University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

Evaluation of Energy and Environmental Indices with a Life Cycle Approach for the Production of Corn (Grain and Forage): A Case Study in Alborz Province

Nima Shahbazi[1] | Naser Majnoun Hosseini[✉2] | Mohammad Reza Jahansuz [3]

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: nima.shahbazi@ut.ac.ir
2. Corresponding author, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: mhoseini@ut.ac.ir
3. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: jahansuz@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: January 20, 2024
Received in revised form: February 15, 2024
Accepted: April 01, 2024
Published online: September 22, 2024

Keywords:
Chemical Fertilizer,
diesel fuel,
energy ratio,
global warming,
ozone layer.

ABSTRACT

Agriculture and the production of resource-intensive crops, such as corn, account for a significant portion of energy consumption and adverse environmental effects. This study was conducted with the aim of examining energy and environmental indices, as well as the influential factors affecting them, in Alborz Province. In this regard, all necessary information was collected from the research farm and other corn (grain and Forage) producers, including all inputs used per hectare in each cultivation system. The approach of this study was life cycle assessment, and the methodology was based on ReCiPe 2016. The results indicated that the input energy for corn (grain and Forage) was 30029.63 and 24378.87 MJ. ha^{-1}, respectively. Meanwhile, the output energy in these systems was 142590 and 277380 MJ. ha^{-1}, revealing a higher net energy gain in Forage corn cultivation. The energy ratio for grain corn and Forage was 4.75 and 11.38, respectively. The largest share of environmental emissions, such as global warming and human health damages, was associated with chemical nitrogen fertilizers and diesel fuel. Additionally, grain corn, with its higher input consumption, contributed more to damages to human health, the environment, and resources. To improve the energy ratio and reduce adverse environmental effects, optimizing the use and production of inputs based on precision agriculture and enhancing agricultural performance through integrated and sustainable management should be prioritized.

Cite this article: Shahbazi, N., Majnoun Hosseini, N., & Jahansuz, M.R. (2024). Evaluation of energy and environmental indices with a life cycle approach for the production of corn (grain and forage): A case study in Alborz province. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *55*(3), 181-195. DOI: 10.22059/ijfcs.2024.371290.655059.

© The Authors.
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2024.371290.655059

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

ارزیابی شاخص‌های انرژی و زیست‌محیطی با رویکرد چرخه زندگی برای تولید ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای، مطالعه موردی (استان البرز)

نیما شهبازی[۱] ناصر مجنون حسینی[۲]✉ محمدرضا جهانسوز[۳]

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: nima.shahbazi@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: mhoseini@ut.ac.ir

۳. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: jahansuz@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:
سوخت دیزلی،
کود شیمیایی،
گرمایش جهانی،
لایه اوزن،
نسبت انرژی.

چکیده

کشاورزی و تولید محصولات پرمصرف نهاده مثل ذرت بخش قابل توجهی از مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی مخرب را به خود اختصاص داده‌اند. این مطالعه با هدف بررسی شاخص‌های انرژی و زیست‌محیطی و عوامل اثرگذار بر آن‌ها در استان البرز اجرا شد. در این راستا، کلیه نهاده‌های مصرف‌شده در واحد یک هکتار از هر سیستم کشت از مزرعه تحقیقاتی کشت‌شده و دیگر کشاورزان تولیدکننده ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای جمع‌آوری شد. رویکرد این مطالعه ارزیابی چرخه زندگی و روش بر اساس ReCiPe 2016 بود. نتایج نشان داد انرژی ورودی ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای به‌ترتیب ۳۰۰۲۹/۶۳ و ۲۴۳۷۸/۸۷ مگاژول در هکتار بود؛ درحالی‌که انرژی خروجی در این سیستم‌ها به‌ترتیب ۱۴۲۵۹۰ و ۲۷۷۳۸۰ مگاژول در هکتار به‌دست آمد که نشان از افزوده خالص انرژی بالاتر در کشت ذرت علوفه‌ای دارد. نسبت انرژی ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای به‌ترتیب ۴/۷۵ و ۱۱/۳۸ بود. بیشترین سهم در انتشارات زیست‌محیطی همچون گرمایش جهانی و خسارت به سلامت انسان مرتبط با کود شیمیایی نیتروژن و سوخت دیزلی بود. همچنین ذرت دانه‌ای با مصرف نهاده ورودی بالاتر سهم بیشتری در خسارت به سلامت انسان، محیط زیست و منابع را به خود اختصاص داد. جهت بهبود نسبت انرژی و کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی باید بهینه‌سازی مصرف و تولید نهاده‌ها مبتنی بر کشاورزی دقیق و همچنین بهبود عملکرد زراعی از طریق مدیریت تلفیقی و پایدار در دستور کار قرار گیرد.

استناد: شهبازی، ن.، مجنون حسینی، ن.، و جهانسوز، م.ر. (۱۴۰۳). ارزیابی شاخص‌های انرژی و زیست‌محیطی با رویکرد چرخه زندگی تولید ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای، مطالعه موردی (استان البرز). *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۵(۳)، ۱۸۱-۱۹۵.
DOI: 10.22059/ijfcs.2024.371290.655059

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان

۱. مقدمه

در تحقیقات علوم کشاورزی و مدیریت زراعی، هدف اصلی بهبود تولید است که همراه با افزایش کارایی انرژی و ارتقاء بهره‌وری اقتصادی صورت می‌گیرد. در این مسیر، مدیریت بهینه نهاده‌های کاربردی در بخش‌های تولید اهمیت بسیاری پیدا می‌کند، و از طریق اعتماد به راهکارهای مناسب، می‌توان از هدررفت منابع جلوگیری کرد (Javam *et al*., 2020). ارزیابی میزان مصرف و تولید انرژی، ارتقاء جایگاه و تأثیر نهاده‌های ورودی و خروجی در سیستم‌های کشاورزی، در شرایط گوناگون تولید، امکان‌پذیر است. در این بررسی، نه تنها نوع محصول بلکه شیوه مدیریت زراعی نیز به عنوان عوامل کلان تأثیرگذار در کارایی انرژی و پایداری سیستم‌ها مطرح می‌شوند. بنابراین، در هر رویکرد مدیریتی یا زراعی، میزان کارایی انرژی و در نهایت پایداری سیستم ممکن است به شدت متغیر باشد (Jalilian *et al*., 2023). بهبود بهره‌وری مصرف انرژی و بهره‌گیری بهینه از منابع انرژی، یک راهبرد کلان در کاهش زیان‌های زیست‌محیطی ناشی از استفاده از انرژی در فرآیند تولید مواد غذایی است. این رویکرد نه تنها باعث صرفه‌جویی مالی می‌شود، بلکه نقش مهمی در حفظ منابع فسیلی و کاهش آلودگی هوا ایفا می‌کند (Jalilian *et al*., 2023; Mousavi-Avval *et al*., 2011) به این دلیل تحقیقات بسیاری از محققان به سمت مدیریت انرژی معطوف می‌باشد. استفاده ناپایدار از نهاده‌های کشاورزی، از جمله افزودن بیش از حد کودهای شیمیایی، سموم، و سوخت‌های فسیلی مانند گازوئیل، می‌تواند عواقب جدی بر محیط زیست داشته باشد. این شامل افزایش گرمایش جهانی، کاهش تنوع زیستی، و تخریب کیفیت خاک و هوا می‌شود. به منظور حفظ تعادل زیست‌محیطی، ضروری است که مدیریت صحیح و پایدار نهاده‌های کشاورزی به‌عنوان یک قدم اساسی در مسیر توسعه پایدار مورد توجه قرار گیرد (Mostashari-Rad *et al*., 2021). ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای جایگاه ویژه‌ای در سیستم تناوبی با سایر گیاهان زراعی دارند، به همین دلیل از دو منظر انرژی و زیست‌محیطی نیز دارای اهمیت ویژه ای می‌باشند. همچنین در کشور نیز به‌دلیل کاربرد در مصارف خوراکی و دامی از اهمیت بالایی برخوردار هستند.

استان البرز با ۰/۳ درصد از سطح برداشت محصولات زراعی کشور کمترین میزان سطح برداشت شده را نسبت به دیگر استان‌های ایران به خود اختصاص داده است. البرز همچنین سهم ۱/۱ درصدی از کل میزان تولید محصولات زراعی (۹۱۹/۰۷۸ هزار تن) را دارد که در جایگاه ۲۶ کشور قرار دارد. از محصولات مورد کشت این استان ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای می‌باشند که با توجه به شرایط اکولوژیکی استان البرز از عملکرد قابل توجهی برخوردار می‌باشند. سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای در ایران ۱۳۷/۸۸۲هزار هکتار می‌باشد و استان البرز با ۶۰ هکتار جزء استان‌های با سطح زیر کشت پایین می‌باشد (Statistics of Jahad Keshavarzi, 2019). سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای در ایران ۲۱۹/۲۱۰ هزار هکتار می‌باشد و استان البرز با ۸/۴۰۵ هزار هکتار جزء استان‌های با سطح زیر کشت قابل توجه می‌باشد (Statistics of Jahad Keshavarzi, 2019). در سطح استان البرز بالاترین سطح زیر کشت در شهرستان‌های کرج، نظرآباد و ساوجبلاغ می‌باشد (Statistical Yearbook of Alborz Province, 2015). همچنین سطح زیر کشت ذرت در دنیا ۲۰۳ میلیون هکتار می‌باشد که از این سطح ۱/۱۶۳ میلیارد تن عملکرد برداشت می‌شود (FAO, 2022).

ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی چهار رقم ذرت بر اساس مصرف کود نیتروژن با استفاده از ارزیابی چرخه زندگی نشان می‌دهد که در تولید یک تن ذرت رقم محلی با مصرف ۵۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار، بالاترین شاخص زیست‌محیطی (۱/۵۳) و شاخص تخلیه منابع (۱/۱۱) به‌دست آمده است. این نتایج نشان‌دهنده تأثیر مستقیم میزان مصرف کود نیتروژن بر پارامترهای زیست‌محیطی و مصرف منابع در فرآیند تولید ذرت محلی می‌باشد. کم‌ترین مقدار شاخص زیست‌محیطی (۰/۳۹) و شاخص تخلیه منابع (۰/۴۵) نیز در تیمار مصرف ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره در تولید یک تن رقم KSC 647 مشاهده شد. در این مطالعه هرچند بین تیمارهای مختلف نیتروژن تفاوتی از لحاظ عملکرد ذرت وجود نداشت، اما انتخاب رقم برتر (KSC 647) از لحاظ عملکرد با کاهش مصرف نیتروژن باعث کاهش آسیب به محیط زیست شد (Sadeghi & Noorhosseini, 2020). بررسی ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) در خراسان جنوبی نشان داد که تأثیرات زیست‌محیطی ناشی از تولید ذرت علوفه‌ای در منطقه بیشترین ارتباط را با شاخص سلامتی انسان دارا بوده و سپس شاخص‌های تغییرات اقلیم و مصرف منابع در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند (Esfahani *et al*., 2018). بررسی دیگری نشان داد که بیشترین سهم نظام تولیدی ذرت به‌ترتیب برای گروه‌های مؤثر

اسیدی‌شدن (۲/۵۹) و تغییر اقلیم (۰/۶۱) حاصل شد. بدین‌ترتیب، با توجه به نتایج و به‌منظور کاهش اثرات زیست‌محیطی نظام تولید ذرت چنین به نظر می‌رسد که می‌توان از روش‌های مختلف مدیریت نظام زراعی همچون کاربرد نهاده‌های آلی، تناوب، گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن و خاک‌ورزی حداقل بر مبنای بهره‌گیری از اصول کم‌نهاده برای کاهش این اثرات زیست‌محیطی بهره جست (Khoramdel *et al*., 2017). لذا با توجه به بررسی‌های انجام‌شده و همان‌طور که پیشتر گفته شد با توجه به جایگاه ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای در مصارف خوراکی و دامی کشور و جایگاه آن در سیستم تناوبی با سایر گیاهان زراعی و در نهایت ضرورت بررسی و مقایسه اثرات زیست‌محیطی و انرژی تولید این محصولات زراعی در استان البرز، تحقیق حاضر با هدف ارزیابی شاخص‌های زیست‌محیطی و انرژی دو گیاه تابستانه ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای اجرا شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

این آزمایش در مزرعه آموزشی– پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در شهرستان کرج در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. مشخصات جغرافیایی این تحقیق در ارتفاع از سطح دریا ۱۳۲۱ متر، طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی بود. بر اساس گزارش ایستگاه هواشناسی، این منطقه دارای آب‌وهوای سرد و خشک می‌باشد و میانگین ۳۰ ساله بارندگی آن حدود ۲۵۰ میلی‌متر است. طرح آزمایشی مورد استفاده به‌صورت یک مزرعه شاهد نسبت به منطقه بود. به‌طوری‌که براساس الگوی کشت منطقه و مدیریت زراعی آن، دو گیاه ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای در سطح زیر کشت ۵۰۰ متر مربع کشت شد. تمامی مراحل کاشت، داشت و برداشت براساس شیوه کشت منطقه و رقم ذرت مورد استفاده ۷۰۴ بود. همچنین سطوح کودی در ذرت دانه‌ای ۵۰۰ کیلوگرم اوره و در ذرت علوفه‌ای ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره می‌باشد. میزان استفاده از سوپر فسفات هم ۱۵۰ و ۱۰۰کیلوگرم در هکتار در کشت دانه‌ای و علوفه‌ای بود. تراکم ذرت دانه‌ای ۷۵ هزار بوته در هکتار و تراکم کاشت ذرت علوفه‌ای ۱۲۰ هزار بوته در هکتار بود. کلیه نهاده‌های مصرفی در هر دو کشت به‌طور میانگین از جامع آماری مورد بررسی در جدول ۱ قابل مشاهده است.

جدول ۱. نهاده‌های مصرف‌شده در کشت ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای واحد هکتار.

Inputs	Unit	Grain	Forage
Human labor	h ha $^{-1}$	360	290
Machinery	h ha $^{-1}$	9.4	7
Diesel fuel	L ha^{-1}	140	85
Nitrogen	kg ha^{-1}	230	207
Phosphate	kg ha^{-1}	70	46
Potassium (K2O)	kg ha^{-1}	65	50
Micronutrients	kg ha^{-1}	8	5
Manure	kg ha^{-1}	6000	6000
Chemical biocides	L ha^{-1}	5	4
Seed	kg ha^{-1}	25	35
Output	kg ha^{-1}	9700	67000

در گیاه ذرت تقسیط هر سطح نیتروژن به‌صورت یک‌سوم در مرحله دو برگی، یک‌سوم در مرحله شش‌برگی (ابتدای رشد طولی ساقه) و یک‌سوم در زمان ظهور گلتاجی بود. آبیاری و کنترل علف‌های هرز نیز مطابق کشت مرسوم منطقه انجام شد. با توجه به مطابقت نتایج کشت مزرعه‌ای با کشت مرسوم منطقه و همچنین ارائه راهکارهای زراعی در زمینه اثرات زیست‌محیطی در مبحث ارزیابی چرخه حیات (LCA) صفات عملکردی ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای در پایان فصل اندازه‌گیری شد. نمونه‌های برداشتی از دو گیاه ذرت علوفه‌ای و دانه از سطح پنج متر مربع و در سه تکرار انجام شد. کشت به‌صورت مکانیزه و توسط ردیف‌کار خطی بود. آبیاری نیز با توجه به نیاز گیاهی و مطابق با الگوی آبیاری مزرعه تحقیقاتی انجام شد. در هر مرحله با توجه به جمع‌آوری اطلاعات میدانی از مزارع استان، سعی شد مطابق با الگوی کشت منطقه تمامی مراحل اجرا شود. همچنین اطلاعات مورد نیاز در کشت ذرت

علوفه‌ای از سطح ۸۰ هکتار اراضی زراعی مورد کشت در مزرعه دانشکدگان کشاورزی نیز به عنوان یکی از تولیدکنندگان بزرگ البرز جمع‌آوری شد.

جدول ۲. ضرایب انرژی ورودی و خروجی در کشت ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای.

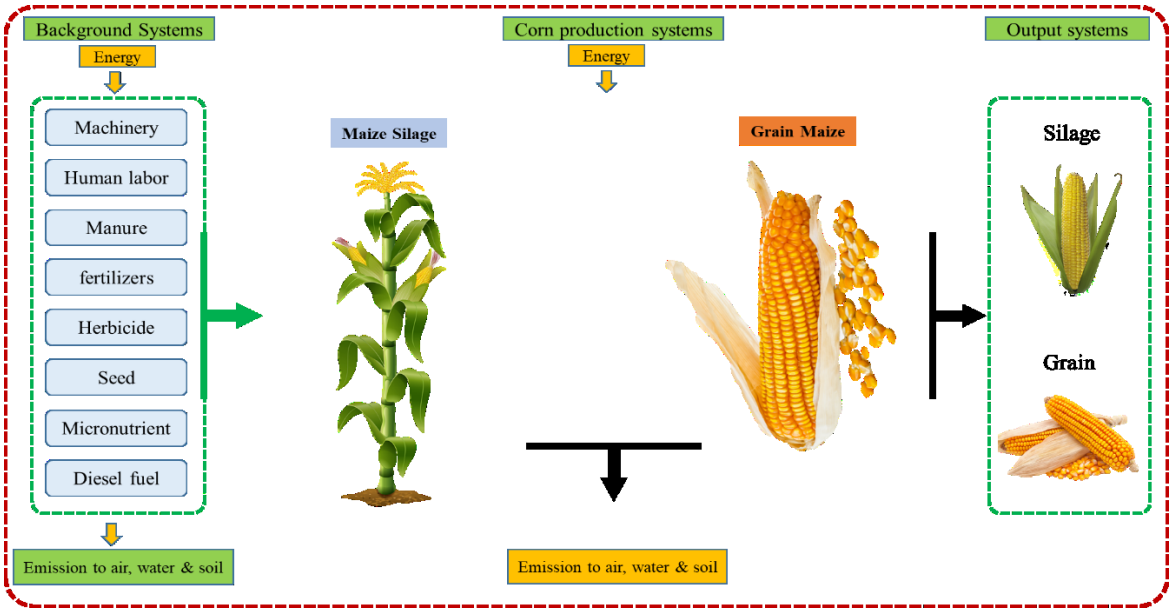
Inputs	Unit	Coefficient equivalent (MJ unit^{-1})	Reference
Human labor	h	1.96	(Kaab *et al*., 2019)
Machinery	h	62.70	(Ghasemi-Mobtaker *et al*., 2020)
Diesel fuel	L	56.31	(Nabavi-Pelesaraei *et al*., 2018)
Nitrogen	kg	66.14	(Nabavi-Pelesaraei *et al*., 2018)
Phosphate	kg	12.44	(Nabavi-Pelesaraei *et al*., 2018)
Potassium (K_2O)	kg	11.15	(Nabavi-Pelesaraei *et al*., 2018)
Micronutrients	kg	120	(Hesampour, Hassani, *et al*., 2022)
Manure	kg	0.30	(Tuti *et al*., 2012)
Herbicide	kg	238	(Kaab et al., 2019)
Insecticide	kg	101	(Ozkan *et al*., 2004)
Maize Grain Seed	kg	14.7	(Zahedi *et al*., 2015)
Maize Forage Seed	kg	15.7	(Mohammadzadeh *et al*., 2018)
Output			
Grain Seed	kg	14.7	(Mohammadzadeh *et al*., 2018)
Maize Forage	kg	4.14	(Mohammadzadeh *et al*., 2018)

نتایج به‌دست‌آمده در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تهران و همچنین جمع‌آوری کلیه اطلاعات مورد نیاز آماری مراحل کاشت، داشت و برداشت ذرت علوفه‌ای و دانه جهت ارزیابی شاخص‌های انرژی و اثرات زیست‌محیطی در شرایط آب و هوایی استان البرز مورد بررسی قرار گرفت. نهاده‌های مورد استفاده در تولید محصول در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد. برای تعیین میزان انرژی معادل نهاده‌ها و ستانده‌ها از ضرایب انرژی متناظر هر یک استفاده می‌شود. بنابراین، انرژی معادل نهاده‌های بذری، کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی، نیروی انسانی، سوخت دیزل و الکتریسیته مصرفی از ضرب میزان مصرف هر یک از آن‌ها در ضریب انرژی ویژه آن نهاده طبق رابطه (۱) به‌دست می‌آید:

$$E_{input} = I_{consumption} \times ec_{input} \quad (۱)$$

که در آن E_{input} انرژی معادل نهاده‌های مصرفی برحسب مگاژول، $I_{consumption}$ میزان نهاده مصرفی (نیروی انسانی، سوخت دیزل و ...) برحسب واحد آن و واحد ec_{input} محتوای انرژی نهاده برحسب مگاژول بر واحد می‌باشد. جهت بررسی میزان انرژی مصرف‌شده و تولیدشده در فرآیند تولید محصول شاخص‌های مختلفی استفاده می‌شود که با استفاده از این شاخص‌ها امکان شناخت جامع از وضعیت انرژی در کشاورزی امکان‌پذیر می‌باشد، این شاخص‌ها شامل نسبت انرژی[1]، بهره‌وری انرژی[2]، انرژی ویژه[3]افزوده خالص انرژی[4] طبق روابط (۲ تا ۵) محاسبه شد (Sefeedpari *et al*., 2013; Zarei Shahamat *et al*., 2013; Kalhor *et al*., 2016).

1.Energy Ratio (ER)
2. Energy Productivity (EP)
3.Specific Energy (SE)
4.Net Energy Gain (NEG)



شکل ۱. مرز سامانه مورد مطالعه تولید کشت ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای.

جدول ۳. شاخص‌های انرژی در کشت ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای.

Index	Unit	Formula
2- Energy Ratio	Ratio	Output energy (MJ ha^{-1}) / Input energy (MJ ha^{-1})
3- Energy Productivity	kg MJ^{-1}	Yield (kg ha^{-1}) / Input energy (MJ ha^{-1})
4- Specific Energy	MJ kg^{-1}	Input energy (MJ ha^{-1}) / Yield (kg ha^{-1})
5- Net Energy Gain	MJ ha^{-1}	Output energy (MJ ha_{-1}) - Input energy (MJ ha_{-1})

با استفاده از ارزیابی چرخه زندگی در این پژوهش همان‌طور که پیشتر گفته شد به بررسی اثرات زیست‌محیطی پرداخته می‌شود که عبارت است از گردآوری و ارزیابی ورودی‌ها، خروجی‌ها و تأثیرات زیست‌محیطی بالقوه در یک فرآیند تولیدی در طول چرخه زندگی آن محصول (ISO, 2006). به‌عبارت دیگر، در یک پروژه ارزیابی چرخه زندگی تمام فرآیندهای تولید یک محصول از مرحله استخراج مواد اولیه تا دفع پسماندهای باقی‌مانده از مصرف آن محصول (گهواره تا گور) مورد بررسی قرارگرفته و نتایج حاصل ازآن جهت کاهش تأثیرات مخرب زیست‌محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق واحد کارکردی یک هکتار محصول تولیدی ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای می‌باشد که نشان‌دهنده تمام آلاینده‌های تولید و منتشرشده بر اساس نهاده‌های مصرف‌شده برای تولید این میزان از محصول مورد ارزیابی می‌باشد. یکی از اقدامات مهم و الزامی در مرحله تعیین هدف و دامنه، انتخاب مرز سامانه است. اهمیت موضوع زمانی مشخص می‌شود که بدانیم مشکلات زیست‌محیطی سامانه‌های کشاورزی حتی پس از برداشت محصول و در طول فرآیندهای پس از برداشت نیز می‌توانند ادامه داشته باشند (Khoshnevisan *et al*., 2013). مرز سامانه مورد مطالعه در این تحقیق مطابق با شکل ۱ می‌باشد.

روش محاسبه اثرات زیست‌محیطی تولید محصول بر اساس روش ReCiPe 2016 انتخاب شد (Mostashari-Rad *et al*., 2020). با استفاده از این روش، سه نقطه نهایی سلامت انسان، منابع و اکوسیستم‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت. سلامت انسان با واحد (DALY) یا در واقع یک خسارت برابر است با فقدان یک سال زندگی یک نفر، یا یک نفر چهار سال از زندگی خود را با معلولیت ۲۵ درصد طی کند می‌باشد. اکوسیستم با واحد (species.yr) نشان از ناپدیدشدن همه گونه‌ها از یک متر مربع در طول یک سال می‌باشد. واحد منابع نیز (USD 2013) می‌باشد که نشان از ارزش اقتصادی منابع بر حسب دلار می‌باشد. این روش ۱۷ نقطه میانی (Midpoint) دارد. در پایان این بخش با بی‌بعدکردن هر سه شاخص و جمع آن‌ها شاخص آسیب وزن‌دهی شده (Total weighted damage) به‌دست خواهد آمد که این مقدار نماینده بخش LCA می‌باشد. به‌منظور انجام محاسبات ارزیابی چرخه زندگی از نرم‌افزار SimaPro V. 9.5 و همچنین جهت نگارش و رسم اشکال نیز از نرم‌افزار آفیس استفاده شد.

۳. نتایج پژوهش و بحث

۳-۱. انرژی ورودی و خروجی سیستم‌های کشت ذرت

نتایج بررسی میزان انرژی ورودی و خروجی سیستم‌های کشت ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای نشان داد مقدار مصرف نهاده‌های نیروی انسانی، ماشین‌آلات، سوخت‌های دیزلی، کودهای شیمیایی و ریزمغذی‌ها در کشت ذرت دانه‌ای بیشتر از کشت ذرت علوفه‌ای بود (جدول ۴). همچنین نتایج نشان داد مقدار نهاده بذر برای کشت ذرت علوفه‌ای بیشتر از کشت ذرت دانه‌ای می‌باشد که این امر به‌دلیل معادل انرژی بالاتر آن بود (جدول ۱). انرژی لازم برای نهاده نیروی کار به‌ترتیب برای دو محصول ذرت علوفه‌ای و ذرت دانه‌ای ۵/۵۶۸ و ۶/۷۰۵ مگاژول بر هکتار می‌باشد که ۱۳/۲۴ درصد برای ذرت دانه‌ای بیشتر از ذرت علوفه‌ای می‌باشد که این افزایش به‌دلیل طول دوره رشد طولانی‌تر آن می‌باشد (جدول ۴). همچنین انرژی لازم برای ماشین‌آلات به‌ترتیب برای دو محصول ذرت علوفه‌ای و ذرت دانه‌ای ۹/۴۸ و ۳۸/۵۸۹ مگاژول بر هکتار می‌باشد که برای ذرت دانه‌ای ۲۸/۳۴ درصد بیشتر بوده که تفاوت آن به‌دلیل طول دوره و میزان کوددهی و محلول پاشی عناصر ریزمغذی در دوره پرکردن دانه بود (جدول ۴). بررسی مصرف سوخت دیزلی کشت ذرت علوفه‌ای و دانه‌ای به‌ترتیب ۳۵/۴۷۸۶ و ۴/۷۸۸۳ مگاژول بر هکتار بود که ۷۰/۶۴ درصد مصرف انرژی بالاتر ذرت دانه‌ای مرتبط با ساعت کاری بیشتر ماشین‌آلات بوده است (جدول ۴).

ذرت دانه‌ای به‌دلیل مصرف بالاتر کودهای شیمیایی نسبت به ذرت علوفه‌ای، ۲۱/۱۵ درصد انرژی مصرفی بالاتری دارد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که ذرت دانه‌ای نسبت به ذرت علوفه‌ای، ۱۷/۲۳ درصد انرژی ورودی بالاتری دارد؛ درحالی‌که انرژی خروجی ذرت علوفه‌ای ۵۲/۹۴ درصد بالاتر بود که نشان‌دهنده عملکرد وزنی بالاتر در سطح نسبت به عملکرد ذرت دانه‌ای است (جدول ۴). انرژی خروجی رابطه مستقیم با میزان عملکرد و ضریب انرژی آن دارد؛ ازاین رو عملکرد علوفه تر با توجه به مقدار قابل توجه آن موجب انرژی خروجی بالاتر کشت علوفه‌ای می‌شود. بررسی دیگری نشان داد انرژی خروجی ذرت بیشتر از انرژی ورودی آن بوده و بین سیستم‌های کشت ذرت تفاوت معنی‌داری وجود دارد (Afzali Gorouh *et al*., 2021). بررسی انرژی مصرف‌شده تولید بادام‌زمینی در استان گیلان نشان داد میزان کل انرژی نهاده‌ها و انرژی ستانده در تولید محصول بادام‌زمینی به‌ترتیب در حدود ۱۹۲۴۸ و ۸۷۲۱۰ مگاژول بر هکتار با کارایی ۵۳/۴ بوده و بیشترین میزان مصرف نهاده‌ها به کودهای شیمیایی (۴۵٪) تعلق داشت (Nabavi-Pelesaraei *et al*., 2022). بررسی‌های تولید خیار گلخانه‌ای نشان داد به ازای هر تن تولید ۴۵/۶۶۲۶ مگاژول انرژی مصرف شد که جهت کاهش این مقدار با افزایش کارایی فرآیند تولید محصول میزان انرژی ورودی ۸۰/۱۴ درصد کاهش یافت (Hesampour Taki *et al*., 2022). در ارزیابی مصرف انرژی در تولید پنبه در استان گلستان مشخص شده است که ۳۰ درصد از کل انرژی غیر مستقیم برای تولید کود نیتروژن مصرف می‌شود و همچنین ۳۹ درصد از کل انرژی مستقیم به نیروی انسانی اختصاص دارد. این نتایج نقش مهمی را برای مصرف انرژی در مراحل مختلف تولید پنبه، به‌ویژه در تولید کود و نیروی انسانی نشان می‌دهند (Arefi *et al*., 2018).

۳-۲. سهم نهاده‌ها از کل انرژی ورودی برای کشت ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای

نتایج بررسی سهم نهاده‌ها از کل انرژی ورودی برای دو کشت ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای نشان داد که برای ذرت دانه‌ای بیشترین سهم از انرژی ورودی به‌ترتیب با ۱۷/۵۹، ۲۵/۲۶ و ۹۹/۵ درصد متعلق به نهاده‌های کود شیمیایی، سوخت دیزلی و کود دامی می‌باشد. کمترین انرژی ورودی نیز برای این کشت متعلق به نهاده‌های بذر مصرفی، ماشین‌آلات و نیروی انسانی می‌باشد. برای کشت ذرت علوفه‌ای نیز بیشترین میزان سهم انرژی ورودی به‌ترتیب با ۲۵/۶۳، ۶۳/۱۹ و ۳۸/۷ درصد متعلق به نهاده‌های کود شیمیایی، سوخت دیزلی و کود دامی می‌باشد. همچنین کمترین سهم انرژی ورودی نیز مربوط به نهاده‌های ماشین‌آلات، نیروی انسانی و بذر مصرفی است (شکل ۱). نتایج این بخش نشان می‌دهد در جهت کاهش انرژی ورودی کشت ذرت اولویت‌بندی با نهاده‌هایی می‌باشد که سهم عمده‌ای از انرژی ورودی را به خود اختصاص داده‌اند. بررسی بهره‌وری انرژی تولید گندم و کلزا در شهرستان خرمشهر نشان داد میزان انرژی ورودی در یک هکتار مزارع گندم و کلزا مورد مطالعه ۴۱۸۱۰ و ۳۳۵۱۷ مگاژول بود که بیشترین تأثیر را نهاده‌های الکتریسیته، کود نیتروژن و سوخت به خود اختصاص دادند (Khodaei Joghan *et al*., 2022). نتایج تحقیق دیگری بر سیستم‌های کشت بامیه نشان داد بیشترین سهم ورودی مختص به نهاده‌های سوخت دیزلی و کود شیمیایی بود

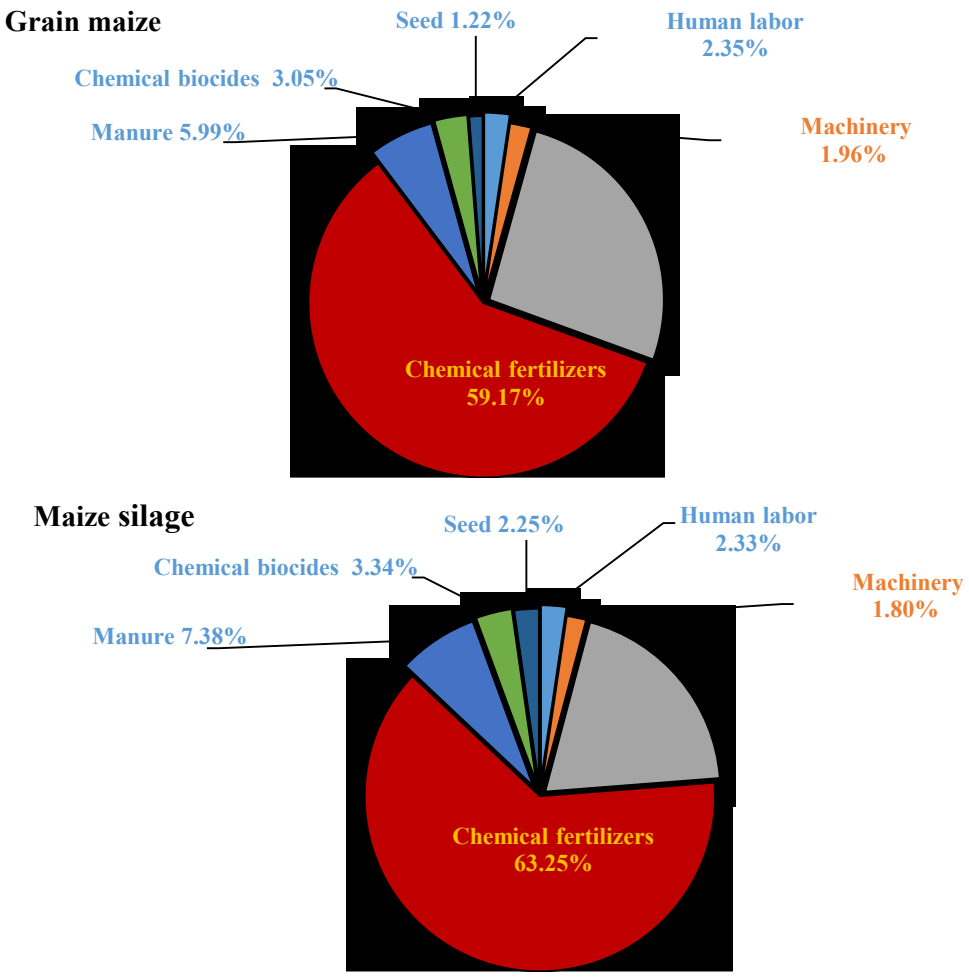
(Jalilian *et al*., 2023) در تحقیق دیگری روی کشت ذرت دانه‌ای در سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی بیشترین سهم به کود شیمیایی، ماشین‌آلات و سوخت دیزلی اختصاص یافت (Afzali Gorouh *et al*., 2021).

جدول ٤. میزان انرژی ورودی و خروجی برای کشت ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای در هکتار.

Inputs	Grain (MJ/ha)	Forage (MJ/ha)
Human labor	705.6	568.4
Machinery	589.38	438.9
Diesel fuel	7883.4	4786.35
Chemical fertilizers	17767.75	15420.72
Nitrogen	15212.2	13690.98
Phosphate	870.8	572.24
Potassium (K2O)	724.75	557.5
Micronutrients	960	600
Manure	1800	1800
Chemical biocides	916	815
Herbicide	714	714
Insecticide	202	101
Seed	367.5	549.5
Inputs Energy	30029.63	24378.87
Output Energy	142590	277380

۳–۳. شاخص‌های انرژی در سیستم‌های کشت ذرت

نتایج ارزیابی شاخص‌های انرژی دو کشت ذرت علوفه‌ای و دانه‌ای نشان داد میزان شاخص نسبت انرژی برای کشت ذرت علوفه‌ای ۳۸/۱۱ و برای کشت ذرت دانه‌ای ۷۵/۴ می‌باشد که ۵۷/۱۳۹ درصد شاخص نسبت انرژی برای کشت ذرت علوفه‌ای بیشتر از ذرت دانه‌ای می‌باشد. نسبت انرژی بیانگر میزان انرژی خروجی به ازای انرژی ورودی می‌باشد که این نسبت با افزایش میزان انرژی خروجی (بیانگر عملکرد بالاتر یک سیستم) یا کاهش انرژی ورودی آن بهبود می‌یابد. بررسی شاخص بهره‌وری انرژی که نشان‌دهنده کیلوگرم محصول تولیدشده به ازای مگاژول انرژی ورودی می‌باشد نشان داد که این شاخص برای ذرت علوفه‌ای ۷۵/۲ و برای ذرت دانه‌ای ۳۲/۰ کیلوگرم بر مگاژول می‌باشد که ۳۷/۷۵۹ درصد ذرت علوفه‌ای از ذرت دانه‌ای برای این شاخص بیشتر می‌باشد. کاهش انرژی ورودی و همچنین افزایش عملکرد در واحد سطح می‌تواند این شاخص را بهبود بخشد که این امر برای کشت ذرت علوفه‌ای وجود دارد. شدت انرژی که نشان‌دهنده مقدار انرژی مصرف‌شده جهت تولید محصول می‌باشد نشان داد که این شاخص برای کشت ذرت دانه‌ای بیشتر از ذرت علوفه‌ای است که به‌ترتیب برای ذرت علوفه‌ای و دانه‌ای برابر با مقدار ۳۶/۰ و ۱/۳ مگاژول بر کیلوگرم می‌باشد. ارزیابی شاخص افزوده خالص انرژی نشان داد که مقدار این شاخص به‌ترتیب برای کشت علوفه‌ای و دانه‌ای برابر با ۱/۲۵۳۰۰۱ و ۴/۱۱۲۵۶۰ مگاژول بر کیلوگرم بود. نتایج نشان داد که مقدار این شاخص نیز برای کشت علوفه‌ای ۷۶/۱۲۴ درصد بیشتر از کشت ذرت دانه‌ای بود که این امر به‌دلیل عملکرد بالاتر ذرت علوفه‌ای نسبت به عملکرد دانه ذرت می‌باشد. مقدار انرژی مستقیم (ناشی از فعالیت در مزرعه) به‌ترتیب برای کشت ذرت علوفه‌ای و دانه‌ای برابر ۷۵/۵۳۵۴، ۸۵۸۹ و مقدار انرژی غیر مستقیم (ناشی از تولید در خارج از مزرعه همچون کود شیمیایی) نیز به‌ترتیب برابر ۱۲/۱۹۰۲۴ و ۶۳/۲۱۴۴۰ بود.



شکل ۱. سهم نهاده‌ها از کل انرژی ورودی در کشت ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای.

نتایج نشان داد برای هر دو شاخص انرژی مستقیم و غیر مستقیم برای کشت ذرت دانه‌ای بیشتر می‌باشد. مقدار انرژی تجدید پذیر به‌ترتیب برای کشت علوفه‌ای و دانه‌ای برابر با ۹/۱۱۱۷ و ۱/۱۰۷۳ بود. مقدار انرژی تجدیدناپذیر برای دو کشت علوفه‌ای و دانه نیز به‌ترتیب برابر با ۹۷/۲۳۲۶۰ و ۵۳/۲۸۹۵۶ می‌باشد که مقدار ۴۸/۲۴ درصد برای کشت ذرت دانه‌ای بیشتر می‌باشد. بررسی بهره‌وری انرژی تولید گندم و کلزا در شهرستان خرمشهر نشان داد کارایی مصرف انرژی برای گندم ۳۲/۱ و کلزا ۱۵/۲ به‌دست آمد (Khodaei Joghan *et al.*, 2022). مقایسه شاخص‌های انرژی گندم و زعفران نشان داد بهره‌وری انرژی برای زعفران و گندم به‌ترتیب ۰۰۰۰۱۹/۰ و ۰۹۷/۰ کیلوگرم به ازای مگاژول انرژی می‌باشد، بالاترین سهم از انرژی ورودی به مزارع گندم کود نیتروژن و سوخت و برای زعفران بنه و الکتریسته بود (Khorramdel *et al.*, 2020). بررسی شاخص‌های انرژی‌های ذرت دانه‌ای در سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی نیز نشان داد بیشترین بازده انرژی و افزوده خالص انرژی از سیستم کم‌خاک‌ورزی با دیسک به‌دست آمد (Afzali Gorouh *et al.*, 2021).

جدول ۵. شاخص‌های انرژی مورد محاسبه برای کشت ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای.n

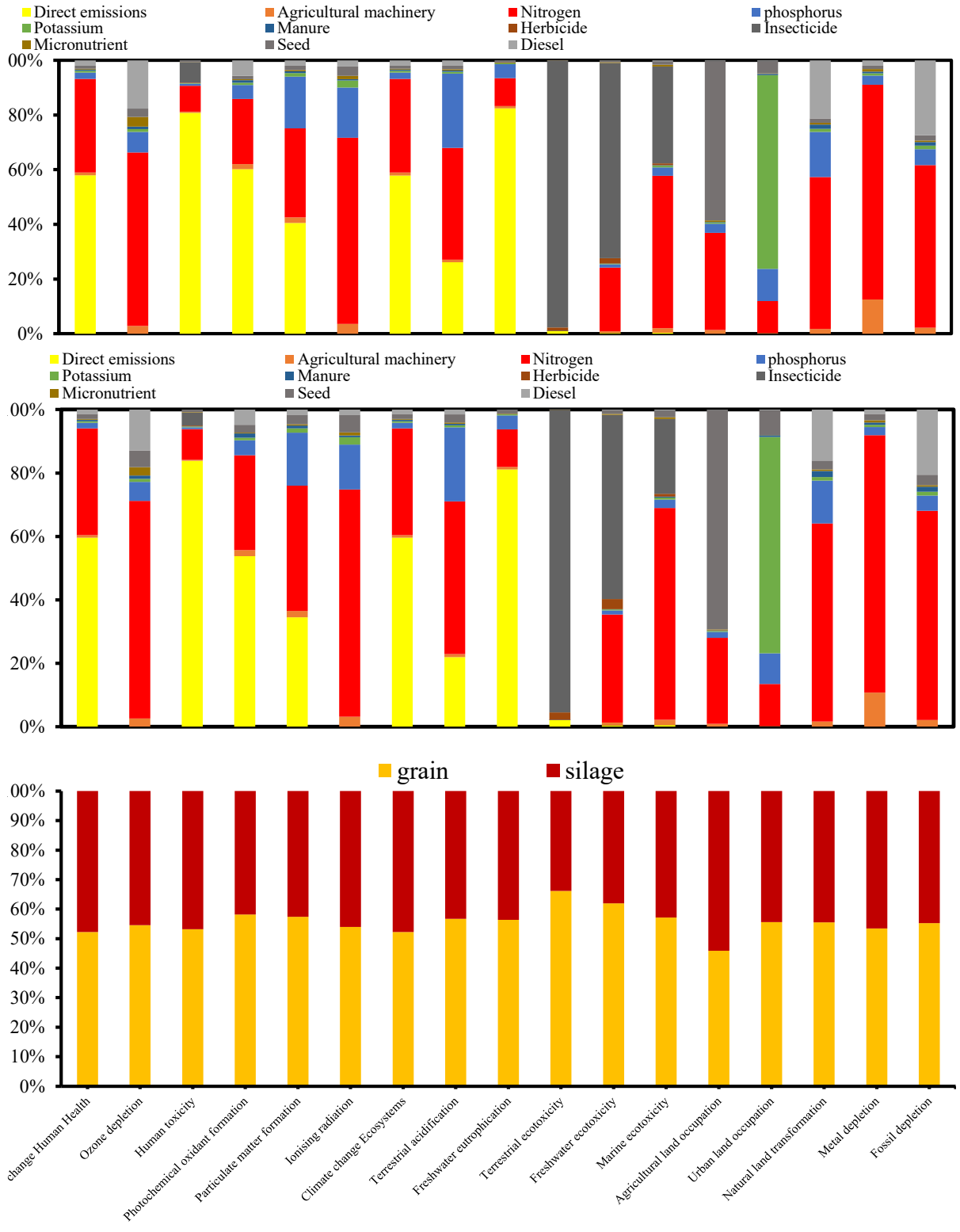
Index	Unit	Grain	Forage
Energy Ratio	Ratio	4.75	11.38
Energy Productivity	kg MJ^{-1}	0.32	2.75
Specific Energy	MJ kg^{-1}	3.10	0.36
Net Energy Gain	MJ ha^{-1}	112560.37	253001.13
Direct energy	MJ ha^{-1}	8589	5354.75
Indirect energy	MJ ha^{-1}	21440.63	19024.12
Renewable energy	MJ ha^{-1}	1073.1	1117.9
Non-renewable energy	MJ ha^{-1}	28956.53	23260.97

۳-۴. ارزیابی شاخص‌های زیست‌محیطی ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای

نتایج این بررسی در شاخص‌های میانی روش ReCiPe 2016 نشان داد در کشت ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای سهم انتشارات مستقیم ناشی از فرآیند تولید نهاده‌های ورودی به سیستم در انتشار آلاینده‌های تغییرات اقلیمی، سمیت انسان، تغیر اکوسیستم، اوتروفیکاسیون آب‌های شیرین بیشتر از انتشارات غیر مستقیم ناشی از مصرف نهاده‌ها در مزرعه می‌باشد (شکل ۲). همچنین در دیگر شاخص‌های میانی همچون تخریب لایه ازن، دگرگونی طبیعی زمین و تخلیه منابع فسیلی سهم نهاده‌های کود شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاس به همراه سوخت دیزلی بیشتر از دیگر نهاده‌ها بود (شکل ۲). در مقایسه دو سیستم کشت ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای، نتایج نشان داد کشت ذرت دانه‌ای سهم بیشتری از ایجاد آلودگی نسبت به کشت ذرت علوفه‌ای دارد (شکل ۲). استفاده از نهاده‌های شیمیایی، سوخت دیزلی و ... بیشتر در کشت ذرت دانه‌ای نقش موثری در افزایش میزان آلاینده‌های زیست‌محیطی ذرت دانه‌ای نسبت به ذرت علوفه‌ای دارد (شکل ۲).

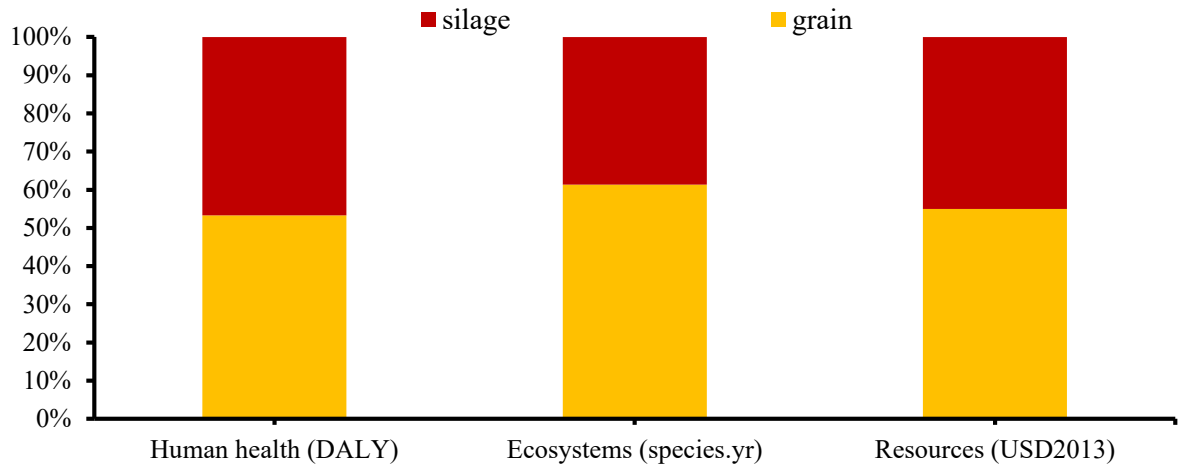
نتایج حاصل از بررسی سهم هر نوع کشت از میزان آلایندگی در شاخص‌های نهایی نشان داد که در هر سه شاخص سلامت انسان، اکوسیستم و منابع کشت ذرت دانه‌ای سهم بیشتری از آسیب و آلودگی را ایجاد می‌کند. برای شاخص سلامت انسان، ۵۳/۲۷ درصد سهم ذرت دانه‌ای و ۴۶/۷۳ درصد سهم ذرت علوفه‌ای می‌باشد. برای شاخص اکوسیستم، ۶۱/۳۳ درصد سهم ذرت دانه‌ای و ۳۸/۶۷ درصد سهم ذرت علوفه‌ای می‌باشد و برای شاخص منابع نیز ۵۴/۹۹ درصد سهم ذرت دانه‌ای و ۴۵/۰۱ درصد سهم ذرت علوفه‌ای بود (شکل ۳). بررسی شاخص‌های نرمال‌سازی‌شده نشان می‌دهد که در هر نوع کشت کدام شاخص‌ها بیشترین آسیب را متحمل شده‌اند. نتایج نشان داد که در هر دو نوع کشت بیشترین آسیب واردشده ابتدا شاخص سلامت انسان، سپس شاخص منابع و در آخر شاخص اکوسیستم را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

اما نکته‌ای که قابل توجه می‌باشد این است که مقدار آسیب واردشده به هر سه شاخص در کشت ذرت دانه‌ای بیشتر از کشت ذرت علوفه‌ای می‌باشد (شکل ۴). این امر به‌دلیل مصرف بالاتر نهاده‌های شیمیایی و سوخت دیزلی می‌باشد. بررسی وزن‌دهی شاخص‌ها نیز نشان داد همچون بخش نرمال‌سازی، بیشترین میزان خسارت به شاخص سلامت انسان، سپس شاخص منابع و در نهایت شاخص اکوسیستم مرتبط بوده و همچنین بیشترین سهم نیز مربوط به کشت ذرت دانه‌ای می‌باشد. همچنین در بخش کل میزان آسیب به شاخص‌ها نیز کشت ذرت دانه‌ای بالاترین تاثیر را داشته است (شکل ۵). ذرت دانه‌ای با طول دوره بیشتر نسبت به ذرت علوفه‌ای مدت زمان بیشتری زمین را اشغال می‌کند، همچنین نیروی کارگری، نهاده شیمیایی و سوخت دیزلی بیشتری نیز نسبت به ذرت علوفه‌ای دارد، ازاین‌رو در شاخص‌های زیست‌محیطی اثرگذاری منفی بالاتری دارد. نتایج تحقیق دیگری نشان داد بیشترین اثرگذاری کشت ذرت روی شاخص‌های سمیت زیستی و پتانسیل گرمایش جهانی می‌باشد، همچنین کود نیتروژن بالاترین سهم را در ایجاد آلاینده‌های زیست‌محیطی به خود اختصاص داد (Mirzaei *et al*., 2022). نتایج اثرات زیست‌محیطی تولید بامیه و خیار نیز نشان داد کودهای شیمیایی و سوخت دیزلی بیشترین اثرگذاری را بر شاخص‌های زیست‌محیطی دارند (Jalilian *et al*., 2023).

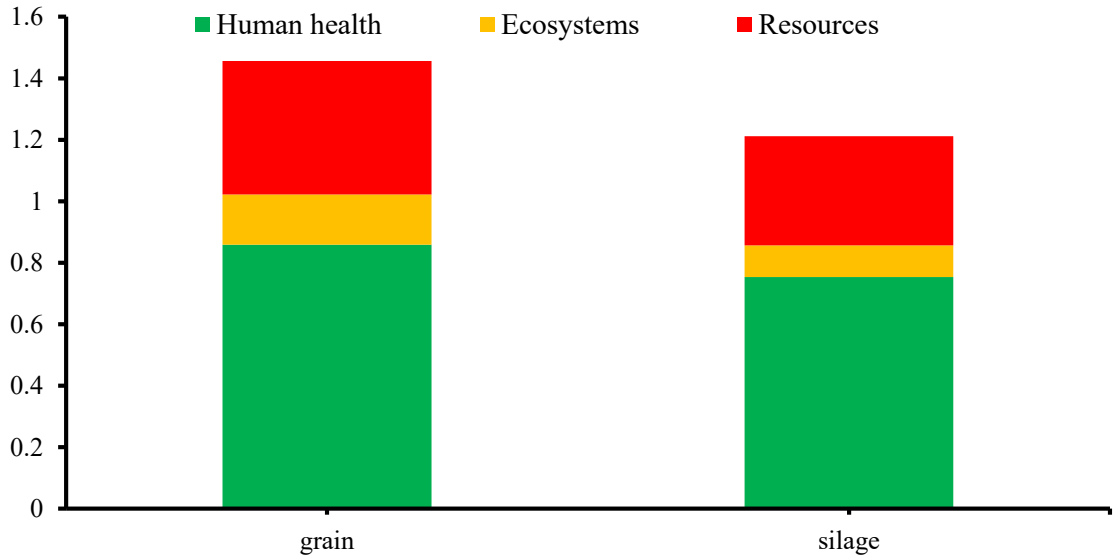


شکل ۲. شاخص‌های میانی برای کشت ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای.

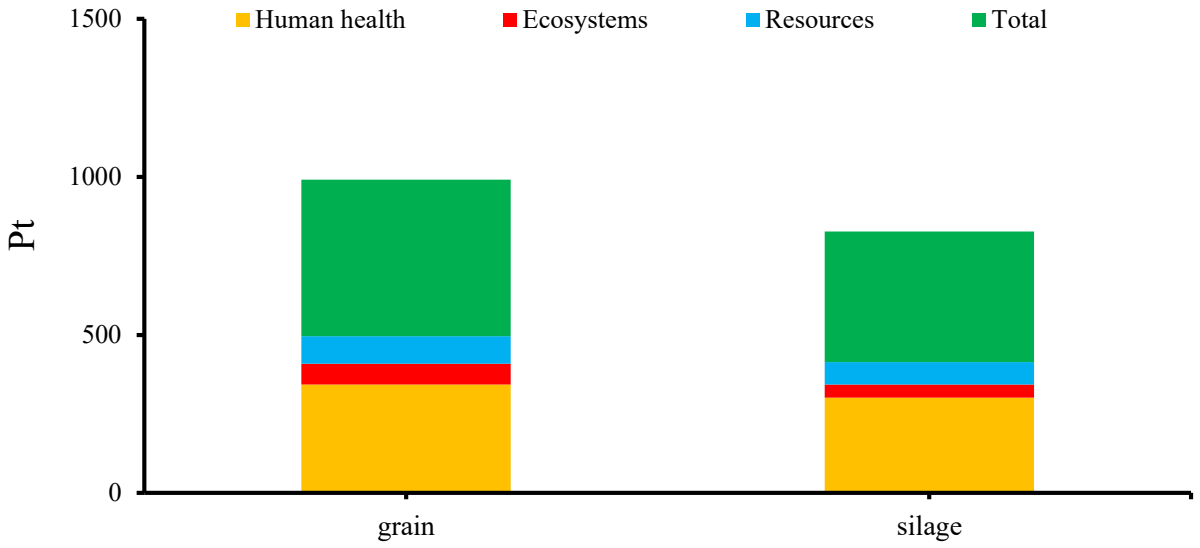
بررسی اثرات زیست‌محیطی تولید ذرت و گندم نشان داد بیشترین سهم از تولید آلاینده‌ها به کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها اختصاص یافت (Fantin *et al*., 2017). تحقیق دیگری نشان داد بیشترین خسارت تولید ذرت بر شاخص میانی خسارت به سلامت انسان می‌باشد و مصرف کودهای شیمیایی بیشترین اثرگذاری را بر این شاخص داشت (Kumar *et al*., 2023). نتایج مقایسه‌ای ذرت دانه‌ای و ذرت شیرین نشان داد به‌طور کلی اثرات زیست‌محیطی تولید ذرت دانه‌ای بیشتر می‌باشد، در این بررسی کودهای شیمیایی بیشترین اثر بر شاخص گرمایش جهانی و آفت‌کش‌ها بیشترین خسارت به شاخص سمیت آب‌های شیرین را نشان دادند (Giusti *et al*., 2023).



شکل ۳. بررسی سهم هر نوع کشت از میزان آلایندگی در شاخص‌های نهایی برای کشت ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای.



شکل ٤. بررسی شاخص‌های نرمال‌سازی برای کشت ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای.



شکل ۵. بررسی وزن‌دهی شاخص‌ها برای کشت ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای.

۴. نتیجه‌گیری

نتایج بررسی شاخص‌های انرژی و زیست‌محیطی کشت ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای در استان البرز نشان داد میزان نسبت انرژی خروجی به ورودی در کشت ذرت علوفه‌ای به‌دلیل عملکرد بالاتر آن در واحد هکتار بالاتر بود. همچنین انرژی ورودی ذرت دانه‌ای نسبت به ذرت علوفه‌ای ۲۳/۱۷ درصد بالاتر بود که بیشترین سهم در انرژی ورودی به کودهای شیمیایی و سوخت دیزلی اختصاص یافت؛ ازاین‌رو با بهینه‌سازی مصرف کودهای شیمیایی از طریق بهبود ماده الی خاک و کاربرد دقیق مبتنی بر نیاز گیاهی و خاک می‌توان موجب بهبود نسبت انرژی خروجی به ورودی شد. شاخص‌های انرژی نیز برتری کشت ذرت علوفه‌ای را نشان دادند که عملکرد بالاتر در واحد هکتار و انرژی خروجی بالاتر از دلایل آن بود. شاخص‌های زیست‌محیطی میانی و نهایی نشان داد خسارت به شاخص‌های زیست‌محیطی همچون گرمایش جهانی و سلامت انسان بیشترین تأثیرپذیری را از کودهایی شیمیایی، سوخت دیزلی و سموم شیمیایی داشت که نشان از اهمیت مصرف بهینه آن در کاهش خسارت‌های زیست‌محیطی دارد؛ این کاهش با کاربرد دقیق نهاده‌ها و مدیریت تلفیقی به‌دست خواهد آمد. ذرت دانه‌ای با مصرف بالاتر این نهاده‌ها نسبت به ذرت علوفه‌ای خسارت زیست‌محیطی بالاتری را ایجاد می‌نماید؛ ازاین‌رو می‌بایست در مدیریت کاشت، داشت و برداشت آن بهینه‌سازی علمی و عملی را اجرا نمود. با این حال اثرات زیست‌محیطی ذرت علوفه‌ای نیز قابل توجه است که این مدیریت در کشت ذرت علوفه‌ای نیز باید در نظر گرفته شود. جهت رسیدن به تولید پایدار از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی می‌بایست کلیه جنبه‌های تولید را در نظر گرفت و در اجرا نیز می‌بایست برنامه طولانی‌مدت داشت.

۵. منابع

Afzali Gorouh, H., Azadshahraki, F., & Shafie, L. (2021). Measurement of energy indices in corn production under different tillage systems. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, *22*(77), 51–68. https://doi.org/10.22092/ERAMS.2020.127145.1322. (In Persian).

Arefi, R., Soltani, A., & Ajamnorozei, H. (2018). Estimation of fuel and energy consumption and indicators of cotton production in Golestan province (Iran). *Journal of Agroecology*, *10*(3), 853–874. https://doi.org/10.22067/jag.v10i3.62349. (In Persian).

Esfahani, S.M.J., Naderi Mahdei, K., Saadi, H., & Dourandish, A. (2018). Evaluate the environmental impact of silage corn production in South Khorasan province. *Journal of Agroecology*, *10*(1), 281–298. https://doi.org/10.22067/jag.v10i1.60850. (In Persian).

Fantin, V., Righi, S., Rondini, I., & Masoni, P. (2017). Environmental assessment of wheat and maize production in an Italian farmers' cooperative. *Journal of Cleaner Production*, *140*, 631–643. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.06.136.

Ghasemi-Mobtaker, H., Kaab, A., & Rafiee, S. (2020). Application of life cycle analysis to assess environmental sustainability of wheat cultivation in the west of Iran. *Energy*, *193*, 116768. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116768.

Giusti, G., Almeida, G.F.D., Apresentação, M.J.D.F.D., Galvão, L.S., Knudsen, M.T., Djomo, S.N., & Silva, D.L. (2023). Environmental impacts management of grain and sweet maize through life cycle assessment in São Paulo, Brazil. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *20*(6), 6559–6574. https://doi.org/10.1007/S13762-022-04418-Y/METRICS.

Hesampour, R., Hassani, M., Hanafiah, M.M., & Heidarbeigi, K. (2022). Technical efficiency, sensitivity analysis and economic assessment applying data envelopment analysis approach: A case study of date production in Khuzestan State of Iran. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *21*(3), 197–207. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.08.003.

Hesampour, R., Taki, M., Fathi, R., Hassani, M., & Halog, A. (2022). Energy-economic-environmental cycle evaluation comparing two polyethylene and polycarbonate plastic greenhouses in cucumber production (from production to packaging and distribution). *Science of the Total Environment*, *828*, 154232. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154232.

Jalilian, A., Jahansouz, M.R., Ghasemi Mobtaker, H., Oveisi, M., & Moghadam, H. (2023a). Evaluation of energy indicators in monoculture, intercropping, and agroforestry systems of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) production in Khuzestan province. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *54*(2), 141–154. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2022.348292.654938. (In Persian).

Jalilian, A., Jahansuz, M.R., Oveisi, M., & Moghadam, H. (2023b). Evaluation of environmental indicators of okra (*Abelmoschus esculentus* L) production in monoculture, intercropping and agroforestry systems in Khuzestan province. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, *12*(1), 95–110. https://doi.org/10.22034/jrmam.2023.13972.602. (In Persian).

Javam, M., Ghasemi Nejad Raeini, M., & Marzban, A. (2020). Economic analysis of okra production systems in Khuzestan province. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, *21*(74), 33–46. https://doi.org/10.22092/ERAMS.2018.121717.1256. (In Persian).

Kaab, A., Sharifi, M., Mobli, H., Nabavi-Pelesaraei, A., & Chau, K. (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. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.004.

Khodaei Joghan, Taki, M., Matoorian, H. (2022). Evaluating energy productivity, greenhouse gas emission, global warming potential and sustainability index of wheat and rapeseed agroecosystems in Khorramshahr. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *32*(1), 309–324. https://doi.org/10.22034/saps.2021.44507.2634. (In Persian).

Khoramdel, S., Shabahang, J., & Amin Ghafouri, A. (2017). Evaluation of environmental impacts for rice agroecosystems using life cycle assessment (LCA). *Iranian Journal of Applied Ecology*, *5*(18), 1–14. https://doi.org/10.18869/ACADPUB.IJAE.5.18.1. (In Persian).

Khorramdel, S., Nassiri Mahallati, M., Latifi, H., & Farzaneh Belgerdi, M.R. (2020). Comparison between energy, environmental and economical indicators of irrigated wheat and saffron agroecosystems in Khorasan-e Razavi province. *Journal of Saffron Research*, *8*(1), 29–54. https://doi.org/10.22077/jsr.2020.2892.1116. (In Persian).

Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M., & 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. https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2013.01.028.

Kumar, R., Bhardwaj, A., Singh, L.P., & Singh, G. (2023). Environmental and economical assessment of maize cultivation in Northern India. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 1–15. https://doi.org/10.1007/S41660-023-00358-3/METRICS.

Mirzaei, M., Gorji Anari, M., Saronjic, N., Sarkar, S., Kral, I., Gronauer, A., Mohammed, S., & Caballero-Calvo, A. (2022). Environmental impacts of corn silage production: Influence of wheat residues under contrasting tillage management types. *Environmental Monitoring and Assessment, 195*(1), 1–20. https://doi.org/10.1007/S10661-022-10675-8.

Mohammadzadeh, A., Vafabakhsh, J., Mahdavi Damghani, A., & Deihimfard, R. (2018). Assessing environmental impacts of major vegetable crop production systems of East Azerbaijan province in Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *64*(7), 967–982. https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1405260.

Mostashari-Rad, F., Ghasemi-Mobtaker, H., Taki, M., Ghahderijani, M., Kaab, A., Chau, K.W., & Nabavi-Pelesaraei, A. (2021). Exergoenvironmental damages assessment of horticultural crops using ReCiPe2016 and cumulative exergy demand frameworks. *Journal of Cleaner Production*, *278*, 123788. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.123788.

Mostashari-Rad, F., Mobtaker, H., Taki, M., Ghahderijani, M., Saber, Z., Chau, K.W., & Nabavi-Pelesaraei, A. (2020). Data supporting midpoint-weighting life cycle assessment and energy forms of cumulative exergy

demand for horticultural crops. *Data in Brief*, *33*, 106490. https://doi.org/10.1016/J.DIB.2020.106490.

Mousavi-Avval, S.H., Rafiee, S., Jafari, A., & Mohammadi, A. (2011). Improving energy use efficiency of canola production using data envelopment analysis (DEA) approach. *Energy*, *36*(5), 2765–2772. https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2011.02.016.

Nabavi-Pelesaraei, A., Pakravan-Charvadeh, M.R., & Ghasemi-Mobtaker, H. (2022). Predicting output energy and greenhouse gas emissions in peanut production: A case study in Astaneh-Ashrafiyeh county of Guilan province. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, *53*(1), 145–168. https://doi.org/10.22059/IJAEDR.2021.306056.668924. (In Persian).

Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S.S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., & Chau, K.W. (2018). Integration of artificial intelligence methods and life cycle assessment to predict energy output and environmental impacts of paddy production. *Science of the Total Environment*, *631–632*, 1279–1294. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.03.088.

Ozkan, B., Akcaoz, H., & Fert, C. (2004). Energy input–output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy*, *29*(1), 39–51. https://doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00135-6.

Sadeghi, S.M., & Noorhosseini, S.A. (2020). Investigating the environmental impacts for four varieties of corn based on nitrogen fertilizer consumption through life cycle assessment (LCA). *Journal of Environmental Science and Technology*, *22*(6), 361–377. https://doi.org/10.22034/JEST.2019.23742.3284.

Tuti, M.D., Prakash, V., Pandey, B.M., Bhattacharyya, R., Mahanta, D., Bisht, J.K., Kumar, M., Mina, B.L., Kumar, N., Bhatt, B.C., & Srivastva, A.K. (2012). Energy budgeting of colocasia-based cropping systems in the Indian sub-Himalayas. *Energy*, *45*(1), 986–993. https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2012.06.056.

Zahedi, M., Mondani, F., & Eshghizadeh, H.R. (2015). Analyzing the energy balances of double-cropped cereals in an arid region. *Energy Reports*, *1*, 43–49. https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2014.11.001.