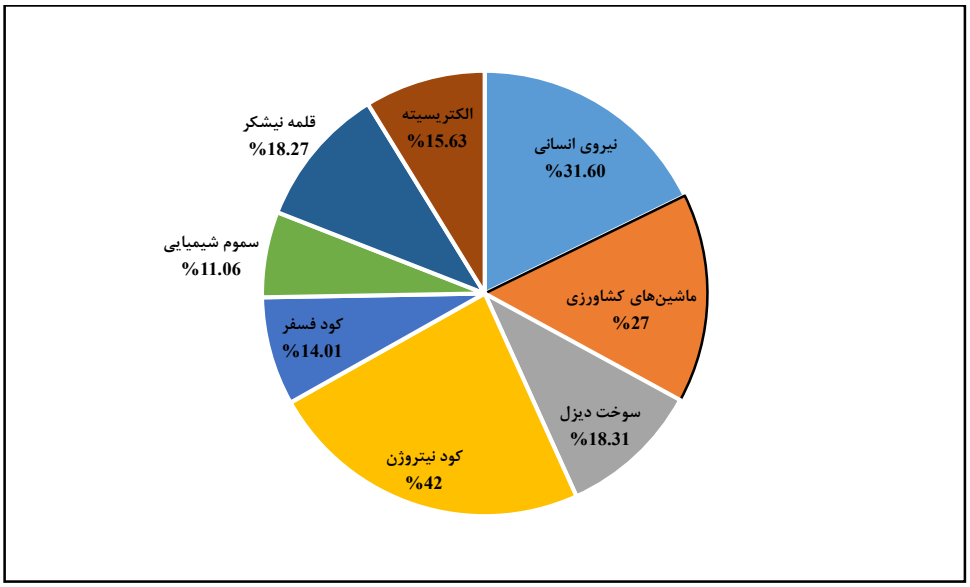
در جدول ۵، مقادیر متوسط حقیقی انرژی مصرف شده و مقادیر بهینه آورده شده است. منظور از انرژی ذخیره شده همان مقدار انرژی از نهاده‌هاست که با صرف میزان بهینهٔ استفاده از نهاده‌ها و رعایت اصول مدیریتی ذخیره می‌شود (Espinjari Kanari *et al.*, 2014). در واقع با استفاده از مقادیر بهینه انرژی می‌توان ۱۴۶۵۹/۵۶ مگاژول انرژی را ذخیره و صرفه‌جویی کرد.

با توجه به شکل ۳ کود نیتروژن و نیروی انسانی به ترتیب با ۴۲ و ۳۱/۶۰ درصد بیشترین سهم را از انرژی دخیره شده دارند. کمترین سهم از انرژی ذخیره شده در تولید به ترتیب متعلق به سموم شیمیایی و کود فسفره است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد کاهش در مصرف کودهای شیمیایی و سوخت دیزل برای ذخیره‌سازی انرژی و کاهش مشکل خطر زیست‌محیطی در منطقه مهم است. ذخیره‌سازی در سوخت دیزل با بهبود عملکرد پمپ آبیاری و استفاده از تراکتورهای جدید و آنالیز خاک برای بهبود مصرف کودهای شیمیایی امکان‌پذیر است. کعب و همکارن (Kaab *et al.*, 2018) در پژوهشی مقادیر انرژی بهینه، انرژی ذخیره شده و درصد ذخیره برای تولید نیشکر در مزارع پلنت را بررسی کردند و نشان دادند میزان کل انرژی مورد نیاز در حالت مصرف بهینه نهاده‌ها برابر ۱۵۸۱۲۱/۶ مگاژول بر هر هکتار است که الکتریسیته، نیروی انسانی و فسفات به ترتیب با ۱۳/۳، ۷/۵۴ و ۵/۵۸ درصد دارای بالاترین میزان ذخیره نسبت به حالت عرف مصرفی در شرکت هستند. همچنین ۸/۵۲ درصد از انرژی ورودی کل در تولید نیشکر در مزارع پلنت بدون کاهش عملکرد، قابل ذخیره خواهد بود.

جدول ٥- مقادیر نهاده‌های بهینه برای تولید نیشکر

Table 5- Optimum input values for sugarcane production

ذخیرهٔ انرژی (درصد) Energy saving (%)	ذخیرهٔ انرژی (مگاژول بر هکتار) Energy storage (MJ ha-1)	مقدار بهینه (مگاژول بر هکتار) Optimum value (MJ ha-1)	نهاده‌ها inputs	
31.60	1.54	41.21	Human labor	نیروی انسانی
27.00	264.50	715.12	Agricultural Machinery	ماشین‌های کشاورزی
18.31	1083.41	4832.60	Diesel fuel	سوخت دیزل
42.00	3262.12	6923.00	Nitrogen fertilizer	کود نیتروژن
14.01	364.00	2235.00	Phosphate fertilizer	کود فسفر
11.06	232.61	1870.00	Biocides	سموم شیمیایی
15.63	1560.36	8417.85	Electricity	الکتریسیته
18.27	7891.00	35300.00	Sugarcane cutting	قلمه نیشکر
28.23	14659.56	51916.93	All inputs	کل نهاده‌ها



شکل ۳- سهم انرژی ذخیره شده نهاده‌های تولید

Fig 3- Share of stored energy of production inputs

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به تجزیه و تحلیل و بهینه‌سازی مصرف انرژی در سامانهٔ تولیدی محصول نیشکر در کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر به روش تحلیل پوششی داده‌ها پرداخته شد و نتایج این تحقیق عبارت است از:

- متوسط مصرف انرژی برای کشت یک هکتار نیشکر در منطقهٔ مورد مطالعه ۶۳۲۰۷/۸۴ و مقدار انرژی ستانده ۳۳۹۷۴/۳ مگاژول بر هکتار محاسبه شد.

- مقدار بهینهٔ متوسط مصرف انرژی در مزارع ۵۱۹۱۶/۹۳ مگاژول بر هکتار محاسبه شد و میزان ذخیره انرژی ۱۹/۸۶ مگاژول بر هکتار در مزارع در حالت بهینه به دست آمد.

- از کل انرژی ذخیره شده در مزارع، کود نیتروژنی و نیروی انسانی با ۴۲ و ۳۱/۶۰ درصد بیشترین سهم را از انرژی ذخیره شده دارند. کمترین سهم از انرژی ذخیره شده در تولید به ترتیب متعلق به سموم شیمیایی و کود فسفره بود.

کاهش مصرف سوخت دیزل و کودهای شیمیایی به طور عمده نیتروژن یکی از راه‌های مهم مدیریت بهتر انرژی در تولید نیشکر در مزارع منطقهٔ 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 سامانهٔ آبیاری، استفاده از ماشین‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی به منظور کاهش تردد و استفادهٔ کم از ماشین‌های کشاورزی که باعث کمینه شدن میزان سوخت مصرفی می‌شود، می‌توان مصرف انرژی را به صورت چشمگیری کاهش داد.

مراجع

Anon. (2020). Annual Agricultural Statistics. Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. (in Persian)

Atashi, M. (2008). Determining the energy efficiency of sugarcane production in Amirkabir cultivation and industry and providing solutions to increase it (*M. Sc. Thesis*), Agricultural Mechanization, Shahid Chamran University of Ahvaz. Ahvaz, Iran. (in Persian)

Banker, R., Charnes, A., & 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. https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8.

Elhami, B., Akram, A., & Khanali, M. (2016). 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. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2016.07.002.

Emami Meybodi, A. (1999) Principles of Measuring Efficiency and Productivity. 2nd Ed. Tehran: Business Studies and Research Institute. (in Persian)

Espinjari Kanari, R., Shabanzadeh, M., Jansoz, P., & Omidi, A. (2014). Investigating the efficiency of energy consumption in cucumber production greenhouses in Tehran province. *Biosystem Engineering of Iran (Agricultural Sciences of Iran), 46* (2), 125-134. https://doi.org/10.22059/IJBSE.2015.55670. (in Persian)

Fluck, R.C. (1992). Energy for Florida sugarcane. Florida, U. O., Fact Sheet EES-87. Florida Cooperative Extension Service, Florida.

Ghadirianfar, M., Kihani, A., & Omid, M. (2013). Complete energy cycle in ethanol production from sugarcane molasses in Iran. *Biosystem Engineering Journal of Iran. 44*(2), 135-142. https://doi.org/10.22059/IJBSE.2014.50121. (in Persian)

Harooni, S., Sheikh Davoudi, M. J., & Kiani, M. (2015). Modeling of energy consumption and greenhouse gas emissions in the process of sugarcane production in ratoon farms using artificial neural networks (case study of Da'abal Khazai sugarcane agroindustrial company in Khuzestan province). *Agricultural Machinery Mechanics Research Journal, 4*(1), 11-19. (in Persian)

Harooni, S., Sheikh Dawoodi, M., Kayani de Kayani, M. (2017). Prediction of yield and greenhouse gas emissions for sugarcane production in plantations. *Journal of Agricultural Machinery, 8*(2), 398-401. https://doi.org/10.22067/jam.v8i2.52870. (in Persian)

Hu, J. L., & Kao, Ch. (2007). Efficient energy-saving targets for APEC economies. *Energy Policy, 35*, 373-82. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.11.032.

Kaab, A., Sharifi, M., & Mobli, H. (2018). Analysis and optimization of energy consumption and greenhouse gas emissions in sugarcane production. *Iranian Journal of Biosystem Engineering, 50*(1), 19-30. 10.22059/IJBSE.2018.251593.665035. (in Persian)

Kaab, A., Sharifi, M., Mobli, H., Nabavi-Pelesaraei, A., & Chau, K. W. (2019a). Combined life cycle assessment and artificial intelligence for prediction of output energy and environmental impacts of sugarcane production. *Science of the Total Environment, 664*, 1005-1019. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.004.

Kaab, A., Sharifi, M., Mobli, H., Nabavi-Pelesaraei, A., & Chau, K. W. (2019b). Use of optimization techniques for energy use efficiency and environmental life cycle assessment modification in sugarcane production. *Energy, 181*, 1298-320.

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. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science. 4*, 165-171.

Khajovi, Sh., Ghiori, M., & Ghafari, M. (2010). Data envelopment analysis technique as a supplement to the traditional analysis of financial ratios. *Accounting and Auditing Reviews, 56*, 60-41. DOR: 20.1001.1.26458020.1389.17.2.3.7.

Khan, M. A., Zafar, J., & Bakhash, A. (2008). Energy requirement and economic analysis of sugarcane production in Dera Islamic Khan district of Pakistan. *Gomal University Journal of Research, 24*, 71-81.

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. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2008.11.002.

Kitani, O. (1999). CIGR handbook of agriculture engineering. Vol. 5: Energy and biomass engineering. ASAE Pub.

Kouchaki-Penchah, H., Sharifi, M., Mousazadeh, H., & Zarea-Hosseinabadi, H. (2016). Life cycle assessment of medium-density fiberboard manufacturing process in IR Iran. *Journal of Cleaner Production, 112*, 351-358. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.049.

Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, Sh., Jafari, A., & Mohammadi, A. (2011). Improving energy use efficiency of canola production using data envelopment analysis (DEA) approach. *Energy, 36*, 2765-2772. https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.02.016.

Mrini, M., Senhaji, F., & Pimentel, D. (2001). Energy analysis of sugarcane production in Morocco. *Environment, Development and Sustainability, 3*, 109-126. https://doi.org/10.1023/A:1011695731580.

Nabavi-Pelesaraei, A., Abdi, R., Rafiee, Sh., & 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.

Naseri, H., Gholami Parashkoohi, M., Ranjbar, I., & Mohammad Zamani, D. (2022). Evaluation of the effect of reduced and conventional tillage methods on machine performance parameters, soil properties and quantitative and qualitative efficiency of sugarcane. *Agricultural Mechanization & Systems Research, 22*(80), 17-32. https://doi.org/10.22092/amsr.2021.353026.1373. (in Persian)

Naseri, H., Parashkoohi, M. G., Ranjbar, I., & Mohammad Zamani, D. (2021). Energy-economic and life cycle assessment of sugarcane production in different tillage systems. *Energy, 217*, 119252. https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119252.

Noor Mohammadi, J., Melai, K., Almasi, M., & Barqaei, A. (2014). *Investigation of energy indicators and the impact of input energy on water wheat yield (Niriz city, Fars), Proceedings of the 8th National Congress of Agricultural Machine Engineering (Biosystem) and Mechanization of Iran*. Jan. 29, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (in Persian)

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. https://doi.org/10.22059/IJBSE.2016.59371. (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. https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.03.040.

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.

Sami, M., Shiekhdavoodi, M. J., Pazhohanniya, M., & Pazhohanniya, F. (2014). Environmental comprehensive assessment of agricultural systems at the farm level using fuzzy logic: A case study in sugarcane farms in Iran. *Environmental Modelling and Software, 58*, 95-108. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.02.014.

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. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.048.

Talukder, B., VanLoon, G. W., & Hipel, K. W. (2019). Energy efficiency of agricultural systems in the southwest coastal zone of Bangladesh. *Ecological Indicators, 98*, 641-648. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.030.

Zarei Shahamat, A. (2009). Economic productivity in sugarcane production and providing suitable solutions for its improvement in Khuzestan province, A case study of Da'bal Khazai cultivation and industry *(M. Sc. Thesis)*, Agricultural Mechanization, Ramin Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Ahvaz, Iran. (in Persian)

Agricultural Mechanization and Systems Research/Vol.24/No.85/Spring 2023/P:1-18
Journal Home Page: https://amsr.areeo.ac.ir

Research Paper

Optimization of Energy Consumption and Investigating Factors of Sugarcane Production (Inputs: Physical-Consumption) in Amirkabir Agro-Industrial Company using Data Envelopment Analysis Method

M. Saadouninejad, M. Almassi* and M. Ghahderijani

*Corresponding Author: Professor of Agricultural Systems Engineering Department, Science and Research Unit of Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: morteza.almassi@gmail.com
Received: 9 Auguest 2022, Accepted: 10 December 2022
http://doi: 10.22092/AMSR.2022.359662.1425

Abstract

This study was conducted in order to investigate the factors of sugarcane production (inputs: physical-consumption) and optimization of energy consumption for sugarcane production using a data envelopment analysis in Khuzestan province, Amirkabir Agro-industrial Company Unit. The necessary information to conduct this study was collected from Agro-industrial of sugarcane Amirkabir experts through face-to-face interviews and questionnaire completion. According to the results, of the total energy consumed in production, the energy of cuttings and chemical fertilizers had the largest share among the consumed inputs with 59 and 16 (%), respectively. Biocides 3.15 (%), agricultural machines 1.09 (%) and human labor 0.06 (%) were the least energy-consuming inputs among other sugarcane production inputs. According to the results obtained from this research, it was found that two inputs sugarcane cuttings and chemical fertilizer have the highest amount of consumption among all the inputs for production. Also, the results of data coverage analysis showed that nitrogen fertilizer and human labor had the largest share of stored energy with 42 and 60.31 (%). The lowest share of energy stored in production belonged to chemical pesticides and phosphorus fertilizer, respectively. The results showed that reducing the consumption of chemical fertilizers and diesel fuel is important for energy storage and reducing the problem of environmental risk in the region. Saving in diesel fuel is possible by improving the performance of the irrigation pump and using new tractors and soil analysis to improve the use of chemical fertilizers.

Keywords: Energy Consumption, Stored Energy, Sugarcane Production Inputs

© 2023 Agricultural Mehanization and Systems Research, Karaj, Iran. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)