

Evaluation of Sugarcane Production based on the Analysis of Cumulative Exergy and Environmental Effects (Case Study: Agri- industry of Mirza Kochakh Khan)

Jaafar Habibi Asl¹, Abbas Asakereh^{2*}, Nader Behbahani Nejad³

Received: 09 August 2022 Accepted: 22 November 2022

1-Assist. Prof., Agriculture Engineering Research Dept., Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahvaz, Iran

2- Department of Biosystems Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran,

3-Sugarcane and By-Products Development Company

*Corresponding Author Email: A.asakereh@scu.ac.ir

Abstract

Objective & Background: The purpose of this study is to investigate the sugarcane production based on exergy and energy cumulative consumption indicators and environmental evaluation of using life cycle assessment.

Materials and Methods: Data of sugarcane production were collected from the Mirza Kochak Khan agro-industry in Khuzestan province. All energy inputs used in the production of sugarcane in Plant and Raton farms were calculated.

Results: Subsoiling, harvesting, laser leveling and deep plowing with moldboard plow had the highest cumulative exergy consumption. Total cumulative energy and exergy consumption were obtained as 86.44 and 49.86 GJ per hectare, respectively. Cumulative degree of perfection and renewable index of sugar cane production process were obtained 6.16 and 0.84 respectively. The findings showed that in terms of energy, sugarcane production is a system with negative cumulative energy and in terms of cumulative exergy, it is a positive system. Electricity is the most consumed energy and diesel fuel is the most consumed exergy in sugarcane production. The life cycle assessment shows that the greatest environmental impact of sugarcane production is related to FWA and MAE groups, respectively, with emission on the farm having the greatest environmental impact with 62.30%.

Conclusion: Sugarcane production is a relatively renewable process that improving the management of chemical fertilizers and irrigation water and replacing non-renewable energy sources with renewable sources for electricity production increases the exergy efficiency and renewability of the sugarcane production process and reduces the effects of environmental groups.

Keywords: Life Cycle Assessment, Cumulative Perfection Degree, Renewable Index, Cumulative Exergy Consumption

ارزیابی تولید نیشکر بر اساس تحلیل اکسرژی تجمعی و اثرات زیست محیطی (مطالعه موردی: کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان)

جعفر حبیبی اصل^۱، عباس عساکره^{۲*}، نادر بهبهانی نژاد^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۱۸ تاخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۱۷

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

۲- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران اهواز،

۳- مدیر بررسی و نظارت بر ساخت و مکانیزاسیون، شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی

*مسئول مکاتبه: Email: A.asakereh@scu.ac.ir

چکیده

اهداف: هدف از این مطالعه بررسی عملکرد تولید نیشکر بر اساس شاخص‌های مصرف اکسرژی و انرژی تجمعی و ارزیابی زیست محیطی تولید نیشکر بر اساس ارزیابی چرخه حیات است.

مواد و روش‌ها: داده‌ها مزارع نیشکر از کشت و صنعت میرزا کوچک خان در استان خوزستان جمع‌آوری گردید. کلیه نهاده‌های انرژی مورد استفاده در تولید محصول نیشکر در مزارع پلنت و راتون در همه مراحل تولید و حمل و نقل نی نیشکر محاسبه گردید.

یافته‌ها: عملیات زیرشکنی، برداشت ماشینی، تسطیح لیزری و شخم عمیق با گاوآهن برگرداندار بیشترین مصرف اکسرژی تجمعی را دارا بودند. کل مصرف انرژی و اکسرژی تجمعی به ترتیب ۸۶/۴۴ و ۴۹/۸۶ گیگاژول در هکتار به دست آمد. درجه کمال تجمعی و شاخص تجدیدپذیری فرآیند تولید نی نیشکر به ترتیب ۶/۱۶ و ۰/۸۴ به دست آمد. یافته نشان داد که تولید نیشکر برخلاف مصرف انرژی، از نظر اکسرژی یک سیستم با اکسرژی مثبت است. برق بیشترین انرژی مصرفی و سوخت دیزل بیشترین اکسرژی مصرفی در تولید نیشکر می‌باشد. ارزیابی چرخه حیات نشان می‌دهد بیشترین تأثیر زیست محیطی تولید نی نیشکر به ترتیب بر روی گروه‌های سمیت محیط‌زیست آبیان آب‌های شیرین و سمیت محیط‌زیست دریایی است که در مجموع انتشارات در مزرعه با ۶۲/۳۰ درصد بیشترین اثرات زیست محیطی را دارا می‌باشد.

نتیجه‌گیری: تولید نیشکر یک فرآیند با تجدیدپذیری نسبی است که بهبود مدیریت کودهای شیمیایی و آب آبیاری و جایگزینی منابع انرژی تجدیدناپذیر با منابع تجدیدپذیر برای تولید برق باعث افزایش بازده اکسرژی و تجدیدپذیری فرآیند تولید نیشکر و کاهش اثرات گروه‌های زیست محیطی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی چرخه حیات، درجه کمال تجمعی، شاخص تجدیدپذیری، مصرف اکسرژی تجمعی

مقدمه

منابع انرژی تجدیدناپذیر مانند سوخت‌های فسیلی، کودها و سموم شیمیایی در سامانه‌های مدرن نسبت به سامانه‌های پایدار سنتی (کیزیل‌اسلان ۲۰۰۹) و کم

افزایش چشم‌گیر در میزان تولید محصولات کشاورزی (و صنعتی) ناشی از استفاده روزافزون از

مصرف اکسرژی تجمعی (CEXC) و انرژی تجمعی (CENc)، می‌تواند درک بهتری از کارایی مصرف انرژی در اکوسامانه‌های کشاورزی ارائه دهد و مشکلات مختلف مصرف انرژی را بهتر ارزیابی کند (اسماعیل پور تروجنی و همکاران ۲۰۲۱؛ یلیدیژان و تاکی ۲۰۱۸). تحلیل اکسرژی در بخش کشاورزی مالزی، به عنوان ابزاری کارآمد جهت تعیین میزان تلفات انرژی معرفی شده است (احمد و همکاران ۲۰۱۱). از تجزیه و تحلیل اکسرژی جهت بهینه‌سازی تولید کلزا در استان مازندران استفاده شده است که بر اساس آن درجه کمال تجمعی و شاخص تجدیدپذیری فرایند تولید کلزا محاسبه گردید (اسماعیل پور تروجنی و همکاران ۲۰۲۱). تحلیل اکسرژی تولید کلزا در خرم‌آباد نشان داد که سیستم تجاری دارای ارزش اقتصادی و بازده ترمودینامیکی بالاتری نسبت به سامانه سنتی می‌باشد (امیری و همکاران ۲۰۲۰). رسولی زاده و همکاران (۲۰۲۲) از تجزیه و تحلیل اکسرژی برای ارزیابی تولید محصولات باغی گرمسیری استفاده کردند. تجزیه و تحلیل نیاز تجمعی اکسرژی در سیستم‌های مختلف تولید باغی در استان قزوین نشان داد که استفاده از کودهای آلی و جایگزینی ماشین‌های فرسوده می‌تواند به تولید محصولات باغی پایدارتر کمک کند (اردیخانی و همکاران ۲۰۲۱). در مطالعه‌ای که در ترکیه انجام شد، بیان گردید که تجزیه و تحلیل اکسرژی می‌تواند روشی مؤثر در افزایش تجدیدپذیری فرآیندهای تولید گوجه فرنگی باشد (یلیدیژان و تاکی ۲۰۱۸). از تحلیل اکسرژی جهت بررسی کارایی استفاده از منابع و عملکرد زیست‌محیطی سیستم‌های مختلف تولید ذرت در برزیل نیز استفاده شده است (خوارز-هرناندز و همکاران ۲۰۱۹).

شکر به عنوان یک محصول استراتژیک جایگاه ویژه‌ای در سیاست‌های کلان کشورها دارد. حدود ۸۰ درصد از تولید شکر در جهان از نیشکر و بقیه از چغندرقتند است (بی‌نام ۲۰۲۲). در دهه‌های اخیر، علاوه بر تولید شکر، این محصولات به عنوان منبع مهمی برای تولید الکل، سوخت زیستی و مواد اولیه بسیاری از صنایع مورد توجه قرار گرفته است (گرانکو و همکاران

توجهی به عواقب نامطلوب آن، باعث بروز مشکلات جدی و فراگیر در دنیا، مانند آلودگی منابع آب، تجمع دی‌اکسید کربن و گرم شدن کره زمین، تخریب خاک و کاهش حاصلخیزی آن و نیاز به صرف هرچه بیشتر انرژی برای جبران آن شده است (نمچک و همکاران ۲۰۱۱؛ نیکخواه و همکاران ۲۰۱۵). این عوامل باعث شده‌اند که بازدهی انرژی در این سامانه‌ها نسبت به سامانه‌های سنتی کاهش یافته و پایداری تولید با تردیدهای جدی روبرو شود. بروز این مشکلات ایجاد تغییراتی در جهت بهبود مدیریت مصرف انرژی در دنیا را امری ضروری ساخته است. با این حال در سیستم‌های سنتی عملکرد محصولات کشاورزی پایین است و نمی‌تواند پاسخگوی نیاز جمعیت در حال افزایش دنیا به غذا باشد. بنابراین اکوسیستم‌های فشرده جایگزین اکوسیستم‌های سنتی شده که به دلیل استفاده شدید از مکانیزاسیون و نهاده‌های انرژی‌بر دارای عملکرد تولیدی بیشتری می‌باشد (کیزیلاسلان ۲۰۰۹).

دستیابی به کشاورزی پایدار یکی از سیاست‌های اصلی بخش کشاورزی در بسیاری از کشورها است که عمدتاً بر مبنای افزایش عملکرد و کاهش اثرات نامطلوب بر محیط‌زیست استوار است (کروپ و همکاران ۲۰۱۹). یکی از عوامل حیاتی در پایداری تولید محصولات کشاورزی استفاده بهینه از منابع و انرژی است (احمد و همکاران ۲۰۱۱). مطالعات متعددی در زمینه‌های مختلف مصرف انرژی در تولید محصولات کشاورزی و سامانه کلان بخش کشاورزی در کشورهای مختلف انجام شده است که عمدتاً بر اساس روش‌های تجزیه و تحلیل انرژی و بر اساس قانون اول ترمودینامیک می‌باشند (آپاژف و همکاران ۲۰۱۹؛ بوجاکا و همکاران ۲۰۱۲؛ شاه و همکاران ۲۰۲۱). تجزیه و تحلیل انرژی بر اساس قانون اول به خوبی نمی‌تواند کیفیت مصرف انرژی و تلفات آن را بیان کند (سارتور و دیوالف ۲۰۱۷)، در حالی که تجزیه و تحلیل اکسرژی که بر اساس قانون دوم ترمودینامیک است، می‌تواند کیفیت منابع انرژی در یک فرآیند را ارزیابی و تعیین کند (احمد و همکاران ۱۳۹۰؛ اسماعیل پور تروجنی و همکاران ۲۰۲۱). مطالعات اخیر نشان داده است که تحلیل یکپارچه

غربی اهواز قرار دارد. کلیه نهاده‌های انرژی مورد مصرف در تولید محصول نیشکر در مزارع پلنت و راتون در مراحل تهیه زمین، کاشت قلمه، داشت، آبیاری، برداشت و حمل و نقل محاسبه گردید. در این مطالعه نهاده‌ها و انرژی‌هایی در نظر گرفته شد که به صورت مستقیم یا غیرمستقیم در تولید نیشکر مصرف می‌شوند و عموماً برای آن‌ها هزینه پرداخت می‌شود. لذا انرژی‌هایی مانند نور خورشید، انرژی دریافتی از خاک، میکرواکانیسم‌های زنده و هوا، به علت رایگان بودن در محاسبه لحاظ نشدند. نهاده‌های انرژی ورودی مورد اندازه‌گیری شامل انرژی سوخت، نیروی انسانی، قلمه نی، ماشین، سموم و کودهای شیمیایی، الکتریسیته، آبیاری و حمل و نقل بود. برای محاسبه سوخت مصرفی در عملیات‌های مختلف از روش باک پر استفاده گردید. در این روش، قبل از شروع عملیات مخزن سوخت ماشین را کاملاً پر و لبریز کرده و پس از پایان عملیات نیز مخزن سوخت دوباره لبریز شد. مقدار سوخت مورد نیاز برای پر کردن مجدد مخزن سوخت در پایان عملیات، برابر مقدار سوخت مصرفی در مساحت در نظر گرفته شد. سوخت مصرفی و زمان مورد نیاز برای انجام هر عملیات در سه تکرار انجام گرفت و میانگین سه تکرار برای عملیات مورد نظر محاسبه گردید. مساحت عملیات ماشینی برای هر تکرار یک هکتار بود.

تحلیل مصرف انرژی و اکسرژی تجمعی

در این مطالعه از تحلیل مصرف انرژی تجمعی (CEnc¹) و مصرف اکسرژی تجمعی (CExc²) برای ارزیابی تجدیدپذیری و پایداری فرآیند تولید نی نیشکر استفاده شد. در سامانه‌های تولید محصولات، مقادیر CEnc و CExc با استفاده از فرآیندهای برهمکنش کار و حرارت محاسبه می‌شوند (اسماعیل پور تروجنی و همکاران ۲۰۱۸؛ یلیدیژان ۲۰۱۸). برای تعیین CEnc، CExc، معادلات موازنه جرم، انرژی و اکسرژی برای فرآیندها تجزیه و تحلیل می‌گردند. معادلات حاکم که به کار گرفته شد شامل موارد زیر است (پلوان و اوزیلگن ۲۰۱۷):

۲۰۱۸). نیشکر در بیش از ۱۱۰ کشور کشت می‌گردد که حدود ۶۰ درصد آن مربوط به برزیل و هند است. چین، تایلند، مکزیک، پاکستان، استرالیا و ایران از دیگر کشورهای مهم کشت کننده نیشکر هستند (بی‌نام ۲۰۲۰ الف). کشت این محصول در دهه‌های اخیر به سرعت افزایش یافته است، به طوری که سطح زیر کشت آن از ۸/۹ میلیون هکتار در سال ۱۹۶۱ به ۲۷ میلیون هکتار در سال ۲۰۱۶ رسیده است. نیشکر از مهم‌ترین محصولات صنعتی ایران و منبع اصلی تولید شکر و همچنین تأمین کننده مواد اولیه بسیاری از صنایع جانبی می‌باشد که تنها در استان خوزستان به صورت تجاری کشت می‌شود. سطح زیر کشت این محصول در ایران حدود ۸۷۰ هزار هکتار در سال ۱۳۹۹ بوده (بی‌نام ۲۰۲۰ ب) که سالانه بیش از ۸۰۰ هزار تن شکر از آن تولید می‌شود و حدود ۳۵ درصد شکر مورد نیاز ایران را تأمین می‌کند. گیاه نیشکر نیاز به مصرف آب زیادی دارد و مزارع آن کاملاً وابسته به آب آبیاری می‌باشد. علاوه بر مصرف بالای آب، نهاده‌ها و انرژی زیادی مانند مواد شیمیایی، ماشین‌ها و سوخت گازوئیل در عملیات‌های مختلف تولید نیشکر استفاده می‌شود که همراه با اثرات مضر فراوانی بر محیط‌زیست می‌باشد. بنابراین لازم است مقدار و کیفیت انرژی مصرفی در تولید این محصول تعیین و عملکرد زیست‌محیطی آن ارزیابی شود. بنابراین، در این تحقیق از تحلیل اکسرژی و انرژی تجمعی و رویکرد چرخه حیات برای بررسی تولید نیشکر استفاده شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و جمع‌آوری داده‌ها

این مطالعه در بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان و مزارع کشت و صنعت میرزا کوچک خان طرح توسعه نیشکر و صنایع جانبی اجرا شد. کشت و صنعت میرزا کوچک خان یکی از طرح‌های هفت‌گانه طرح توسعه نیشکر و صنایع جانبی است که در ۷۵ کیلومتری جنوب

² Cumulative Exergy Consumption

¹ Cumulative Energy Consumption

تعداد جرم:

$$\sum m_{in} = \sum m_{out}$$

(رابطه ۱)

موازنه انرژی:

$$\sum mh_{in} - \sum mh_{out} = W - Q$$

(رابطه ۲)

موازنه اکسرژی:

$$\sum mb_{in} - \sum mb_{out} + \sum (1 - \frac{T_0}{T_k}) Q_k - W = I$$

(رابطه ۳)

انرژی و اکسرژی تجمعی از منابع مختلف به دست آمد که در جدول ۱ نشان داده شده است.

بازده اکسرژی و درجه کمال تجمعی (CDP^۱) شاخص‌های مهمی هستند که برای ارزیابی پایداری انواع اصلی فرآورده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند که می‌توان با روابط ۵ و ۶ تعریف کرد. تفاوت این شاخص‌ها در این است که در راندمان اکسرژی، تمامی ورودی‌های قابل کنترل و غیرقابل کنترل مانند انرژی دریافتی از خورشید، خاک و ... در نظر گرفته می‌شود، در حالی که در CDP، تنها مقدار ورودی‌های قابل کنترل در نظر گرفته می‌شود (احمد و همکاران ۲۰۱۱). به همین دلیل در سیستم‌های تولید کشاورزی بیشتر از درجه کمال تجمعی استفاده می‌شود. از آنجایی که محصولات کشاورزی با محیط در تعادل هستند، اکسرژی خروجی آن‌ها برابر با اکسرژی شیمیایی است (اسماعیل پور تروجنی و همکاران ۲۰۲۱).

جایی که در آن Q مقدار گرما، W مقدار کار، k تعداد منابع گرما، m جرم، h آنتالپی و دو عبارت "in" و "out" به ترتیب ورودی و خروجی سامانه هستند. همچنین، T، s و I نیز به ترتیب دما، مقدار آنتروپی سامانه و برگشت‌ناپذیری را نشان می‌دهند. b اشاره به مقدار اکسرژی در دسترس در طول تولید محصول دارد که از رابطه ۴ به دست می‌آید (اسماعیل پور تروجنی و همکاران ۲۰۲۱؛ یلیدیژان ۲۰۱۸).

$$b = b^{th} + b^{ch} \quad \text{(رابطه ۴)}$$

در معادله ۴، b^{th} و b^{ch} به ترتیب نشان دهنده اکسرژی فیزیکی و اکسرژی شیمیایی می‌باشند. برای محاسبه CEnC و CExC هر ورودی، از مقدار معادل ویژه آن‌ها برای هر ورودی استفاده شد. مقادیر ویژه مصرف

$$\text{Exergy efficiency} = \frac{\text{Exergy in products } ((m \times b)_{products})}{\text{Total exergy input}} \quad \text{(رابطه ۵)}$$

$$\text{CDP} = \frac{\text{Exergy in products } ((m \times b)_{products})}{\sum (m \times \text{CExC})_{raw materials} + \sum (m \times \text{CExC})_{fuels}} \quad \text{(رابطه ۶)}$$

کشاورزی که در تعادل با محیط هستند با استفاده از رابطه ۷ به دست می‌آید. در این رابطه، Exp اکسرژی شیمیایی محصولات را نشان می‌دهد (خوارز-هرناندز و همکاران ۲۰۱۹).

اکسرژی خالص تجمعی به دست آمده (CNEEx)، که نشان‌دهنده اکسرژی خروجی منهای CExC است، یک

$$RI = \frac{E_{ch} - W_r}{E_{ch}} \quad \text{(رابطه ۸)}$$

$$\text{CNEEx} = \text{Exp} - \text{CExC} \quad \text{(رابطه ۷)}$$

شاخص مهم است که برای تجزیه و تحلیل انباشت مصرف اکسرژی است. این شاخص برای محصولات

ارزیابی تجدیدپذیری برای تعیین پایداری اکوسامانه و توسعه پایدار بسیار مهم است. شاخص تجدیدپذیری

¹ Cumulative Degree of Perfection (CDP)

زیست‌محیطی سیستم‌های تولید کشاورزی استفاده می‌شود (خان و همکاران ۲۰۰۹).

ارزیابی چرخه حیات^۲

ارزیابی چرخه حیات یکی از روش‌های ارزیابی زیست‌محیطی است که امروزه به عنوان یکی از روش‌های استاندارد و پرکاربرد در ارزیابی زیست‌محیطی فرآیندها، محصولات و خدمات است. ارزیابی چرخه حیات روشی برای محاسبه اثرات زیست‌محیطی تجمعی مرتبط با تمام مراحل چرخه عمر محصول یا خدمات از استخراج و فرآوری مواد خام (گهواره) تا بازیافت نهایی یا دفع اجزای تشکیل دهنده محصول نهایی است (اردیخانی و همکاران ۲۰۲۱؛ پراساد و همکاران ۲۰۲۰). ارزیابی چرخه حیات شامل چهار مرحله ۱- تعیین هدف و دامنه کاربرد^۳، ۲- موجودی چرخه عمر^۴، ۳- تجزیه و تحلیل موجودی چرخه حیات^۵ و ۴- تفسیر نتایج^۶ می‌باشد (پراساد و همکاران ۲۰۲۰). در مرحله تعیین هدف و دامنه کاربرد در مورد چرایی (هدف) و چگونگی (دامنه کاربرد) یک مطالعه ارزیابی چرخه حیات بحث می‌شود. هدف و دامنه ارزیابی یک چرخه حیات باید به وضوح تعیین شود و باید با کاربرد مورد نظر مطالعه سازگار باشد. هدف از ارزیابی چرخه حیات در پژوهش حاضر بررسی اثرات زیست‌محیطی تولید نی‌نیشکر است و تعیین مقادیر گروه‌های اثر اسیدی شدن (AC)، تخلیه منابع غیرزیستی (AD)، یوتریفیکاسیون (EU)، گرمایش جهانی (GWP)، تخریب لایه اوزون (OLD)، اکسیداسیون فتوشیمیایی (PO) سمیت محیط‌زیست دریایی (MAE)، سمیت محیط‌زیست خشکی (TE)، سمیت انسانی (HT)، و سمیت محیط‌زیست آب‌های شیرین (FWAE)، در نتیجه تولید یک واحد عملکردی (FU) نی‌نیشکر است. واحد عملکردی در این مطالعه، تولید یک تن نی‌نیشکر در نظر گرفته شد. مرزهای سامانه‌ها در این مطالعه شامل کل نهاده‌ها از گهواره (یعنی تولید نهاده‌ها از مواد خام) تا

(RI) یکی از شاخص‌های مهم برای ارزیابی پایداری زیست‌محیطی اکوسامانه‌ها است. این شاخص بر اساس معادله ۸ محاسبه می‌شود. با افزایش مقدار RI، تنش وارد شده به محیط‌زیست در نتیجه فرآیند مورد نظر کاهش می‌یابد. بر اساس مقادیری که این شاخص می‌تواند داشته باشد، فرآیندها به چهار حالت کلی تقسیم می‌شوند. حداکثر مقدار IR برای یک فرآیند برابر با ۱ است که نشان می‌دهد آن فرآیند کاملاً تجدیدپذیر است. در فرآیندی که کار تولید شده برابر با کار مرمت^۱ باشد، مقدار این شاخص برابر با صفر بوده و اگر کمتر باشد، مقدار شاخص منفی خواهد بود که نشان می‌دهد فرآیند کاملاً تجدیدناپذیر است. مقادیر بین صفر و یک برای این شاخص نشان دهنده تجدیدپذیری نسبی فرآیند است که با افزایش مقدار آن، تجدیدپذیری فرآیند افزایش می‌یابد. در کل هرچقدر مقدار این شاخص بیشتر باشد نشان دهنده تنش کمتر فرآیند بر محیط‌زیست است (پلوان و اوزیلگن ۲۰۱۷).

جایی که E_{ch} اکسرژنی شیمیایی تمام خروجی‌های نهایی است و W_r کار مرمت است که برابر با کل منابع انرژی تجدیدپذیر مورد استفاده در فرآیند تولید و انرژی مورد استفاده برای دفع پسماند محصول است.

یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی مصرف انرژی در تولید محصولات کشاورزی، نسبت $CEnC$ خروجی به $CEnC$ ورودی (ER) است که به عنوان معیاری برای سنجش کارایی و بازده انرژی در سیستم‌های تولید کشاورزی در نظر گرفته می‌شود (یوان و همکاران ۲۰۱۸). بیشتر بودن این شاخص نشان دهنده بالاتر بودن بازده استفاده از انرژی است (اردیخانی و همکاران ۲۰۲۱). شاخص‌های مهمی دیگری که در ارزیابی بهره‌وری انرژی در سیستم‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل انرژی ویژه (SE) و بهره‌وری انرژی (EP) است. بررسی یکپارچه این شاخص‌ها جهت مقایسه و نشان دادن اثرات بالقوه

⁴ Life Cycle Inventory (LCI)

⁵ Life Cycle Inventory Analysis (LCIA)

⁶ Interpretation

¹ Restoration Work

² Life Cycle Assessment (LCA)

³ Goal and Scope Definition

تحویل نی نیشکر به کارخانه است و شامل فعالیت‌های پس از برداشت در کارخانه نیشکر نمی‌شود.

جدول ۱- مقدار ویژه CEnC و CExC منابع مختلف ورودی

CEnC		CExC		واحد	نهادها
منبع	مقدار	منبع	مقدار		
(کیتانی، ۱۹۹۹)	۴۷/۸	*	۴۴/۳	MJ/lit	سوخت دیزل
(اردیخانی و همکاران، ۲۰۲۱)	۱۲	(امیری و همکاران، ۲۰۲۰)	۴/۱۷	MJ/kWh	برق
(اسماعیل پور تروجنی و همکاران، ۲۰۱۸)	۷۸/۲	(امیری و همکاران، ۲۰۲۰)	۳۲/۷	MJ/kg	کود نیتروژن (N)
(اسماعیل پور تروجنی و همکاران، ۲۰۱۸)	۱۳/۸	(اسماعیل پور تروجنی و همکاران، ۲۰۱۸)	۷/۵۲	MJ/kg	کود فسفر (P2O5)
(اردیخانی و همکاران، ۲۰۲۱)	۱۱/۱۵	(پلوان و اوزیلگن، ۲۰۱۷)	۴/۷	MJ/kg	کود پتاسیم (K2O)
(بهشتی تبار و همکاران، ۱۳۸۹)	۲۹۵	(اسماعیل پور تروجنی و همکاران، ۲۰۱۸)	۳۲/۷	MJ/lit	علف‌کش
(کعب و همکاران، ۲۰۱۹)	۳۶۳/۶	(یلدیژان و تاکی، ۲۰۱۸)	۷/۵۲	MJ/lit	حشره‌کش
(یلدیژان و تاکی، ۲۰۱۸)	۱۹۸	(یلدیژان و تاکی، ۲۰۱۸)	۴/۵۶	MJ/lit	قارچ‌کش
(کعب و همکاران، ۲۰۱۹)	۹	(میچالاکاکیس و همکاران، ۲۰۲۱)	۷/۱	MJ/kg year	ماشین‌های کشاورزی
کیتانی، ۱۹۹۹	۲۰ درصد اکسرژی مستقیم	کیتانی، ۱۹۹۹	۲۰ درصد انرژی مستقیم	MJ/kg	آبیاری (غیر مستقیم)
(کعب و همکاران، ۲۰۱۹)	۱/۲	(انسیناس و همکاران، ۲۰۱۹)	۵/۲۹۷	MJ/kg	ساقه نیشکر

* معادل اکسرژی سوخت ۵۳/۲ MJ/kg (اسماعیل پور تروجنی و همکاران ۲۰۱۸) و چگالی آن برابر با ۰/۸۳۲ kg/L (پلوان و اوزیلگن ۲۰۱۷)

و زیرساخت‌ها به عنوان نهاده‌ها و عوامل دارای اثرات منفی روی محیط‌زیست در نظر گرفته شدند و بر اساس استانداردهای بین‌المللی، اثرات زیست‌محیطی آن‌ها برآورد گردید. ضرایب انتشار مستقیم آلاینده‌ها در نتیجه استفاده از نهاده‌ها در سیستم‌های تولید کشاورزی از منابع مختلف به دست آمد (برنتروپ و همکاران ۲۰۰۴؛ فینکبیرنر و همکاران ۲۰۰۶؛ نیکخواه و همکاران ۲۰۱۵؛ اردیخانی و همکاران ۲۰۲).

هدف از مرحله سوم (LCIA) تجزیه و تحلیل کمی نتایج مراحل موجودی چرخه عمر است که شامل زیر بخش دسته‌بندی و ویژه سازی^۱، نرمال‌سازی و وزن دهی می‌باشد. در زیر بخش دسته‌بندی، گروه‌های اثرات محیطی ناشی از کارکرد بوم نظام تعریف و سپس آلاینده‌های انتشار یافته و منابع تخلیه شده که در مرحله LCIA ممیزی شده‌اند بر اساس نوع آلاینده انتشار یافته و

مرحله دوم (LCI)، شامل جمع‌آوری داده‌ها و انجام محاسبات به منظور کمی‌سازی ورودی‌ها و خروجی‌های چرخه حیات محصول می‌باشد. جمع‌آوری صحیح و دقیق داده‌ها در این گام از ارزیابی چرخه حیات انجام می‌شود که البته نبود یا کمبود داده‌ها می‌تواند بزرگ‌ترین چالش در این فاز از LCA باشد. در مرحله LCI کلیه نهاده‌های مورد نیاز برای تولید نی نیشکر و کلیه مقادیر آلاینده‌های آزاد شده در محیط در نتیجه استفاده از این نهاده‌ها بر اساس FU تعیین و محاسبه می‌شود. اندازه‌گیری مقدار دقیق آلاینده‌های منتشر شده در خاک، آب و هوا چالش برانگیز است؛ بنابراین، ضرایب انتشار آلاینده اغلب برای تخمین میانگین انتشار به جای اندازه‌گیری استفاده می‌شود (تزیلیواکس و همکاران ۲۰۰۵). در پژوهش حاضر سوخت دیزل، الکتریسیته، ماشین‌ها، کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی، مصرف آب

¹ Characterization

نتایج و بحث

جدول ۲ عملیات‌های انجام شده ماشینی و میانگین مصرف انرژی و اکسرژی جمعی در هرکدام از آنها در مزارع پلنت و راتون را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول مشخص است عملیات‌های انجام شده در مزارع پلنت خیلی بیشتر از مزارع راتون بود که این باعث گردید مصرف انرژی و اکسرژی جمعی در مزارع پلنت نسبت به مزارع راتون بیشتر باشد. بیشترین مصرف انرژی و اکسرژی جمعی مربوط به عملیات زیرشکنی است که در مزارع پلنت انجام می‌شود. برداشت با دروگر، تسطیح لیزری و شخم عمیق با گاوآهن برگرداندار از عملیات‌های با بیشترین انرژی و اکسرژی ورودی هستند. در همه عملیات‌های ماشینی، سوخت دیزل عمدتین انرژی و اکسرژی مصرفی می‌باشد.

منبع تخلیه شده در گروه‌های تأثیر مربوطه درج می‌شوند. پس از طبقه‌بندی آلاینده‌ها، ضریب یا وزن هر آلاینده در گروه‌های مختلف تأثیر اعمال می‌شود. برای این منظور، یک فاکتور ویژه سازی^۱ برای هر نوع آلاینده در گروه‌های تأثیر با توجه به عملکرد اکوسامانه تعیین می‌شود (برنتروپ و همکاران ۲۰۰۴؛ سینگ و همکاران ۲۰۱۰). در آخرین مرحله ارزیابی چرخه حیات بر اساس نتایج به دست آمده، منابع بحرانی و راهکارهایی برای کاهش آنها ارائه می‌شود (پراساد و همکاران ۲۰۲۰). در مطالعه کنونی از نرم‌افزار Simapro 8.4.0.0 و از تکنیک CML 2 baseline 2000 V2.05/universe و روش نرمال‌سازی Netherlands, 1997 برای ارزیابی چرخه حیات تولید نی نیشکر در کشت و صنعت میرزا کوچک خان استفاده شد.

جدول ۲- انرژی و اکسرژی مصرفی در عملیات‌های ماشینی در مزارع پلنت و راتون

CExC/ha	CEnC/ha	نهاده‌های به کار رفته در عملیات	عملیات انجام گرفته
۱۴۵۲/۸	۱۶۶۹/۸	تراکتور MF399، گاوآهن، سوخت، نیروی انسانی	گاوآهن برگرداندار
۶۵۱/۸	۷۵۱/۳	تراکتور MF399، دیسک، سوخت، نیروی انسانی	دو بار دیسک
۲۰۶۵/۲	۲۳۸۱/۴	اسکرپیر لیزری، سوخت، نیروی انسانی	دو بار تسطیح لیزری
۵۲۹۱/۷	۶۱۲۵/۵	بلدوزر D8، زیرشکن، سوخت، نیروی انسانی	دو بار زیرشکن عمیق
۲۷۹/۰	۳۲۱/۲	تراکتور MF399، دیسک، سوخت، نیروی انسانی	دیسک بعد زیرشکن
۷۶۴/۴	۸۷۰/۶	تراکتور MF399، ماله، سوخت، نیروی انسانی	ماله پشت تراکتوری
۴۶۹/۵	۵۳۸/۳	تراکتور MF399، فاروئر، سوخت، نیروی انسانی	فاروئر زنی
۲۴۸/۰	۲۸۶/۰	تراکتور MF399، کودکار، نیروی انسانی	کودریزی
۶۶۵/۹	۸۰۷/۲	تراکتور MF399، تریلر، سوخت، نیروی انسانی	کاشت قلمه
۲۵۴/۱	۲۹۲/۵	تراکتور MF399، دیسک‌کاور، سوخت، نیروی انسانی	دیسک پوشاننده قلمه
۴۰/۸	۴۹/۲	سم‌پاش، نیروی انسانی	سم‌پاشی
۴۷/۶	۵۰/۵	گریدر، سوخت، نیروی انسانی	رگلاژ اطراف مزرعه
۲۰۱۹/۹	۲۳۴۹/۷	هاروستر، سوخت، نیروی انسانی	برداشت ماشینی
۱۳۷۷/۴	۱۴۹۷/۳	تراکتور MF399، سید حمل نی، سوخت، نیروی انسانی	حمل نی به کارخانه
۷۴۱/۹	۸۴۳/۲	تراکتور MF8160، زیرشکن، سوخت، نیروی انسانی	زیرشکن راتون
۲۲۲/۵	۲۵۵/۲	تراکتور MF399، دیسک، سوخت، نیروی انسانی	دیسک راتون

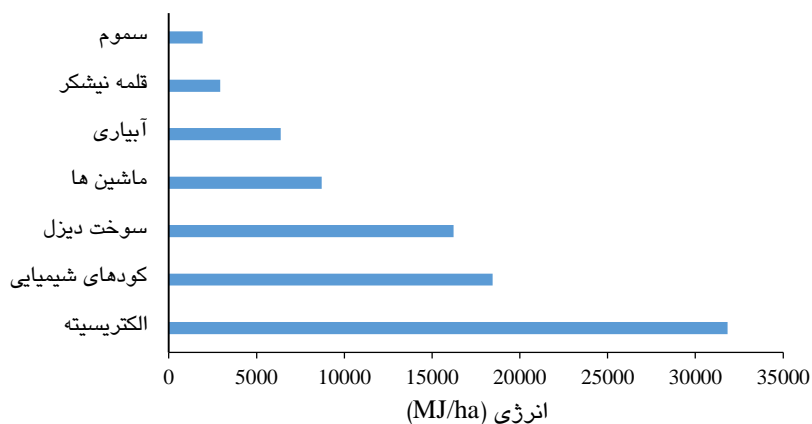
مگاژول بر هکتار به دست آمد. بیشترین انرژی مصرفی در تولید نی نیشکر مربوط به الکتروسیته است که برای پمپاژ آب آبیاری استفاده می‌شود. سهم انرژی

شکل ۱ انرژی مصرفی برای تولید نیشکر به تفکیک منابع مورد استفاده بر حسب مگاژول بر هکتار را نشان می‌دهد. کل انرژی مصرفی در تولید نیشکر ۸۶۴۴۳/۶

¹ Characteristic Factor

غیرمستقیم آبیاری که شامل انرژی لازم برای کانال کشی، لایروبی کانالها و سازها و تاسیسات آبیاری هست، ۷/۳۷ درصد کل انرژی ورودی را تشکیل می‌دهد.

الکتریسیته مصرفی از کل انرژی مصرفی ۳۶/۸۳ درصد بود. انرژی کودهای شیمیایی و سوخت دیزل به ترتیب با ۲۱/۳۵ و ۱۸/۷۶ درصد در رتبه‌های بعدی قرار دارند. انرژی ماشینهای کشاورزی ۱۰/۰۸ درصد و انرژی



شکل ۱- مصرف انرژی در تولید نی نیشکر به تفکیک منابع مورد استفاده

کودریز تخلیه نمی‌گردد و مقداری کود در ته کیسه باقی می‌ماند (شکل ۲ ج). لذا نظارت دقیق‌تر بر عملیات کوددهی توصیه می‌گردد.

پس از عملیات داشت، عملیات‌های تهیه زمین و کاشت به ترتیب ۱۴/۴ و ۱۲/۱ درصد از کل انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده بودند. در این عملیات‌ها عمده انرژی مصرفی مربوط به سوخت و ماشین‌های کشاورزی بوده است.

کل CExC در تولید نیشکر ۴۹۸۵۶/۵ MJ/ha به دست آمد که به ترتیب ۲۸/۷۹ و ۲۱/۲۹ درصد آن مربوط به سوخت دیزل و الکتریسیته بود (شکل ۲). استفاده از روش‌های قدیمی و مرسوم، عملیات خاک‌ورزی سنگین، برداشت و حمل و نقل و همچنین ماشین‌ها و تجهیزات کشاورزی فرسوده باعث افزایش مصرف سوخت دیزل در تولید نیشکر شده است. تحلیل اکسرژی نشان می‌دهد که در تولید نیشکر سهم نهاده‌ها در اکسرژی نسبت به انرژی متفاوت است. قلمه نیشکر حدود ۳/۳۹ درصد انرژی ورودی در تولید نیشکر را شامل می‌شود ولی از نظر اکسرژی ۱۵/۵۶ درصد کل مصرف اکسرژی تجمعی تولید نیشکر را تشکیل می‌دهد. همچنین الکتریسیته که بیشترین انرژی ورودی بود از نظر مصرف اکسرژی تجمعی کمتر از سوخت دیزل است. این موضوع اهمیت

نتایج بررسی‌های انجام شده نشان داد که عملیات داشت با ۷۲/۸۱ درصد بیشترین مصرف انرژی در عملیات تولید نی نیشکر را به خود اختصاص داده است. بالا بودن انرژی مورد نیاز برای آبیاری و کوددهی باعث بالا رفتن کل انرژی مورد نیاز برای عملیات داشت شده است. استفاده از روش کودکاری و آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه در جهت بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها و بالا بردن کارایی مصرف آن‌ها، می‌تواند به طور قابل توجهی انرژی و هزینه‌های مصرفی را کاهش دهد. همچنین با استفاده از کودکار به جای کودریز مصرف کود به طور قابل توجهی کاهش خواهد یافت، زیرا با استفاده از کودکار می‌توان مقدار کود واقعی مورد نیاز گیاه را در محل مناسب در خاک قرار داد و از مصرف اضافی آن جلوگیری کرد. در بررسی مزرعه‌ای هنگام عملیات کوددهی در زمان کاشت مشاهده گردید که در بسیاری از موارد، موزع ماشین‌های کودریز دارای دقت پایین بوده و برخی نیز به دلیل فرسودگی از تنظیم خارج شده بودند (شکل ۲ الف). این عامل باعث شره شدن کود در مزرعه و حتی در مسیرهای بین مزارع در هنگام دور زدن ماشین کودریز گردیده و تلفات کود را به همراه داشت (شکل ۲ ب). همچنین بسیاری موارد کیسه‌های کود به طور کامل در ماشین

بررسی و تحلیل اکسرژی مصرفی همراه با بررسی مصرف انرژی را نشان می‌دهد. کودهای شیمیایی بخش قابل توجهی از مصرف اکسرژی جمعی در تولید نیشکر را شامل می‌شوند. استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی در کشاورزی علاوه بر مصرف انرژی، ممکن

است پیامدهای زیست‌محیطی جدی مانند بارگیری نیتروژن در محیط و آب‌های دریافت کننده، کاهش کیفیت آب، انتشار کربن و آلودگی زنجیره غذایی را ایجاد کند (خان و همکاران ۲۰۰۹).



ب



الف



ج

شکل ۲- هدر رفت کود شیمیایی، الف فرسودگی چرخ‌دنده‌های موزع کودریز، ب- ریزش بیش از اندازه کود در برخی نقاط مزرعه به دلیل خارج از تنظیم شدن موزع ها، ج- باقی ماندن کود در کیسه‌ها به دلیل عدم تخلیه کامل آن‌ها در ماشین کودریز

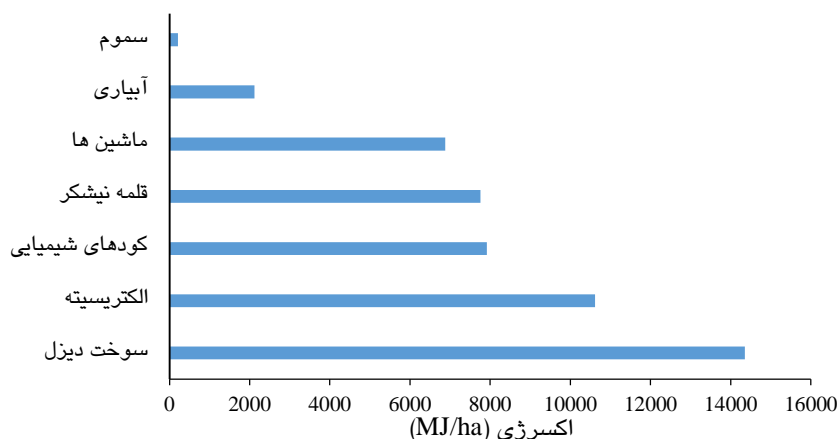
که انرژی کمتری مصرف می‌کنند، جایگزین کرد. استفاده از گاواهن برگردان‌دار قبل از زیرشکنی از عملیات‌هایی می‌باشد که می‌تواند حذف گردد زیرا استفاده از زیرشکن نیز تا حدودی ریشه‌های نیشکر باقی‌مانده در خاک را از بین می‌برد. همچنین استفاده از زیرشکن تراکتوری به جای زیرشکنی با بلدوزر D8. مصرف سوخت را کاهش می‌دهد. ادغام عملیات کود دهی قبل از کاشت قلمه با عملیات فاروئر زنی موجب کاهش مصرف سوخت و انرژی ماشین‌ها نیز خواهد شد. همچنین ایجاد تناوب زراعی مانند گندم، ذرت، چغندر قند و استفاده از کودهای

در عملیات تهیه زمین و کاشت، از ماشین‌های کشاورزی زیادی استفاده می‌گردد که بسیاری از آن‌ها مانند گاواهن برگردان‌دار، بلدوزر D8 و اسکریپرهای لیزری، ماشین‌های سنگینی بوده و مصرف سوخت و انرژی بالایی دارند. همان‌طور که بیان شد در بین عملیات‌های مختلف، زیرشکنی با بلدوزر، تسطیح لیزری و گاواهن برگردان‌دار بیشترین مصرف اکسرژی جمعی در عملیات ماشین‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. در بررسی‌های مزرعه‌ای مشاهده گردید که برخی عملیات‌ها یا ضروری نبوده و یا می‌توان آن‌ها را با عملیات مشابهی

است (بی‌نام ۲۰۱۸). در این مطالعه به عنوان انرژی تجدیدناپذیر در نظر گرفته شد. در کل میزان مصرف انرژی و اکسرژی تجدیدپذیر بیانگر وابستگی شدید تولید نیشکر به منابع غیرتجدیدپذیر است. در بسیاری از مطالعات نسبت منابع تجدیدپذیر در تولید محصولات کشاورزی بسیار بیشتر از منابع تجدیدپذیر گزارش شده است (اردال و همکاران ۲۰۰۷؛ اسماعیل پور تروجنی و همکاران ۲۰۲۱؛ خوارز-هرناندز و همکاران ۲۰۱۹؛ موسوی اول و همکاران ۲۰۱۱؛ اردیخانی و همکاران ۲۰۲۱؛ رحمان و حسن ۲۰۱۴). خان و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند، سیستم‌های تولید محصولات کشاورزی مبتنی بر استفاده فشرده از منابع تجدیدناپذیر در دراز مدت پایدار نیست و همراه با پیامدهای مضر بر سلامت انسان و محیط‌زیست است.

سبز، باعث دادن فرصت کافی برای پوسیدگی ریشه‌های نیشکر شده و ساختمان خاک را سبک‌تر می‌کند. در نتیجه عملیات تهیه زمین برای کشت نیشکر با توان کمتری انجام می‌پذیرد. در مطالعات مشابه، برق، سوخت دیزل و کودهای شیمیایی به عنوان اصلی‌ترین نهاده‌های اکسرژی در تولید کلزا در استان مازندران (اسماعیل پور تروجنی و همکاران ۲۰۲۱) و سیستم‌های مختلف تولید نرت در مکزیک ((خوارز-هرناندز و همکاران ۲۰۱۹) گزارش شدند.

بررسی منابع مصرفی نشان می‌دهد از نظر انرژی تنها ۳/۳۹ درصد مصرف انرژی تجمعی از نوع تجدیدپذیر است. این در حالی است که تحلیل اکسرژی نشان داد ۱۵/۵۶ درصد اکسرژی ورودی از نوع تجدیدپذیر است. از آنجایی که تولید برق در ایران بر مبنای منابع فسیلی



شکل ۳- مصرف اکسرژی تجمعی در تولید نی نیشکر به تفکیک منابع مورد استفاده

ارزیابی شاخص‌های انرژی و اکسرژی

مگاژول انرژی خروجی توسط نیشکر تولید شده است. در مطالعات مشابه، این نسبت برای تولید نیشکر ۱/۳۸ (تقی‌نژاد و همکاران ۲۰۱۴)، ۰/۸۱ (کعب و همکاران ۲۰۱۹) و ۱/۵۵ (مرینی و همکاران ۲۰۰۱) گزارش شده است. بهره‌دهی و شدت انرژی نیز به طور متوسط به ترتیب ۰/۶۷ کیلوگرم بر مگاژول و ۱/۵۵ مگاژول بر کیلوگرم محاسبه گردید که نشان می‌دهد به ازای هر

برای محاسبه کل انرژی تولیدی، تنها عملکرد نی نیشکر در نظر گرفته شد و انرژی برگ و کلش محاسبه نشد. کل انرژی خروجی ۶۹۵۸۸ مگاژول در هکتار محاسبه شد. با توجه به انرژی خروجی و کل انرژی تجمعی مصرفی، نسبت انرژی خروجی به ورودی معادل ۰/۸۱ محاسبه گردید (جدول ۳). این عدد نشان می‌دهد که به ازای هر مگاژول انرژی مصرفی ۰/۸۱

سایر محصولات است. بالاتر بودن CDP به نوعی نشان‌دهنده استفاده از راندمان اکسرژی بالاتر در فرآیند تولید نیشکر است. شاخص تجدیدپذیری فرآیند تولید نیشکر ۰/۸۴ به دست آمد که نشان‌دهنده تجدیدپذیری نسبی فرآیند تولید نیشکر در کشت و صنعت میرزا کوچک خان است. کاهش مصرف سوخت دیزل، الکتریسیته، کودهای شیمیایی و ماشین‌های کشاورزی و یا استفاده از سوخت‌های زیستی، برق تجدیدپذیر و کودهای آلی، شاخص تجدیدپذیری فرآیند تولید نیشکر را افزایش می‌دهد. شاخص تجدیدپذیری برای کلزا ۰/۷۲ گزارش شده است (اسماعیل پور تروجنی و همکاران ۲۰۲۱). با بهبود مدیریت مصرف آب آبیاری و اصلاح سامانه آبیاری می‌توان CDP و IR را افزایش داد و در نتیجه تولید نیشکر سازگارتر با محیط‌زیست خواهد بود. مقدار CNEx برابر با ۲۵۷/۳ گیگاژول بر هکتار به دست آمد که نشان می‌دهد تولید نیشکر یک سامانه با تولید اکسرژی مثبت است. این در حالی است که از نظر انرژی، تولید نیشکر در کشت و صنعت میرزا کوچک خان یک سامانه با تولید انرژی منفی است.

مگاژول انرژی مصرفی تنها ۰/۶۷ کیلوگرم نی نیشکر تولید گردیده است. برای جبران این مقدار انرژی از دست رفته و افزایش بازده و بهره‌وری انرژی لازم است که مصرف نهاده‌های ورودی به ویژه آبیاری، کود و ماشین‌های کشاورزی بهینه گردد. کم بودن عملکرد محصول نیز در کاهش راندمان و شاخص‌های انرژی نقش مهمی داشته است. استفاده از واریته‌های مناسب، قلمه‌های سالم و نظارت پیوسته بر مزارع در زمان داشت و برداشت، و همچنین اعمال مدیریت زراعی توسط کارشناسان مجرب می‌تواند در افزایش عملکرد محصول تأثیرگذار باشد.

برخلاف نسبت انرژی خروجی به ورودی، مقدار CDP در تولید نیشکر ۶/۱۶ به دست آمد (جدول ۳) که نشان‌دهنده بیشتر بودن اکسرژی تولیدی نسبت به مصرف اکسرژی جمعی است. در مطالعات مشابه، CDP برای تولید کلزا ۲/۱۹ (اسماعیل پور تروجنی و همکاران ۲۰۲۱) و تولید گندم ۲/۹ (یلدیژان و تاکی ۲۰۱۹) محاسبه شده است. بیشتر بودن CDP در تولید نیشکر عمدتاً به دلیل عملکرد بیشتر نیشکر در مقایسه با

جدول ۳- شاخص‌های ارزیابی انرژی و اکسرژی مزارع تولید نیشکر

شاخص	ER	SE	EP	CDP	CNEx	RI	اکسرژی تجدیدپذیر	اکسرژی تجدیدناپذیر	انرژی تجدیدناپذیر	انرژی تجدیدپذیر
واحد	-	MJ/kg	kg/MJ	-	GJ/ha	-	GJ/ha	GJ/ha	GJ/ha	GJ/ha
مقدار	۰/۸۱	۱/۴۹	۰/۶۷	۶/۱۶	۲۵۷/۳	۰/۸۴	۷/۷۶ (۱۵/۵۶٪)	۴۲/۱۰ (۸۴/۴۴٪)	۲/۹۳ (۳/۳۹٪)	۸۳/۵۱ (۹۶/۶۱٪)

ارزیابی چرخه حیات تولید نیشکر

در جدول ۴ مقادیر گروه تأثیر در نتیجه تولید یک تن نی نیشکر و سهم منابع و نهاده‌های ورودی در گروه‌های تأثیر نشان داده شده است. از تأثیرات مهم سیستم‌های تولیدی مصرف منابع طبیعی است که در ارزیابی چرخه حیات به تخلیه منابع غیر زیستی معرف است (کانال و همکاران ۲۰۰۶). تخلیه منابع غیر زیستی اغلب بر اساس معادل Sb محاسبه و بیان می‌شوند. تخلیه منابع غیر زیستی برای تولید یک تن نی نیشکر در مزرعه ۰/۷۸ کیلوگرم معادل Sb محاسبه شد. مصرف برق، سوخت دیزل و کودهای شیمیایی به ترتیب با

۴۷/۶۱ درصد، ۲۷/۱۴ درصد و ۲۲/۵۹ درصد بیشترین تأثیر را در تخلیه منابع غیرزیستی داشتند. روشن است که انتشار در مزرعه هیچ گونه تأثیری در گروه تخلیه منابع غیرزیستی ندارد. تأثیر تولید یک تن نیشکر بر پتانسیل اسیدی شدن، ۱/۲۵۰ کیلوگرم معادل SO₂ eq به دست آمد که بیشترین تأثیر به ترتیب با ۵۶/۹۶، ۲۲/۵۱ و ۱۱/۴۹ درصد مربوط به الکتریسیته، انتشارات در مزرعه و سوخت دیزل بود. این امر به دلیل نیاز آبی زیاد نیشکر و استفاده از الکتریسیته جهت پمپاژ آب و همچنین عمده‌ترین منابع تولید برق در ایران، منابع انرژی فسیلی می‌باشند.

که اثر مصرف برق و انتشارات در مزرعه بر تخریب لایه اوزون ناچیز است. کود فسفات عمده ترین تأثیر را بر تخریب لایه اوزون دارد. کل مصرف سوخت دیزل در تولید نیشکر جهت راه اندازی ماشینها در عملیات خاکورزی، کاشت، داشت و برداشت است. در مطالعات مشابه گزارش شده است که عملیاتهای شخم، کاشت و برداشت، بیشترین مصرف سوخت را دارند و به همین دلیل بیشترین تأثیر بر گرمایش جهانی مربوط به این عملیاتها است (فلاح پور و همکاران ۲۰۱۲؛ هوشیار و گراندمن ۲۰۱۷). گزارش شده است که استفاده بهینه از گاوآهنها می تواند مصرف سوخت و در نتیجه تأثیر آن بر GWP را کاهش دهد (لوواری و همکاران ۲۰۱۷). پتانسیل گرمایش جهانی در نتیجه تولید ۱ تن نی نیشکر به ترتیب ۱۵۳/۱۰ کیلوگرم CO₂-eq به دست آمد.

در نتیجه واکنش نور خورشید با انتشارات حاصل از احتراق سوختهای فسیلی در تروپوسفر، اکسید فتوشیمیایی تولید می شود که یک آلاینده شیمیایی خطرناک در هوا است. در شرایط نور خورشید و رطوبت کم، در طی واکنش اکسید نیتروژن و یک ترکیب آلی فرار، تولید این ماده شیمیایی رایج است (باومن و تیلمن ۲۰۰۴). بیشترین تأثیر بر پتانسیل اکسیداسیون

یوتریفیکاسیون فرآیندی است که در آن اکوسامانه های زمینی و آبی با مواد مغذی غنی می شوند و در نتیجه آن، تولید گیاهان، جلبکها و زیست توده به طور نامطلوبی افزایش می یابد (هوشیار و گراندمن ۲۰۱۷). اثر تولید یک تن نی نیشکر از نظر تأثیر یوتریفیکاسیون حدود ۱/۳۸۰ کیلوگرم معادل PO₄ به دست آمد. انتشار در مزرعه عامل حدود ۹۳ درصد اثرات یوتروفیکاسیون بود.

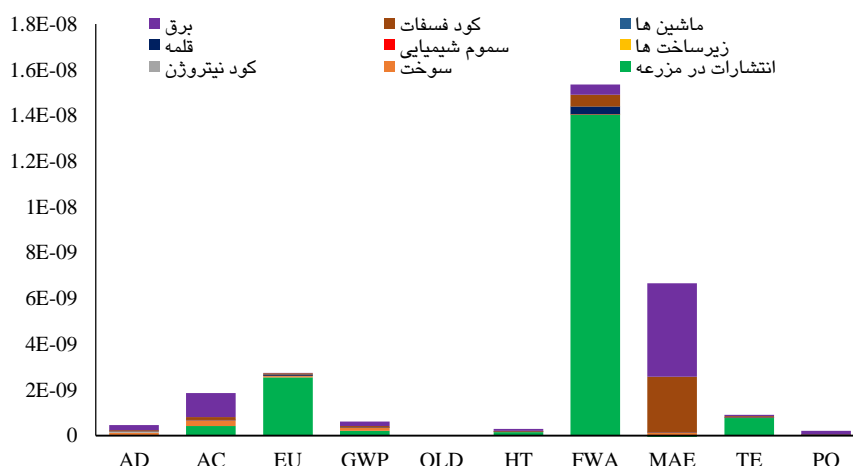
از مهم ترین اثرات زیست محیطی که جهان با آن روبرو است گرمایش جهانی می باشد که در نتیجه انتشار گازهای گلخانه ای در جو زمین در نتیجه مصرف انرژی های فسیلی و فعالیت های انسان است. پتانسیل گرمایش جهانی نشان دهنده توانایی گازهای گلخانه ای در به دام انداختن گرما در جو است. پتانسیل گرمایش جهانی گاز دی اکسید کربن برابر با ۱ است و به عنوان گاز مرجع شناخته می شود و معمولاً پتانسیل گرمایش جهانی سایر گازها بر اساس معادل دی اکسید کربن سنجیده می شود. از دیگر مسائل مهم زیست محیطی تخریب لایه ازن است. جدول ۱ نشان می دهد که انتشارات در مزرعه، الکتریسیته و سوخت دیزل بیشترین بار را بر GWP در تولید نیشکر دارد در حالی

جدول ۴- مقادیر اثرات زیست محیطی و سهم ورودیها در انتشار دسته های تأثیر در تولید ۱ تن نی نیشکر

گروه های تأثیر	واحد	مقدار کل	درصد								
			برق	کود فسفر	ماشینها قلمه نیشکر	سموم زیرساختها کود نیتروژن	سوخت دیزل انتشارات در مزرعه	انتشارات در مزرعه			
AD	kg Sb eq	۰/۷۸۰۲۱۴	۴۷/۶۱	۸/۹۱	۰/۶۶	۰/۴۲	۱/۳۳	۰/۲۷	۱۳/۶۷	۲۷/۱۴	۰/۰۰
AC	kg SO ₂ eq	۱/۲۵۰۲	۵۶/۹۶	۶/۵۹	۰/۲۰	۰/۶۸	۰/۶۲	۰/۱۳	۰/۸۳	۱۱/۴۹	۲۲/۵۱
EU	kg PO ₄ --- eq	۱/۳۷۹۶	۰/۸۸	۱/۷۰	۰/۰۱	۲/۱۶	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۱۰	۲/۲۴	۹۲/۷۳
GWP	kg CO ₂ eq	۱۵۳/۰۲۳	۳۱/۹۱	۷/۷۰	۰/۴۴	۱/۰۶	۱/۰۳	۰/۴۹	۳/۰۳	۱۹/۷۳	۳۴/۶۱
OLD	kg CFC-11 eq	۳/۰۴*۱۰ ^{-۶}	۰/۰۲	۷۸/۵۸	۱/۶۱	۰/۵۲	۶/۵۱	۰/۴۹	۱/۴۳	۱۰/۸۳	۰/۰۰
HT	kg 1,4-DB eq	۵۴/۴۳۰	۲۶/۸۴	۱۳/۲۱	۰/۲۱	۱/۲۹	۰/۲۱	۰/۲۸	۰/۱۸	۴/۱۷	۵۳/۶۲
FWAE	kg 1,4-DB eq	۱۱۵/۵۰۴	۲/۹۱	۳/۴۴	۰/۰۰	۲/۱۴	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۴	۹۱/۴۵
MAE	kg 1,4-DB eq	۲۱۰۲۲/۷۶	۶۱/۸۴	۳۶/۸۴	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۱۱	۱/۹۰	۰/۰۰
TE	kg 1,4-DB eq	۰/۸۲۶۷۱	۵/۰۴	۶/۰۵	۰/۰۷	۱/۹۸	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۰۸	۱/۲۸	۸۵/۲۲
PO	kg C2H4 eq	۰/۰۳۸۲۶	۷۵/۲۸	۸/۹۵	۰/۵۰	۰/۱۹	۱/۰۷	۰/۳۵	۳/۲۱	۱۰/۴۴	۰/۰۰

طور که از شکل ۴ مشاهده می‌گردد بیشترین تأثیر زیست‌محیطی تولید نی نیشکر به ترتیب بر روی گروه‌های MAE، FWA و EU است که در مجموع انتشارات در مزرعه با ۶۲/۳۰ درصد بیشترین اثرات زیست‌محیطی را دارا می‌باشند. کمترین تأثیر تولید نی نیشکر بر روی گروه OLD و کمترین اثرات محیط‌زیست مربوط به ماشین‌های کشاورزی است.

فتوشیمیایی در تولید نی نیشکر مربوط به الکتریسیته است. گروه‌های سمیت شامل HT، FWAE، MAE و TE می‌باشند که انتشارات در مزرعه عمده‌ترین عامل در ایجاد دسته‌های HT، FWAE و TE می‌باشند در حالی که مصرف الکتریسیته بیشترین بار را بر گروه MAE دارد. شکل ۴ مقایسه اثرات محیطی نرمال شده تولید ۱ تن نی نیشکر بر اساس مدل CML 2 baseline 2000 V2.05/The Netherlands, 1997 را نشان می‌دهد. همان



شکل ۴-مقایسه اثرات نرمال شده گروه‌های اثرات زیست‌محیطی تولید ۱ تن نیشکر

می‌دهد، اکسرژی تولیدی نیشکر ۶/۱۶ برابر مصرف اکسرژی جمعی است. شاخص تجدیدپذیری نشان داد تولید نیشکر یک سامانه نسبتاً تجدیدپذیر است. الکتریسیته، سوخت دیزل و کودهای شیمیایی عمدتاً از نهاده‌های CEnC و CExC در تولید نی نیشکر می‌باشند. بهبود مدیریت کودهای شیمیایی و آب آبیاری، بهبود سامانه آبیاری و جایگزینی منابع انرژی تجدیدناپذیر با منابع تجدیدپذیر برای تولید برق باعث افزایش CDP و RI هر دو سامانه تولید و سازگاری با محیط‌زیست این سیستم‌های تولیدی می‌شود. ارزیابی زیست‌محیطی تولید نی نیشکر نشان داد انتشارات در مزرعه و مصرف الکتریسیته عامل اصلی در ایجاد اثرات زیست‌محیطی

نتیجه‌گیری

بررسی یکپارچه انرژی، اکسرژی و ارزیابی چرخه حیات رویکردی مناسب برای تعیین کیفیت منابع انرژی، شناسایی تلفات ترمودینامیکی منابع انرژی و ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی سامانه‌های تولید کشاورزی است. در این تحقیق، شاخص‌های انرژی و اکسرژی برای تولید نیشکر، محاسبه شد. مصرف انرژی و اکسرژی جمعی به ترتیب ۸۶/۴۴ و ۴۹/۸۶ GJ/ha به دست آمد. شاخص نسبت انرژی ۰/۸۱ به دست آمد که نشان می‌دهد مصرف انرژی جمعی بیش از انرژی تولیدی در نیشکر است. این در حالی است که درجه کمال جمعی برابر با ۶/۱۶ به دست آمد که نشان

تولید نی نیشکر می‌باشند. بیشترین تأثیر زیست محیطی تولید نی نیشکر به ترتیب بر روی گروه‌های FWA، MAE و EU بود. اصلاح عملیات تهیه زمین و استفاده بهینه از گاوآهن‌ها، استفاده از تناوب زراعی، بهبود مدیریت مصرف آب آبیاری و اصلاح سامانه آبیاری، استفاده از ماشین‌های کودکار و نظارت دقیق‌تر بر عملیات کوددهی و همچنین استفاده از سوخت‌های زیستی، برق تجدیدپذیر و کودهای آلی، می‌تواند موجب کاهش مصرف انرژی و اکسرژی شود و شاخص تجدیدپذیری فرآیند تولید نیشکر را افزایش می‌دهد.

سیاسگذاری

نویسندگان مقاله از دانشگاه شهید چمران اهواز و حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (SCU.AA98.29747) تشکر و قدردانی می‌کنند. همچنین از مدیریت شرکت کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

- Ahamed JU, Saidur R, Masjuki HH, Mekhilef S, Ali MB and Furqon MH. 2011. An application of energy and exergy analysis in agricultural sector of Malaysia. *Energy Policy*, 39(12): 7922–7929.
- Amiri Z, Asgharipour MR, Campbell DE and Armin M. 2020. Extended exergy analysis (EAA) of two canola farming systems in Khorramabad, Iran. *Agricultural Systems*, 180: 102789. DOI:10.1016/j.agsy.
- Anonymous. 2022. Agribusiness, Sugar Market Analysis. IHS Markit. Available at: <https://ihsmarkit.com/products/food-commodities-food-manufacturing-softs-sugar.html>.
- Anonymous. 2020a. Agricultural Statistical Yearbook. Iran Ministry of Agriculture-Jahad: Tehran Available at: <https://www.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/amarnamehj1-98-99-sh.pdf>.
- Anonymous. 2020b. Data, Crops and livestock products. Food Agric Organ. Available at: <https://www.fao.org/faostat/en/#data>.
- Anonymous. 2018. Energy Balance Sheet of Iran. Iran Ministry of Energy Deputy of Electricity and Energy Affairs: Tehran.
- Apazhev AK, Fiapshev AG, Shekikhachev IA, Khazhmetov LM, Khazhmetova AL and Ashabokov KK. 2019. Energy efficiency of improvement of agriculture optimization technology and machine complex optimization. In: E3S Web Conf. EDP Sciences: 5054. DOI:10.1051/e3sconf/201912405054.
- Baumann H and Tillman A-M. 2004. The Hitch Hiker's Guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application. Studentlitteratur Lund. Studentlitteratur AB Available at: <http://www.amazon.ca/exec/obidos/redirect?tag=citeulike09-20&path=ASIN/9144023642> (Accessed: 25 April 2022).
- Beheshti Tabar I, Keyhani A and Rafiee S. 2010. Energy balance in Iran's agronomy (1990-2006). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(2): 849–855.
- Bojacá CR, Casilimas HA, Gil R and Schrevens E. 2012. Extending the input-output energy balance methodology in agriculture through cluster analysis. *Energy*, 47(1): 465–470.
- Brentrup F, Küsters J, Lammel J, Barraclough P and Kuhlmann H. 2004. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. *European Journal of Agronomy*, 20(3): 265–279.
- Canals MIL, Burnip GM and Cowell SJ. 2006. Evaluation of the environmental impacts of apple production using Life Cycle Assessment (LCA): Case study in New Zealand. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114(2–4): 226–238.

- Ensinas A V., Modesto M, Nebra SA and Serra L. 2009. Reduction of irreversibility generation in sugar and ethanol production from sugarcane. *Energy*, 34(5): 680–688.
- Erdal G, Esengün K, Erdal H and Gündüz O. 2007. Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*, 32(1): 35–41.
- Esmailpour-Troujeni M, Rohani A and Khojastehpour M. 2021. Optimization of rapeseed production using exergy analysis methodology. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 43: 100959.
- Esmailpour-Troujeni M, Khojastehpour M, Vahedi A and Emadi B. 2018. Sensitivity analysis of energy inputs and economic evaluation of pomegranate production in Iran. *Information Processing in Agriculture*, 5(1): 114–123.
- Fallahpour F, Aminghafouri A, Ghalegolab Behbahani A and Bannayan M. 2012. The environmental impact assessment of wheat and barley production by using life cycle assessment (LCA) methodology. *Environment, Development and Sustainability*, 14(6): 979–992.
- Finkbeiner M, Inaba A, Tan RBH, Christiansen K and Klüppel HJ. 2006. The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 11: 80–85.
- Granco G, Sant’Anna AC, Bergtold JS and Caldas MM. 2018. Factors influencing ethanol mill location in a new sugarcane producing region in Brazil. *Biomass and Bioenergy*, 111: 125–133.
- Houshyar E and Grundmann P. 2017. Environmental impacts of energy use in wheat tillage systems: A comparative life cycle assessment (LCA) study in Iran. *Energy*, 22: 11–24.
- Juárez-Hernández S, Usón S and Pardo CS. 2019. Assessing maize production systems in Mexico from an energy, exergy, and greenhouse-gas emissions perspective. *Energy*, 170: 199–211.
- Kaab A, Sharifi M, Mobli H, Nabavi-Pelesaraei A and Chau KW. 2019. 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.
- Khan S, Khan MA, Hanjra MA and Mu J. 2009. Pathways to reduce the environmental footprints of water and energy inputs in food production. *Food Policy*, 34(2): 141–149.
- Khoshnevisan B, Rafiee S, Omid M, Yousefi M and Movahedi M. 2013. Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy*, 52: 333–338.
- Kitani O. 1999. Energy and biomass engineering, CIGR handbook of agricultural engineering. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Kizilaslan H. 2009. Input-output energy analysis of cherries production in Tokat Province of Turkey. *Applied Energy*, 86(7–8): 1354–1358.
- Kropp I, Nejadhashemi AP, Deb K, Abouali M, Roy PC, Adhikari U and Hoogenboom G. 2019. A multi-objective approach to water and nutrient efficiency for sustainable agricultural intensification. *Agricultural Systems*, 173: 289–302.
- Lovarelli D, Bacenetti J and Fiala M. 2017. Effect of local conditions and machinery characteristics on the environmental impacts of primary soil tillage. *Journal of Cleaner Production*, 140: 479–491.
- Michalakakis C, Fouillou J, Lupton RC, Gonzalez Hernandez A and Cullen JM. 2021. Calculating the chemical exergy of materials. *Journal of Industrial Ecology*, 25(2): 274–287.
- Mousavi-Avval SH, Rafiee S, Jafari A and Mohammadi A. 2011. Improving energy use efficiency of canola production using data envelopment analysis (DEA) approach. *Energy*, 36(5): 2765–2772.
- Mrini M, Senhaji F, Pimentel D. 2001. Energy Analysis of Sugarcane Production in Morocco. *Environment, Development and Sustainability* 3: 109–126.

- Nemecek T, Dubois D, Huguenin-Elie O and Gaillard G. 2011. Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. *Agricultural Systems*, 104(3): 217–232.
- Nikkhah A, Khojastehpour M, Emadi B, Taheri-Rad A and Khorramdel S. 2015. Environmental impacts of peanut production system using life cycle assessment methodology. *Journal of Cleaner Production*, 92: 84–90.
- Ordikhani H, Parashkoochi MG, Zamani DM and Ghahderijani M. 2021. Energy-environmental life cycle assessment and cumulative exergy demand analysis for horticultural crops (Case study: Qazvin province). *Energy Reports*, 7: 2899–2915.
- Pelvan E and Özilgen M. 2017. Assessment of energy and exergy efficiencies and renewability of black tea, instant tea and ice tea production and waste valorization processes. *Sustainable Production and Consumption*, 12: 59–77.
- Prasad S, Singh A, Korres NE, Rathore D, Sevda S and Pant D. 2020. Sustainable utilization of crop residues for energy generation: A life cycle assessment (LCA) perspective. *Bioresource Technology*, 303: 122964.
- Rahman S and Hasan MK. 2014. Energy productivity and efficiency of wheat farming in Bangladesh. *Energy*, 66: 107–114.
- Rasoolizadeh M, Salarpour M, Borazjani MA, Nikkhah A, Mohamadi H and Sarani V. 2022. Modeling and optimizing the exergy flow of tropical crop production in Iran. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 49: 101683.
- Sartor K and Dewallef P. 2017. Exergy analysis applied to performance of buildings in Europe. *Energy and Buildings*, 148: 348–354.
- Shah SM, Liu G, Yang Q, Casazza M, Agostinho F and Giannetti BF. 2021. Sustainability assessment of agriculture production systems in Pakistan: A provincial-scale energy-based evaluation. *Ecological Modelling*, 455: 109654.
- Shahhoseini HR, Ramroudi M, Kazemi H and Amiri Z. 2021. Sustainability assessment of autumn and spring potato production systems using extended exergy analysis (EEA). *Energy, Ecology and Environment*, 7:14-25.
- Singh A, Pant D, Korres NE, Nizami AS, Prasad S and Murphy JD. 2010. Key issues in life cycle assessment of ethanol production from lignocellulosic biomass: Challenges and perspectives. *Bioresource Technology*, 101(13): 5003–5012.
- Taghinezhad J, Alimardani R and Jafari A. 2014. Energy Consumption Flow and Econometric Models of Sugarcane Production in Khuzestan Province of Iran. *Sugar Tech*, 16(3): 277–285.
- Tzilivakis J, Warner DJ, May M, Lewis KA and Jaggard K. 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agricultural Systems*, 85(2): 101–119.
- Yildizhan H. 2018. Energy, exergy utilization and CO₂ emission of strawberry production in greenhouse and open field. *Energy*, 143: 417–423.
- Yildizhan H and Taki M. 2018. Assessment of tomato production process by cumulative exergy consumption approach in greenhouse and open field conditions: Case study of Turkey. *Energy*, 156: 401–408.
- Yildizhan H and Taki M. 2019. Sustainable management and conservation of resources for different wheat production processes; cumulative exergy consumption approach. *International Journal of Exergy*, 28(4): 404–422.
- Yuan S, Peng S, Wang D and Man J. 2018. Evaluation of the energy budget and energy use efficiency in wheat production under various crop management practices in China. *Energy*, 160: 184–191.