نشریه مباحث برگزیده در انرژی، دوره ۴، شماره ۲، سال ۱۴۰۲، صفحات ۳۹ تا ۴۵

مقاله پژوهشی

بررسی الگوی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید نیشکر در ایران

علیرضا خوشرو*

گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

* نویسنده مسئول: khoshroo@yu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۳۰ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۰۵

چکیده

به منظور ارزیابی شاخص‌های مصرف انرژی و میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در فرآیند تولید نیشکر، هفت واحد کشت و صنعت نیشکر در استان خوزستان مورد مطالعه قرار گرفت. اطلاعات مربوط به نهاده‌های مصرفی و عملکرد محصول از مزارع منتخب جمع‌آوری و با استفاده از شاخص‌های متداول تحلیل انرژی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقدار کل انرژی مصرفی در تولید نیشکر برابر با ۱۲۳۰۰۰ مگاژول در هکتار می‌باشد. در میان نهاده‌های مصرفی، کود نیتروژن با سهمی معادل ۲۶ درصد از کل انرژی ورودی، بیشترین میزان مصرف انرژی را به خود اختصاص داد. پس از آن، آب آبیاری، الکتریسیته، سوخت دیزل و قلمه نی به‌ترتیب به‌عنوان نهاده‌های پرمصرف انرژی شناسایی شدند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، شاخص‌های کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و انرژی خالص در تولید نیشکر استان خوزستان به ترتیب ۰/۷۶، ۰/۶۳ $kg.MJ^{-1}$، ۱/۵۷ $MJ.kg^{-1}$ و ۲۹۱۴۳/۱۶ $MJ.ha^{-1}$- محاسبه گردید. همچنین مقدار دی‌اکسید کربن معادل منتشر شده در کشت نیشکر ۴۰۸۱/۶۵ کیلوگرم در هکتار برآورد گردید. نتایج نشان می‌دهد که سهم بالای انرژی‌های تجدیدناپذیر در ساختار مصرف انرژی این محصول، چالش‌های جدی از منظر پایداری کشاورزی و آلودگی‌های زیست‌محیطی ایجاد می‌کند. بنابراین، اتخاذ راهبردهای مدیریتی با هدف کاهش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر، بهبود بهره‌وری نهاده‌ها و حرکت به‌سوی استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، امری ضروری در جهت دستیابی به تولید پایدار نیشکر در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

کلید واژگان: انرژی تجدید پذیر، دی‌اکسید کربن، کارآیی مصرف انرژی، کشاورزی پایدار.

Evaluation of energy use pattern and greenhouse gas emissions in sugarcane production in Iran

Alireza khoshroo*

Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran

*Corresponding author: khoshroo@yu.ac.ir

Received: 21-12-2025 Accepted: 25-01-2026

Abstract

This study evaluates the indices of energy consumption and carbon dioxide (CO_2) emissions in sugarcane production systems of seven agro-industrial units in Khuzestan Province, Iran. For this purpose, data on agricultural input consumption and sugarcane yield were collected from selected farms and analyzed using conventional energy analysis methods. The results showed that the total input energy consumption was 123,000 MJ ha^{-1}. Among the energy inputs, nitrogen fertilizer represented the highest share of input energy consumption (26% of total energy input), followed by irrigation water, electricity, diesel fuel, and sugarcane seed cuttings. Energy use efficiency, energy productivity, specific energy, and net energy in sugarcane production were calculated as 0.76, 0.63 kg MJ^{-1}, 1.57 MJ kg^{-1}, and −29143.16 MJ ha^{-1}, respectively. In addition, the total greenhouse gas emission was estimated to be 4081.65 kg CO_2 eq ha^{-1}. The results indicate that the high contribution of non-renewable energy sources in the energy input of sugarcane production presents serious challenges in terms of agricultural sustainability and environmental pollution. Therefore, the adoption of appropriate management strategies aimed at reducing non-renewable energy consumption, improving input use efficiency, and promoting the use of renewable energy sources is essential for enhancing agricultural sustainability and mitigating environmental impacts in sugarcane production systems.

Keywords: CO2 emission, Energy efficiency, Renewable energy, Sustainable agriculture.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

۱- مقدمه

نیشکر یکی از گیاهان بسیار قدیمی جهان می‌باشد که نقش مهمی در صنایع تولید شکر دارد. نیشکر در سطح جهانی در محدوده عرض جغرافیای ۳۱ درجه جنوبی تا ۳۴ درجه شمالی و حتی تا ۳۶ درجه شمالی و از ارتفاع صفر تا ۱۰۰۰ متر از سطح دریا کشت می‌گردد [۱]. اهمیت کشت نیشکر در ایران به دلیل استخراج شکر از آن، زیاد می‌باشد. ساقه این گیاه ۱۲ تا ۱۴ درصد قند دارد. مهمترین مناطق تولید کننده نیشکر در ایران در استان‌های خوزستان و مازندران می‌باشند، که بالغ بر ۹۹ درصد سطح زیر کشت کشور در استان خوزستان و کمتر از ۱ درصد از آن دراستان مازندران کشت می‌شود. تولید نیشکر به دلیل استفاده از کودهای شیمیایی، سوخت‌های فسیلی، آفت کش‌ها، ماشین‌ها و الکتریسیته به شدت به انرژی وابسته است.

ارتباط بین بخش کشاورزی و انرژی بسیار نزدیک است. کشاورزی خود هم استفاده‌کننده انرژی و هم تامین کننده انرژی در شکل انرژی زیستی است [۲]. در حال حاضر بهره‌وری و سودآوری کشاورزی وابسته به مصرف انرژی است. با توجه به اینکه بخش کشاورزی از یک طرف با محدودیت منابع تولید روبه رو بوده و از سوی دیگر تأمین کننده امنیت غذایی جمعیت در حال رشد می‌باشد، باید تعادل و توازنی بین جریان برداشت و بهره‌برداری از منابع تولید و تولید محصولات کشاورزی ایجاد شود. استفاده مفرط از انرژی برخی از مشکلات اساسی سلامتی انسان و محیط زیست را به وجود آورده است. بنابراین استفاده کارآمد از نهاده‌ها در شرایط تولید پایدار کشاورزی به امری مهم تبدیل شده است [۳]. استفاده مؤثر از انرژی در کشاورزی مشکلات زیست محیطی را کاهش داده، از تخریب منابع طبیعی جلوگیری کرده و کشاورزی پایدار را به عنوان یک سامانه تولیدی اقتصادی توسعه می‌دهد [۴].

تحلیل الگوی مصرف انرژی از ضرورت‌های مهم در بررسی تولیدات کشاورزی هستند؛ با تحلیل الگوی مصرف انرژی می‌توان با ارائه راهکارهایی جهت مصرف بهینه انرژی، از اتلاف بیش ازحد آن جلوگیری کرده و در جهت بهبود وضعیت موجود و افزایش سودآوری حرکت نمود. بررسی الگوی مصرف انرژی در محصولات کشاورزی مختلف شامل گردو [۵]، گندم [۶ و ۷]، برنج [۸]، ارزن [۹]، سبزیجات [۱۰] و چغندر قند [۱۱] صورت گرفته است. در پژوهشی سینگ و سینگ انرژی‌های لازم برای کاشت نیشکر را محاسبه و در نواحی مختلف هند مورد مقایسه قرار دادند. برای تولید نیشکر بالاترین انرژی ورودی مربوط به تامیل‌نادو[1] با ۷۹۰۸۵ MJ/ha در مقایسه با پنجاب[2] و اوتارپرادش[3] بود. این مقدار برای پنجاب ۲۱۱۳۷ MJ/ha و ۱۱۳۲۷ MJ/ha برای زراعت نیشکر در آتارپرادش بود. همچنین این تحقیق نشان داد که با افزایش انرژی ورودی، تولید محصول نیز افزایش می‌یابد [۱۲]. نتایج پژوهشی که در یکی از واحدهای کشت و صنعت نیشکر در جنوب اهواز روی دو نمونه مزارع پلنت و راتون انجام شد، حاکی از آن بود که در مزارع پلنت میزان انرژی ورودی برابر ۱۸۷۰۹۷ $MJ.ha^{-1}$ می‌باشد که در این راستا سهم نهاده‌های مستقیم ۵۶ درصد و نهاده‌های غیر مستقیم ۴۴ درصد است. نسبت انرژی در این مزارع ۳، افزوده انرژی ۳۸۵/۳ GJ/ha و بهره‌وری انرژی حدود ۰/۵۷ $kg.MJ^{-1}$ است که در این راستا الکتریسیته مصرفی در عملیات آبیاری و همچنین سوخت دیزل بیشترین سهم مصرف را داشته‌اند. در مزارع راتون نسبت انرژی حدود ۵ و افزوده خالص انرژی در راتون شماره یک ۴/۶ GJ/ha و مزرعه راتون شماره دو ۳۸۵ GJ/ha و بهره وری انرژی هر دو به ترتیب برابر ۱ $kg.MJ^{-1}$ و ۹/۹۸ $kg.MJ^{-1}$ می‌باشد [۱۳].

گرم شدن زمین یکی از مهترین چالش‌های قرن اخیر می‌باشد. گرم شدن زمین، افزایش مداوم در درجه حرارت زمین و اقیانوس‌ها بر اثر افزایش غلظت گازهای گلخانه ای در جو است که به سبب فعالیت‌های انسانی مانند از بین بردن جنگل‌ها و سوزاندن سوخت‌های فسیلی می‌باشد. فعالیت‌های کشاورزی می‌توانند به منشا اولیه و یا ثانویه انتشار گازهای گلخانه‌ای تقسیم‌بندی شوند. منشا اولیه انتشار گازهای گلخانه‌ای به سبب فعالیت ماشینی (مانند خاکورزی، کاشت، برداشت و حمل و نقل) یا فعالیت تجهیزات ثابت (مانند پمپ کردن آب و خشک کردن محصولات کشاورزی) می‌باشد. منشا ثانویه انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل ساخت، بسته‌بندی و نگهداری کودها و سموم شیمیایی می‌باشد. کاهش آلایندگی به معنای بهبود کارایی استفاده از همه نهاده‌ها با کاهش افت و استفاده از جایگزین‌های با آلایندگی کمتر یا بدون آلایندگی می‌باشد [۱۴]. در تحقیقی مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید محصولات کشاورزی در هلند را ۱۱۰۰ کیلو تن CO_2، ۳ کیلو تن N_2O و ۰/۷ کیلو تن CH_4 محاسبه نمودند[۱۵].

[1] Tamil Nadu
[2] Punjab
[3] Uttar Pradesh

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

با توجه به بحران انرژی و مصرف بی رویه سوخت‌های فسیلی تمام تلاش‌ها بر این است که مصرف انرژی در همه بخش‌ها از جمله کشاورزی تا حد امکان کاهش یابد. اکثر کشورهای پیشرفته و در حال توسعه، انرژی وارده در واحد سطح برای تولید محصولات مختلف کشاورزی را بررسی و با محاسبه شاخص کارایی انرژی سعی کرده‌اند سیستم کشاورزی خود را بهینه کنند. لذا در این تحقیق با توجه به اهمیت نیشکر، شاخص‌های انرژی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید نیشکر بررسی می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

مطالعه انجام شده در مورد تحلیل مصرف انرژی در تولید نیشکر و انتشار گازهای گلخانه‌ای در هفت کشت صنعت استان خوزستان به نام‌های دعبل خزاعی، امیرکبیر، امام خمینی، سلمان فارسی، فارابی، دهخدا و میرزا کوچک‌خان صورت گرفت. سطح زیر کشت این کشت صنعت‌ها حدود ۸۴۰۰۰ هکتار است. اطلاعات مربوط به نهاده‌های مصرفی و عملکرد مربوط به سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ از طریق مصاحبه حضوری و تکمیل پرسش‌نامه‌های فنی و تخصصی صورت گرفت که در آن، درباره تمامی اقدامات صورت گرفته طی مرحله آماده‌سازی مزرعه، کاشت، داشت و برداشت و همچنین میزان عملکرد هر کشت و صنعت بررسی به عمل آمد. میزان مصرف انرژی در هر نهاده از حاصل‌ضرب مقدار مصرف در معادل انرژی هر نهاده (جدول ۱) محاسبه گردید.

جدول ۱- ضرایب معادل انرژی نهاده‌ها در تولید نیشکر.

نهاده ورودی	معادل انرژی (مگاژول بر واحد)
نیروی انسانی (ساعت)	۱/۹۶
ماشین‌آلات (ساعت)	۶۲/۷
قلمه نی (کیلوگرم)	۱/۲
کود شیمیایی (نیتروژن) (کیلوگرم)	۶۶/۱۴
کود شیمیایی (فسفر) (کیلوگرم)	۱۲/۴۴
علف کش (کیلوگرم)	۲۳۸
سوخت دیزل (لیتر)	۵۶/۳۱
آب آبیاری (متر مکعب)	۱/۰۲
الکتریسیته	۱۱/۹۳
ستاده (خروجی)	معادل انرژی (مگاژول بر واحد)
نیشکر (کیلوگرم)	۱/۲

با توجه به محاسبه معادل‌های انرژی نهاده و ستاده‌ها در بخش کشاورزی می‌توان شاخص های مصرف انرژی زیر را درتولید نیشکر محاسبه کرد [۷].

الف) کارایی مصرف انرژی: نسبت بین کالری گرمایی محصولات خروجی به کل انرژی صرف شده در عوامل تولید بوده و فاقد واحد می‌باشد.

$$\text{کارایی مصرف انرژی} = \frac{\text{انرژی خروجی (مگاژول بر هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)}}$$

ب) بهره‌وری انرژی: شاخصی از عملکرد محصول به دست آمده در واحد انرژی ورودی است. برای بهبود بهره‌وری انرژی در یک فرآیند، می‌توان انرژی مصرفی در تولید نهاده را کاهش داد و هم عملکرد محصول را بهبود بخشید و یا از ضایعات کاست.

$$\text{بهره‌وری انرژی} = \frac{\text{عملکرد نیشکر (کیلوگرم بر هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)}}$$

ج) انرژی ویژه: این شاخص نشان می‌دهد به ازای هر کیلوگرم محصول چقدر انرژی مصرف شده است.

$$\text{انرژی ویژه} = \frac{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)}}{\text{عملکرد نیشکر (کیلوگرم بر هکتار)}}$$

د) انرژی خالص: انرژی خالص یا افزوده خالص انرژی تفاضل بین انرژی ناخالص تولید شده و کل انرژی مورد نیاز برای تولید است. در کشاورزی واحد آن وابسته به واحد تولید است (مثلاً مگاژول بر هکتار).

$$\text{انرژی ویژه} = \text{انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)} - \text{انرژی خروجی (مگاژول بر هکتار)}$$

انرژی مصرفی در نیشکر به انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم و انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم می‌شود. انرژی مستقیم شامل نیروی انسانی، سوخت دیزل، آب آبیاری و الکتریسیته می‌باشد. انرژی غیرمستقیم شامل ماشین‌های کشاورزی، قلمه نی، کودهای شیمیایی و علف‌کش می‌باشد. انرژی تجدیدپذیر شامل نیروی انسانی، قلمه نی و آب آبیاری است. انرژی تجدیدناپذیر شامل ماشین‌های کشاورزی، کودهای شیمیایی، علف‌کش، سوخت دیزل و الکتریسیته می‌باشد [۲].

۳- انتشار گازهای گلخانه‌ای

مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید نیشکر در هکتار با استفاده از ضریب انتشار معادل CO_2 برای نهاده‌های مختلف برآورد می‌گردد (جدول ۲). مقدار معادل CO_2 منتشر شده با ضرب کردن مقدار استفاده شده هر نهاده در ضریب انتشار محاسبه می‌شود [۱۴].

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

جدول ۲- ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای در استفاده از نهاده‌های کشاورزی.

نهاده	واحد	$Kg\ CO_2\ eq\ ha^{-1}$
ماشین‌های کشاورزی	MJ	۰/۰۷۱
سوخت دیزل	Lit	۲/۷۶۲
کود نیتروژن	MJ	۰/۰۵
کود فسفر	MJ	۰/۰۶
سموم	MJ	۰/۰۶
الکتریسیته	kWh	۰/۶۰۸

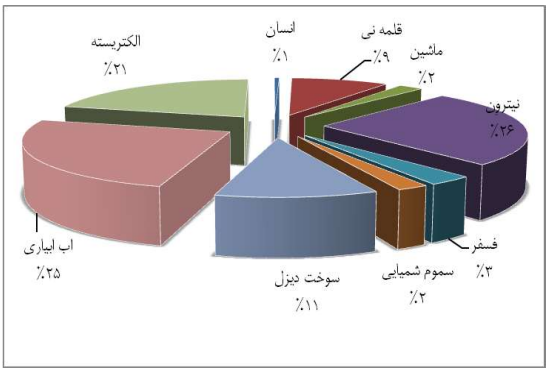
۴- نتایج و بحث

مقادیر نهاده‌های مصرفی، عملکرد نیشکر و معادل‌های انرژی مبربوط به آنها در جدول ۳ نمایش داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده مقدار کل انرژی مصرفی در تولید نیشکر $MJ.ha^{-1}$ ۱۲۳۰۰۰ می‌باشد. در میان نهاده‌های مصرفی، کود نیتروژن بیشترین میزان انرژی مصرفی برابر با ۲۶ درصد از کل انرژی مصرفی را به خود اختصاص داد. همچنین انرژی مصرفی توسط آب آبیاری، الکتریسیته، سوخت دیزل و قلمه نی به ترتیب نهاده‌های پر مصرف انرژی بودند (شکل ۱). میانگین عملکرد مزارع نیشکر و مقدار کل انرژی خروجی محاسبه شده به ترتیب حدود $kg.ha^{-1}$ ۷۵۰۰۰ و $MJ.ha^{-1}$ ۹۰۰۰۰ به دست آمد.

جدول ۳- مقادیر نهاده - ستاده و انرژی معادل آنها در تولید نیشکر.

نهاده ورودی	واحد	مقدار متوسط در هکتار	انرژی معادل (مگاژول)
نیروی انسانی	hr	۲۷۸/۶۷	۵۴۶/۱
ماشین‌آلات	hr	۴۵/۱۴	۲۸۳۰/۲
قلمه نی	kg	۹۵۰۰	۱۱۴۰۰
کود شیمیایی (نیتروژن)	kg	۴۸۹/۳	۳۲۳۶۲/۳
کود شیمیایی (فسفر)	kg	۳۰۰	۳۷۳۲
علف کش	kg	۱۰/۸۶	۲۵۸۴/۶۸
سوخت دیزل	Lit	۲۳۴	۱۳۱۷۶/۵۴
آب آبیاری	m^3	۳۰۰۰۰	۳۰۶۰۰
الکتریسیته	kWh	۲۱۶۰	۲۵۷۶۸/۸
کل انرژی ورودی	MJ	--	۱۲۳۰۰۰
ستاده (خروجی)	واحد	مقدار متوسط در هکتار	انرژی معادل (مگاژول)
نیشکر	kg	۷۵۰۰۰	

این نتایج نشان می‌دهد چنانچه مسائل زیست‌محیط و کاهش مصرف انرژی در تولید نیشکر هدف باشد، باید روی مصرف سوخت دیزل و کودهای شیمیایی به خصوص نیتروژن که اغلب بدون توجه به اصول صحیح مصرف آن مورد استفاده قرار می‌گیرد، تجدید نظر کرد.



شکل ۱- درصد مصرف نهاده‌های مختلف انرژی در تولید نیشکر.

شاخص‌های مصرف انرژی در تولید نیشکر در جدول ۴ نشان داده شده است. کارآیی مصرف انرژی یکی از شاخص‌های مناسب است که استفاده از انرژی در تولید نیشکر را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که کارایی مصرف انرژی در تولید نیشکر ۰/۷۶ می‌باشد. میانگین بهره‌وری انرژی مزارع نیشکر $kg.MJ^{-1}$ ۰/۶۳ حاصل گردید. این بدین معنی است که به ازای هر واحد انرژی مصرفی ۰/۶۳ کیلوگرم نیشکر حاصل می‌شود. تحلیل داده‌های تولید نیشکر در کشورهای مختلف نشان می‌دهد که سیستم‌های تولید در طیف گسترده‌ای از کارایی انرژی فعالیت می‌کنند که عمدتاً تحت تأثیر محدودیت‌های اقلیمی و درجه یکپارچگی صنعتی قرار دارند. کشور برزیل الگوی موفقی از یکپارچگی صنعت و کشاورزی در مدیریت انرژی را ارائه داده است. صنعت نیشکر در این کشور با بهره‌گیری از سیستم‌های پیشرفته تولید هم‌زمان[1]، محصولات جانبی نظیر باگاس را جهت تأمین انرژی الکتریکی و حرارتی مورد نیاز فرآیندهای صنعتی به کار می‌گیرد. این استراتژی، مصرف انرژی غیرتجدیدپذیر (سوخت‌های فسیلی) در بخش کشاورزی را با تولید بیوانرژی در بخش صنعتی جبران نموده و کارایی کل سیستم را ارتقا داده است. به‌طوری‌که کارآیی مصرف انرژی در برزیل به رقم قابل‌توجه ۹/۳ رسیده است [۲۰]. در مقابل، سیستم‌های مستقر در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر سودان [۲۱] و مراکش [۲۲]، تراز انرژی مثبت اما محدودتری را با شاخص‌های کارآیی مصرف انرژی بین ۱/۳۱ تا ۱/۷۹ نشان می‌دهند. مشخصه بارز تولید در این مناطق، صرف بخش عمده‌ای از

[1] Cogeneration

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

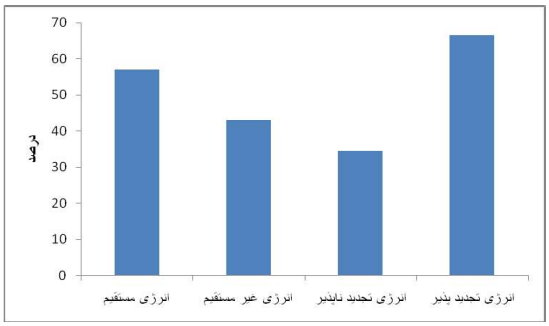
انرژی ورودی برای غلبه بر تنش‌های محیطی است. به عبارت دیگر، نیاز آبی مفرط در اقلیم‌های خشک، منجر به مصرف اجتناب‌ناپذیر مقادیر زیادی از انرژی جهت استحصال و توزیع آب می‌گردد. وضعیت تولید نیشکر در واحدهای مورد مطالعه استان خوزستان، بیانگر وجود چالش‌های جدی در بهره‌وری انرژی است. این واحدها با میانگین شاخص کارایی ۰/۷۶ دارای تراز انرژی منفی هستند. این عملکرد که در مقایسه با الگوهای جهانی ضعیف‌تر است، نشان می‌دهد که در استان خوزستان مقادیر زیاد انرژی مصرفی در قالب کودهای نیتروژنه و الکتریسیته، متناسب با میزان زیست‌توده تولیدی نمی‌باشد. در نهایت، عدم بازیافت انرژی از محصولات جانبی باعث شده است که پتانسیل انرژی محصول نتواند هزینه‌های بالای انرژی در مرحله تولید را جبران کند و سیستم در وضعیت عدم تعادل انرژی باقی بماند که این امر ضرورت بهینه‌سازی مدیریت پسماندها در ایران را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

جدول ۴- شاخص‌های مصرف انرژی در تولید نیشکر.

شاخص انرژی	واحد	مقدار
کارایی مصرف انرژی	--	۰/۷۶
بهره وری انرژی	$kg.MJ^{-1}$	۰/۶۳
انرژی ویژه	$MJ.kg^{-1}$	۱/۵۷
انرژی خالص	$MJ.ha^{-1}$	-۲۹۱۴۳/۱۶
انرژی مستقیم	$MJ.ha^{-1}$	۷۰۰۹۱/۵۵
انرژی غیر مستقیم	$MJ.ha^{-1}$	۵۲۹۰۸/۷۶
انرژی تجدید پذیر	$MJ.ha^{-1}$	۴۲۵۴۶/۲۱
انرژی تجدید ناپذیر	$MJ.ha^{-1}$	۸۰۴۵۴/۱۰

شکل ۲ توزیع انرژی مصرفی در قالب انرژی‌های تجدیدپذیر، غیرقابل تجدید، مستقیم و غیرمستقیم را نشان می‌دهد که به ترتیب ۳۴/۵، ۶۶/۵، ۵۷ و ۴۳ درصد از کل انرژی‌های ورودی را شامل می‌شوند. با توجه به بالاتر بودن درصد استفاده از انرژی‌های غیرقابل تجدید در تولید نیشکر، ضروری است برای افزایش پایداری کشاورزی استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر کاهش یابد.

مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای و درصد هر کدام از نهاده‌ها در تولید نیشکر در جدول ۵ نشان داده شده است. بر این اساس مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای کشت نیشکر در استان خوزستان برابر $Kg\ CO_2\ eq\ ha^{-1}$ ۴۰۸۱/۶۵ می‌باشد. ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گندم در کانادا با توجه به مقدار کود مورد استفاده، منطقه و سیستم کاشت بین $Kg\ CO_2\ eq\ ha^{-1}$ ۴۱۰ تا $Kg\ CO_2\ eq\ ha^{-1}$ ۱۱۳۰ برآورد گردید [۲۳].



شکل ۲- توزیع شکل‌های مختلف انرژی در تولید نیشکر.

جدول ۵- مقدار و درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای نهاده‌های مختلف در تولید نیشکر.

نهاده	مقدار	درصد
ماشین‌های کشاورزی	۲۰۰/۹۴	۴/۹۲
کود نیتروژن	۱۶۱۸/۱۲	۳۹/۶۴
کود فسفر	۲۲۳/۹۲	۵/۴۹
سموم	۷۷/۵۴	۱/۹۰
سوخت دیزل	۶۴۷/۸۵	۱۵/۸۷
الکتریسیته	۱۳۱۳/۲۸	۳۲/۱۸
مجموع	۴۰۸۱/۶۵	۱۰۰

بررسی درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید نیشکر نشان می‌دهد کود نیتروژن با ۳۹/۶۴ درصد بیشترین آلایندگی زیست محیطی را ایجاد می‌کند. پس از آن الکتریسیته و سوخت دیزل مصرفی به ترتیب با ۳۲/۱۸ و ۱۵/۸۷ درصد مهم‌ترین نقش را در انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید نیشکر داشتند. در این تحقیق بررسی انرژی مصرفی و انتشارگازهای گلخانه‌ای در تولید نیشکر نشان داد نقاط پرمصرف کود نیتروژن مصرفی و الکتریسیته لازم برای آبیاری هستند که با مدیریت صحیح می‌توان به میزان قابل توجهی انرژی مصرفی و آلایندگی زیست محیطی را کاهش داد.

۵- نتیجه‌گیری

این پژوهش با ارزیابی جامع مصرف انرژی و میزان انتشار کربن در تولید نیشکر استان خوزستان (ایران)، به تحلیل ساختار مصرف نهاده‌ها در یک اقلیم نیمه‌خشک می‌پردازد. از جنبه نوآوری، این تحقیق نشان می‌دهد که چگونه نیازهای آبیاری در مناطق نیمه خشک، ساختار انرژی‌های ورودی را به طور بنیادی تغییر می‌دهد؛ به‌طوری‌که در مدل مورد مطالعه،

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

"آب آبیاری" پس از کود نیتروژن، به عنوان دومین مصرف‌کننده بزرگ انرژی شناسایی شد. این الگوی مصرف انرژی، به دلیل وابستگی شدید به پمپاژ و استحصال آب، تمایز آشکاری با سیستم‌های گرمسیریِ متکی به بارش دارد. علاوه بر این، پژوهش حاضر داده‌های پایه کمی (مجموع مصرف انرژی ۱۲۳۰۰۰ MJ و انتشار ۴۰۸۱/۶۵ kg گاز CO_2 معادل در هکتار) را ارائه می‌دهد که برای تدوین راهبردهای پایداری بومی‌سازی شده در محیط‌های با محدودیت منابع آبی، حائز اهمیت است. یافته‌های این اثر، مبنایی برای بهبود بهره‌وری انرژی و سیاست‌های کاهش ردپای کربن در سیستم‌های تولید نیشکر با مدیریت آبیاری متمرکز فراهم می‌سازد که با یافته‌های ثبت‌شده در مناطق گرمسیری مرطوب تفاوت قابل‌توجهی دارد.

نتایج این پژوهش نشان داد که سامانه تولید نیشکر در استان خوزستان از نظر مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه دی‌اکسیدکربن، دارای شدت نسبتاً بالایی می‌باشد و بخش عمده‌ای از کل انرژی مصرفی در این سیستم به نهاده‌های وابسته به انرژی‌های تجدیدناپذیر اختصاص دارد. در این میان، کود نیتروژن، الکتریسیته و سوخت دیزل سهم مهمی را در مصرف انرژی به خود اختصاص دادند. سهم بالای کود نیتروژن به‌عنوان پرمصرف‌ترین نهاده انرژی‌بر، بیانگر نقش تعیین‌کننده مدیریت بهینه تغذیه گیاهی در بهبود شاخص‌های انرژی و کاهش وابستگی به منابع انرژی تجدیدناپذیر در تولید نیشکر است. ارزیابی شاخص‌های انرژی شامل کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و انرژی خالص نشان داد که علی‌رغم عملکرد نسبتاً بالای محصول نیشکر، سیستم فعلی تولید از نظر بازدهی انرژی و پایداری زیست‌محیطی در شرایط مطلوبی قرار ندارد. منفی بودن مقدار انرژی خالص به‌همراه انتشار ۴۰۸۱/۶۵ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار، بیانگر فشار قابل توجه این سیستم تولیدی بر منابع انرژی و محیط زیست می‌باشد. بر این اساس، بهبود پایداری در کشت نیشکر را می‌توان از طریق سه رویکرد کلیدی انجام داد. نخست، بهینه‌سازی مصرف کودهای شیمیایی با بهره‌گیری از اصول کشاورزی دقیق و جایگزینی این نهاده‌ها با کودهای زیستی؛ دوم، ارتقای کارایی سامانه‌های آبیاری از طریق به‌کارگیری فناوری‌های هوشمند و روش‌های نوین صرفه‌جویی در مصرف آب؛ و در نهایت، گذار به منابع انرژی تجدیدپذیر، به‌ویژه بهره‌گیری از توان خورشیدی و استفاده از زیست‌توده حاصل از بقایای نیشکر به عنوان منبع سوخت پاک در چرخه تولید. در مجموع، نتایج این تحقیق می‌تواند به‌عنوان پشتوانه‌ای علمی برای با هدف افزایش پایداری، ارتقای بهره‌وری انرژی و کاهش پیامدهای زیست‌محیطی تولید نیشکر در استان خوزستان و سایر مناطق با شرایط اقلیمی مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

[1] Cheavegatti-Gianotto A, De Abreu HM, Arruda P, Bespalhok Filho JC, Burnquist WL, Creste S, Di Ciero L, Ferro JA, De Oliveira Figueira AV, De Sousa Filgueiras T. Sugarcane (*Saccharum X officinarum*): a reference study for the regulation of genetically modified cultivars in Brazil. Tropical Plant Biology. 2011; 4(1):62–89. [DOI:10.1007/s12042-011-9068-3]

[2] Khoshroo A, Mulwa R, Emrouznejad A, Arabi B. A non-parametric data envelopment analysis approach for improving energy efficiency of grape production. Energy. 2013; 63:189–194. [DOI:10.1016/j.energy.2013.09.021]

[3] Khoshroo A, Izadikhah M, Emrouznejad A. Improving energy efficiency considering reduction of CO2 emission of turnip production: a novel data envelopment analysis model with undesirable output approach. Journal of Cleaner Production. 2018; 187:605–615. [DOI:10.1016/j.jclepro.2018.03.232]

[4] Hatirli SA, Ozkan B, Fert C. An econometric analysis of energy input–output in Turkish agriculture. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2005; 9(6):608–623. [DOI:10.1016/j.rser.2004.07.001]

[5] Khoshroo A, Mulwa R. Improving energy efficiency using data envelopment analysis: a case of walnut production. Managing service productivity: using frontier efficiency methodologies and multicriteria decision making for improving service performance, Springer. 2014; 227–240. [DOI:10.1007/978-3-662-43437-6_13]

[6] Chaudhari A, Moses SC. Energy consumption in wheat crop production in central region of Uttar Pradesh, India. International Journal of Environment and Climate Change. 2023; 13(11):2465–2474. [DOI:10.9734/ijecc/2023/v13i113407]

[7] Khoshroo A. Energy use pattern and greenhouse gas emission of wheat production:

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

M, Singleton GR. An assessment of irrigated rice cultivation with different crop establishment practices in Vietnam. Scientific Reports. 2022; 12(1):401. [DOI:10.1038/s41598-021-04362-w]

[17] Safa M, Samarasinghe S, Mohssen M. A field study of energy consumption in wheat production in Canterbury, New Zealand. Energy Conversion and Management. 2011; 52(7):2526–2532. [DOI:10.1016/j.enconman.2011.01.004]

[18] Banaeian N, Zangeneh M, Clark S. Trends and future directions in crop energy analyses: a focus on Iran. Sustainability. 2020; 12(23):10002. [DOI:10.3390/su122310002]

[19] Wu L, Zhang X, Chen H, Wang D, Nawaz MM, Danso F, Chen J, Deng A, Song Z, Jamali H. Nitrogen fertilization and straw management economically improve wheat yield and energy use efficiency, reduce carbon footprint. Agronomy. 2022; 12(4):848. [DOI:10.3390/agronomy12040848]

[20] Hattori T, Morita S. Energy crops for sustainable bioethanol production; which, where and how? Plant Production Science. 2010; 13(3):221–234. [DOI:10.1626/pps.13.221]

[21] Dahab MH, Kheiry AN, Abdalla OA. Energy use efficiency of sugar cane production in the central clay plain of Kenana area. Journal of Energy Research and Reviews. 2022; 10(1):18–25. [DOI:10.9734/jenrr/2022/v10i130245]

[22] Mrini M, Senhaji F, Pimentel D. Energy analysis of sugarcane production in Morocco. Environment, Development and Sustainability. 2001; 3(2):109–126. [DOI:10.1023/A:1011695731580]

[23] Khakbazan M, Mohr R, Derksen D, Monreal M, Grant C, Zentner R, Moulin A, McLaren D, Irvine R, Nagy C. Effects of alternative management practices on the economics, energy and GHG emissions of a wheat–pea cropping system in the Canadian prairies. Soil and Tillage Research. 2009; 104(1):30–38. [DOI:10.1016/j.still.2008.11.005]

a case study in Iran. Agricultural Communications. 2014; 2(2):9–14.

[8] Kumar V, Dogra R, Parihar DS. Study and determination of energy consumption pattern in production of paddy crop in RS Pura region of Jammu in J and K, India. Environment and Ecology. 2023; 41(4):2358–2364. [DOI:10.60151/envec/PUKZ3448]

[9] Kargwal R, Yadvika, Singh VK, Kumar A. Energy use patterns of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.)) production in Haryana, India. World. 2023; 4(2):241–258. [DOI:10.3390/world4020017]

[10] Lohan SK, Brar NS, Singh A, Dogra R, Dixit AK, Phutela UG, Biwalkar N, Javed M. Energy input-output analyses of major field vegetable crops production in Punjab. Journal of Agricultural Engineering (India). 2023; 60:2. [DOI:10.52151/jae2023602.1801]

[11] Namdari M, Rafiee S, Hosseinpour S. Extensive vs. intensive sugar beet production: energy and environmental performance in Hamadan, Iran (a fuzzy clustering approach). Journal of Environmental Management. 2025; 390:126281. [DOI:10.1016/j.jenvman.2025.126281]

[12] Singh S, Singh G. Effects of energy input sources on crop production: a study of selected farmers of northern India region. International Energy Journal. 1992; 14(2). 107-122.

[13] Nasirian N. Determination of energy consumption for energy management in sugarcane cultivation in Southern Iran. Proceedings of the 1st National Conference on Mechanization and New Technologies in Agriculture. 2010. Ahvaz, Iran.

[14] Lal R. Carbon emission from farm operations. Environment International. 2004; 30(7):981–990. [DOI:10.1016/j.envint.2004.03.005]

[15] Kramer KJ, Moll HC, Nonhebel S. Total greenhouse gas emissions related to the Dutch crop production system. Agriculture, Ecosystems & Environment. 1999; 72(1):9–16. [DOI:10.1016/S0167-8809(98)00158-3]

[16] Nguyen VH, Stuart AM, Nguyen T, Pham T, Nguyen N, Pame AR, Sander BO, Gummert

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]