نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)
جلد هشتم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۳۹۹
شماره صفحه: ٥٤-۲۹
http://dx.doi.org/10.22077/jsr.2020.2892.1116

مقاله پژوهشی:

مقایسه شاخص‌های انرژی، محیط زیستی و اقتصادی در نظام‌های تولید گندم آبی و زعفران در استان خراسان رضوی

سرور خرم‌دل[۱*]، مهدی نصیری محلاتی[۲]، هدی لطیفی[۳]، محمود رضا فرزانه بلگردی[۴]
۱- دانشیار گروه اگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۲- استاد گروه اگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۳- دانشجوی دکتری رشته بوم‌شناسی زراعی گروه اگروتکنولوژی و اصلاح نباتات دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۴- کارشناس‌ارشد هواشناسی کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
*نویسنده مسئول: *khorramdel@um.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۷/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۱۷

چکیده

این مطالعه با هدف ارزیابی جامع بیلان انرژی، پیامدهای محیط زیستی و آنالیز اقتصادی بوم‌نظام‌های گندم آبی (بعنوان نظام پرنهاده و رایج) و زعفران (بعنوان نظام کم‌نهاده و سنتی) در استان خراسان رضوی در سال ۱۳۹۷ انجام شد. نهاده‌های مصرفی دو گیاه گندم (یکساله) و زعفران (چندساله طی سال‌های اول تا ششم) با استفاده از پرسشنامه (۳۲ پرسشنامه برای هر محصول) جمع‌آوری شد. شاخص‌های کارایی انرژی (شامل فشردگی انرژی، انرژی مخصوص، انرژی خالص، کارایی مصرف انرژی و بهره‌وری انرژی)، شاخص‌های اقتصادی (شامل ارزش کل تولیدی، سود ناخالص، سود خالص، نسبت سود به هزینه و بهره‌وری اقتصادی) و شاخص‌های اکولوژیکی برای زمین، آب و کودهای شیمیایی (شامل کارایی استفاده از زمین، کارایی تولید زمین، کارایی اقتصادی تولید زمین، بهره‌وری آب، بهره‌وری اقتصادی آب و کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و ارزیابی چرخه حیات محاسبه و تعیین شدند. ارزیابی چرخه حیات بر اساس روش ISO14044، در چهار گام شامل مشخص‌سازی اهداف و حوزه عمل، ممیزی چرخه حیات، ارزیابی تأثیر چرخه حیات و تلفیق، نتیجه‌گیری و تفسیر نتایج محاسبه گردید. گروه‌های تأثیر مورد مطالعه شامل گرمایش جهانی، اسیدی شدن و اوتریفیکاسیون (در محیط‌های خشکی و آبی) بودند. واحد کارکردی معادل یک کیلوگرم کلاله برای زعفران و یک تن دانه برای گندم در نظر گرفته شد. برای سنجش قابلیت پایایی پرسشنامه، ضریب آلفای کرونباخ محاسبه گردید. نتایج نشان داد که ضریب آلفای کرونباخ برابر با α=۸۷٪ محاسبه گردید. بالاترین سهم انرژی‌های ورودی به مزارع گندم، کود شیمیایی نیتروژن و سوخت و برای زعفران، بنه و الکتریسته بود. بهره‌وری انرژی برای زعفران و گندم به ترتیب ۰/۰۰۰۰۱۹ و ۰/۰۹۷ کیلوگرم به ازای مگاژول و فشردگی انرژی به‌ترتیب ۴۶/۹۳ و ۳۳/۴۸ مگاژول به ازای دلار محاسبه شد. بهره‌وری زمین در مزارع گندم و زعفران به‌ترتیب ۲۱/۳۶ و ۰/۰۱ کیلوگرم بر هکتار در روز و بهره‌وری اقتصادی زمین به‌ترتیب ۱/۵۱ و ۰/۵۲ دلار بر کیلوگرم در روز تعیین گردید. کارایی مصرف نیتروژن در مزارع گندم و زعفران به‌ترتیب ۲۴/۵۷ و ۰/۰۴ کیلوگرم بر کیلوگرم بدست آمد. بالاترین سهم انتشار آلاینده‌ها به گروه تأثیر اوتریفیکاسیون آبی اختصاص داشت. پتانسیل اوتریفیکاسیون آبی زعفران و گندم به‌ترتیب ۹/۶۸ کیلوگرم معادل PO_4 به ازای یک کیلوگرم کلاله و ۰/۲۶ کیلوگرم معادل PO_4 به ازای یک تن دانه محاسبه شد. شاخص بوم‌شناخت برای نظام‌های تولید زعفران و گندم به‌ترتیب ۲۲/۶۲ EcoX به ازای یک کیلوگرم کلاله و ۰/۴۶ EcoX به ازای یک تن دانه بدست آمد. به طور کلی، بر اساس نتایج نظام‌های کم‌نهاده و خانوادگی همچون زعفران اثرات مثبتی بر شاخص‌های انرژی و اقتصادی و تخفیف پیامدهای محیط زیستی در مقایسه با نظام‌های پرنهاده و رایج نظیر گندم آبی دارند.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی چرخه حیات، بهره‌وری انرژی، بهره‌وری اقتصادی زمین، کارایی مصرف نیتروژن، کشاورزی خانوادگی.

مقدمه

انرژی نهاده‌ای ضروری برای افزایش بهره‌وری و امنیت غذایی در کشاورزی محسوب می‌شود (*Khan & Hanjra, 2009*). تجزیه و تحلیل انرژی در بوم‌نظام‌های کشاورزی نقش قابل توجهی در توسعه دیدگاه انسان نسبت به مدیریت این نظام‌ها داشته و لذا موجب ارتقاء کیفی تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌ها در مدیریت و توسعه بخش کشاورزی می‌شود (*Rathke & Diepenbrock, 2006; Guzmán & de Molina, 2015*). گزمن و دی‌مولینا (*Guzmán & de Molina, 2015*) نیز اهمیت ارزیابی شاخص‌های انرژی در مدیریت جامع نظام‌های کشاورزی به منظور دستیابی به پایداری را مورد تایید قرار دادند. نصیری و سینگ (*Nassiri & Singh, 2009*) نیز تأکید کردند که شاخص‌های انرژی معیارهای مناسبی برای تعیین عملکرد و کارایی مصرف نهاده‌ها در نظام‌های زراعی محسوب می‌شوند. کاردونی و همکاران (*Kardoni et al., 2015*) نیز تایید کردند که شکل‌های مختلف انرژی همچون انرژی‌های غیرقابل تجدید، مستقیم و غیرمستقیم اثر مثبتی بر سطح خروجی دارند. امروزه مصرف انرژی در بخش کشاورزی به دلیل رشد جمعیت و تهیه مواد غذایی کافی برای جمعیت در حال رشد، افزایش یافته است و کشاورزی به عنوان مصرف‌کننده فشرده انرژی مطرح می‌باشد (*Fei et al., 2017*). علاوه بر این، پیش‌بینی شده است که مصرف انرژی به دلیل رشد اقتصادی، تخریب خاک، گرمایش جهانی و کاهش نیروی انسانی افزایش یابد (*Dash et al., 2017*). از طرف دیگر، محدودیت منابع و اثر سوء مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر همچون سوخت‌های فسیلی بر روی محیط‌زیست و سلامت انسان، مطالعه الگوهای مصرف انرژی را در نظام‌های زراعی امری اجتناب‌ناپذیر و ضروری ساخته است (*Yuosefi & Madavi Damghani, 2013*). همچنین مصرف انرژی به شدت تهدیدکننده امنیت غذایی، پایداری نظام‌های کشاورزی، سلامت جامعه و کارکردها و خدمات محیط زیست محسوب می‌شود (*Bergtold et al., 2017; Wiser et al., 2016*). بر این اساس، بهبود کارایی مصرف انرژی و ارتقاء بهره‌وری آن در نظام‌های کشاورزی یکی از اصول مورد نیاز برای نیل به اهداف کشاورزی پایدار و اطمینان از تولید غذا و امنیت اکولوژیکی مطرح است (*Yuan et al., 2018*). با این‌وجود، اگرچه تجزیه و تحلیل مصرف انرژی اطلاعات دقیقی را از ارزیابی وضعیت مصرف شکل‌های مختل انرژی در نظام‌های کشاورزی فراهم می‌کند (*Alluvione et al., 2011*)، ولی قادر نیست ارزیابی جامعی از درجه پایداری نظام‌های کشاورزی و بخش‌های مؤثر در تشدید آلودگی‌های زیست‌محیطی را ارائه نماید. در همین راستا، ارزیابی چرخه حیات، یک ابزار مفید برای بررسی و تعیین تأثیرات محیط زیستی محصولات کشاورزی به‌شمار می‌رود، بطوری‌که در اکثر کشورها به عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری در تولیدات کشاورزی محسوب می‌گردد (*Marras et al., 2015; Ferrari et al., 2018*). یکی از دلایل عمده مشکلات محیط زیستی، وابستگی نظام‌های زراعی رایج به استفاده زیاد از انرژی است، یکی از اصول کشاورزی پایدار استفاده کارآمد از منابع و انرژی است (*Ghorbani et al., 2011*)، یک راه حل برای تضمین توسعه و پایداری کشاورزی، ارزیابی دقیق رابطه بین محیط‌زیست و انرژی است (*Odum, 2007*).

در این راستا، تحقیقات انجام شده در کشور یا به بررسی بیلان انرژی در بوم‌نظام‌های زراعی معطوف بوده و یا پیامدهای محیط زیستی این نوع مدیریت‌ها را به صورت جداگانه بررسی می‌کند و در برخی از مقالات نیز آنالیز اقتصادی این بوم‌نظام‌ها مورد بررسی قرار گرفته است، اما اگر همه این ارزیابی‌ها بصورت جامع انجام پذیرد، نتایج آن امکان بهینه‌سازی روش‌های رایج مدیریت به منظور تضمین امنیت غذایی را فراهم خواهد ساخت. در همین راستا، بررسی کارایی انرژی زراعت زعفران در استان خراسان جنوبی نشان داد که بیشترین میزان انرژی مصرفی در سال اول تولید مربوط به مصرف کود دامی و در سال‌های دوم تا پنجم مربوط به مصرف کود اوره بود و نسبت انرژی تولیدی به مصرفی ۰/۴۱ محاسبه شد (*Shahraki et al., 2010*). خرم‌دل و همکاران (*Khorramdel et al., 2017*) با ارزیابی اثرات محیط زیستی نظام‌های تولید زعفران در دو شهرستان تربت حیدریه و قائن به عنوان قطب‌های مهم تولید این محصول گزارش نمودند که بالاترین مجموع شاخص بوم‌شناخت برای این دو شهرستان به ترتیب ۱/۳۴ و ۳/۱۸ *EcoX* به ازای یک تن گل بدست آمد. بطور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که بکارگیری بی‌رویه نهاده‌ها شامل سوخت و مصرف کودهای آلی و شیمیایی با تشدید انتشار آلاینده‌ها، افزایش تلفات نیتروژن و کاهش کارایی مصرف این عنصر تشدید آلودگی‌های محیط زیستی را در

گروه‌های مختلف تأثیر به دنبال داشت. نتایج دیگر مطالعه‌ای روی ارزیابی اثرات محیط زیستی نظام‌های تولید زعفران بر اساس اندازه زمین نشان داد که شدت فشرده‌سازی زمین به طور زیادی تحت تأثیر اندازه زمین می‌باشد؛ به طوری‌که بالاترین اثرات محیط زیستی مربوط به گروه تأثیر اوتریفیکاسیون آبی بود. به طور کلی، نتیجه گرفته شد که افزایش کارایی مصرف منابع همراه با بهبود عملکرد اقتصادی راهکاری پایدار برای کاهش و تخفیف اثرات محیط زیستی می‌باشد (*Khorramdel et al., 2019*). سونی و همکاران (*Soni et al., 2018*) نیز با ارزیابی تناوب برنج- گندم گزارش نمودند که زمین‌های با مساحت کمتر از نظر انرژی و زمین‌های با سطح بیشتر از نظر اقتصادی کاراتر می‌باشند. نتایج ارزیابی اثرات محیط زیستی تولید غلات در شرایط مدیریت فاریاب در شمال‌شرق کشور با استفاده از *LCA* در مقادیر مختلف کود نیتروژن در سه گروه تأثیر تغییر اقلیم، اسیدی شدن و اوتریفیکاسیون مشخص نمود که در مقادیر کم مصرف کود نیتروژن، اثرات محیط زیستی نظام‌های تولید غلات به مراتب پایین‌تر بود و با افزایش مصرف کود، این اثرات محیط زیستی نیز تشدید شد (*Fallahpour et al., 2012*). در مطالعه دیگری روی تعیین شاخص‌های کارایی فنی و اقتصادی مصرف آب دو محصول گندم و زعفران و شناخت عوامل تأثیرگذار بر آن در شهرستان قائنات، میانگین کارایی اقتصادی مصرف آب برای این دو گیاه به ترتیب برابر با ۴۰۴۱ و ۳۹۹۶۲ ریال به ازای یک متر مکعب آب مصرفی برآورد شد (*Yaghobi et al., 2016*). اسداله پور و همکاران (*Asadollahpour et al., 2016*) ساختار تولید و مقیاس (بعنوان مثال مقیاس مزرعه و روش‌های تولید) مزارع کلزا را از لحاظ اقتصادی مورد بررسی قرار دادند و نتایج مشخص نمود که افزایش مقیاس مزرعه، هزینه‌های تولید را کاهش می‌دهد. برخی از محققین نیز استدلال می‌کنند که مزارع با مقیاس کوچک و یک نظام معیشتی نسبت به مزارع بزرگ‌تر کارآمدتر است و این مزیت نسبی به فعالیت اعضاء خانواده در مدیریت زراعی مزارع کوچک نسبت داده می‌شود (*Danesh-Shahraki et al., 2008*).

زعفران در منطقه آب و هوایی مدیترانه و غرب آسیا، در مناطق بسیار کم‌باران ایران که دارای زمستان سرد و تابستان گرم هستند، گسترش دارد و یکی از مهمترین محصولات صادراتی کشور است که نقش عمده‌ای در درآمدزایی، اشتغال‌زایی (*Tajiani & Koopahi, 2005; Ghorbani, 2006*) و ایجاد درآمد ارزی قابل توجه برای کشور (*Tajiani & Koopahi, 2005*) ایفاء می‌کند و گندم یکی از عمده‌ترین محصولات کشاورزی و تأمین کننده بیشترین نیاز غذایی انسان‌ها در کشورهای در حال توسعه است و محصولی استراتژیک به شمار می‌رود.

بنابراین ارزیابی شاخص‌های اقتصادی، انرژی و محیط زیستی دو گیاه گندم آبی و زعفران اطلاعات جامعی را برای مدیریت بهینه بوم‌نظام‌های کشاورزی این محصولات در استان خراسان رضوی به عنوان یکی از استان‌های مهم تولید این محصولات در کشور فراهم خواهد ساخت. علاوه بر این، با توجه به اینکه کاشت زعفران در ایران معمولاً یک نظام کشاورزی خانوادگی، معیشتی و کم‌نهاده محسوب می‌شود (*Khorramdel et al., 2018; Koocheki et al., 2017*) و انتظار می‌رود که در مقایسه با سایر نظام‌های زراعی از جمله گندم از رتبه بالاتری در ارزیابی‌های پایداری و محیط زیستی برخوردار باشد، بر این اساس، این مطالعه با هدف ارزیابی جامع بیلان انرژی، پیامدهای محیط زیستی و نیز آنالیز اقتصادی بوم‌نظام‌های گندم و زعفران استان خراسان رضوی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

اهمیت و وضعیت منطقه مورد مطالعه: استان خراسان رضوی واقع در شمال‌شرقی کشور ایران است که بیش از ۱۱۸۸۵۴ کیلومتر مربع وسعت داشته و بین مدار جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. این استان که تقریباً ۱۰ درصد از مساحت ایران را شامل می‌شود، از تنوع اقلیمی بالایی برخوردار است، اما جزو مناطق نیمه‌خشک کشور به شمار می‌آید. بارش‌های این استان دارای با توزیع غیرنرمال در فصول سرد سال بوده و بارش‌های سیل‌آسا، کوتاه مدت و رگباری قسمت عمده بارندگی‌های سالیانه را تشکیل می‌دهد. متوسط بارش استان طی سال‌های ۹۶-۱۳۶۸، ۲۰۹/۵ میلی‌متر گزارش شده است؛ در حالی‌که متوسط بارندگی‌های ایران ۲۳۲/۴ میلی‌متر و متوسط بارش جهانی ۷۸۰ میلی‌متر گزارش شده است. بارندگی این استان یک چهارم میانگین جهانی است و از میانگین کشوری نیز کمتر می‌باشد؛ به طوری‌که این

استان را در زمره مناطق کم بارش جهان قرار می‌دهد. توزیع بارش در استان یکنواخت نبوده و مقدار آن از شمال به جنوب کاهش می‌یابد (*Meteorological Organization of Iran, 2019*).

محاسبه شاخص‌های انرژی: اطلاعات مورد نیاز شامل میزان مصرف نهاده‌ها (اعم از نیروی انسانی، سوخت، ماشین‌آلات، نهاده‌های شیمیایی، اعم از *NPK*، علف‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها، الکتریسیته، آب، کود دامی و بذر) و میزان عملکرد در واحد سطح هر دو گیاه گندم (طی یکسال) و زعفران (برای شش سال) از طریق پرسشنامه از شهرستان‌های مختلف استان خراسان رضوی (شامل مشهد، نیشابور، گناباد، تربت جام، تربت حیدریه، کاشمر، سبزوار و بردسکن) در سال ۱۳۹۷ جمع‌آوری گردید. جهت تعیین تعداد پرسشنامه از معادله ۱ استفاده شد (*Newbold, 1994*).

$$n = \frac{N \times S^2}{(N-1)S_x^2 + S^2} \qquad (۱)$$

در این معادله، *n*: تعداد نمونه، *N*: اندازه جمعیت، *S*: انحراف معیار و S_x: انحراف معیار میانگین نمونه می‌باشد. بر این اساس، ۳۲ پرسشنامه تکمیل گردید.

میزان انرژی نهاده‌ها با استفاده از معادل‌های انرژی بر اساس منابع تعیین شد. کل انرژی‌های ورودی و خروجی، انرژی‌های مستقیم (شامل نیروی انسانی، دیزل، الکتریسیته و آب) و غیرمستقیم (شامل انرژی‌های ذخیره شده در بذر، کودها و سموم شیمیایی و ماشین‌آلات)، تجدیدپذیر (شامل نیروی انسانی، بذر و آب) و غیرتجدیدپذیر (شامل دیزل، الکتریسیته و کودها و سموم شیمیایی)، شاخص‌های کارایی انرژی اعم از فشردگی انرژی[۱] انرژی مخصوص[۲] انرژی خالص[۳] کارایی مصرف انرژی[۴] و بهره‌وری انرژی[۵] به ترتیب با استفاده از معادلات ۲ تا ۶ محاسبه شد (*Demircan et al., 2006*).

در این معادلات، *Input energy*: انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)، *Input crops*: محصولات خروجی (کیلوگرم در هکتار) عملکرد اقتصادی، *Cost of cultivation*: هزینه کشت (دلار بر هکتار) و *Output energy*: انرژی خروجی (مگاژول در هکتار) می‌باشد.

محاسبه شاخص‌های اقتصادی: ورودی‌های اقتصادی نظام‌های تولید زعفران و گندم شامل هزینه‌های متغیر (همچون هزینه‌های جاری اعم از نهاده‌های شیمیایی، سوخت، نیروی انسانی و الکتریسیته) و ثابت تولید (نظیر انرژی زمین، آب و ساختمان) بودند. خروجی اقتصادی نظام‌های تولید زعفران شامل کلاله، برگ و بنه و در مورد گندم شامل عملکرد کاه و کلش و دانه بود.

برای محاسبه شاخص‌های اقتصادی از جمله ارزش تولید کل[۶] سود ناخالص[۷] سود خالص[۸] نسبت سود به هزینه[۹] و بهره‌وری اقتصادی[۱۰] به ترتیب از معادله‌های ۷ تا ۱۱ استفاده گردید (*Zangeneh et al., 2010*).

در این معادلات، *Total yield*: عملکرد کل (کیلوگرم در هکتار)، *Total price*: قیمت کل (دلار بر هکتار)، *Variable cost of production*: هزینه جاری تولید (دلار به ازای کیلوگرم) و *Total production costs*: هزینه تولید کل (دلار بر کیلوگرم) است.

ارزش یک کیلوگرم دانه گندم ۱۴،۰۰۰ ریال (نرخ تضمینی اعلام شده سازمان برنامه و بودجه کشور) و ارزش یک کیلوگرم کلاله زعفران ۷۰،۰۰۰،۰۰۰ ریال (با توجه به نوسانات قیمت و نبود مرجع برای محاسبه قیمت، نرخ اعلام شده بر اساس میانگین نظر خبرگان) در نظر گرفته شد. نرخ دلار در این مطالعه ۴۲۲۱۰ ریال (نرخ رسمی بانک مرکزی) در نظر گرفته شد.

1- Energy intensiveness
2- Specific energy
3- Net energy
4- Energy use efficiency
5- Energy productivity

6- Total production value
7- Gross return
8- Netreturn
9- Benefit to cost ratio
10- Economic productiovity

$$\text{Energy intensiveness} = \frac{\text{Input energy } (\text{MJ.ha}^{-1})}{\text{Cost of cultivation } (\$.\text{ha}^{-1})} \quad (۲)$$

$$\text{Specific energy} = \frac{\text{Input energy } (\text{MJ.ha}^{-1})}{\text{Output crops } (\text{kg.ha}^{-1})} \quad (۳)$$

$$\text{Net energy} = \text{Output energy } (\text{MJ.ha}^{-1}) - \text{Input energy } (\text{MJ.ha}^{-1}) \quad (۴)$$

$$\text{Energy use efficiency} = \frac{\text{Output energy } (\text{MJ.ha}^{-1})}{\text{Input energy } (\text{MJ.ha}^{-1})} \quad (۵)$$

$$\text{Energy productivity} = \frac{\text{Output crops } (\text{kg.ha}^{-1})}{\text{Input energy } (\text{MJ.ha}^{-1})} \quad (۶)$$

$$\text{Total production value} = \text{Total yield } (\text{kg.ha}^{-1}) \times \text{Total price } (\$.\text{kg}^{-1}) \quad (۷)$$

$$\text{Gross return} = \text{Total production value}(\$.\text{kg}^{-1}) - \text{Variable cost of production}(\$.\text{kg}^{-1}) \quad (۸)$$

$$\text{Net return} = \text{Total production value } (\$.\text{ha}^{-1}) - \text{Total production costs } (\$.\text{ha}^{-1}) \quad (۹)$$

$$\text{Benefit to cost ratio} = \frac{\text{Total production value } (\$.\text{ha}^{-1})}{\text{Total production costs } (\$.\text{ha}^{-1})} \quad (۱۰)$$

$$\text{Economic productivity} = \frac{\text{Total yield } (\text{kg.ha}^{-1})}{\text{Total production costs } (\$.\text{ha}^{-1})} \quad (۱۱)$$

محاسبه شاخص‌های اکولوژیکی

کارایی استفاده از زمین، آب و کودهای شیمیایی

الف) شاخص‌های استفاده از زمین

کارایی استفاده از زمین[1]: برای محاسبه این شاخص از معادله ۱۲ استفاده گردید (*Singh et al., 2010*).

کارایی تولید زمین[2]: برای محاسبه این شاخص از معادله ۱۳ استفاده گردید (*Singh et al., 2010*).

کارایی اقتصادی تولید زمین[3]: این شاخص با استفاده از معادله ۱۴ محاسبه گردید (*Singh et al., 2010*).

ب) شاخص‌های مصرف آب

بهره‌وری آب[4]: این شاخص با استفاده از معادله ۱۵ محاسبه گردید (*Rodrigues & Pereira, 2009*).

بهره‌وری اقتصادی آب[5]: برای محاسبه این شاخص از معادله ۱۶ استفاده گردید (*Rodrigues & Pereira, 2009*).

1- *Land use efficiency*
2- *Land production efficiency*
3- *Economic land production efficiency*

4- *Water productivity*
5- *Water economic productivity*

$$\text{Land use efficiency} = \frac{\text{Total duration of crops (day)}}{365} \quad (۱۲)$$

$$\text{Land production efficiency } \left(\text{kg.ha}^{-1}\text{.day}^{-1}\right) = \frac{\text{Total production}\left(\text{kg.ha}^{-1}\right)}{\text{Total duration of crops (day)}} \quad (۱۳)$$

$$\text{Economic land production efficiency } \left(\$.\text{ha}^{-1}\text{day}^{-1}\right) = \frac{\text{Net return } \left(\$.\text{ha}^{-1}\right)}{\text{Total duration of crops (day)}} \quad (۱۴)$$

$$\text{Water productivity } \left(\text{kg.m}^{-3}\right) = \frac{\text{Yield } \left(\text{kg.ha}^{-1}\right)}{\text{Irrigation } \left(\text{m}^3\right)} \quad (۱۵)$$

$$\text{Water economic productivity } \left(\$\ \text{m}^{-3}\right) = \frac{\text{Total price } \left(\$.\text{kg}^{-1}\right)}{\text{Irrigation } \left(\text{m}^3\right)} \quad (۱۶)$$

ج) شاخص‌های مصرف کودهای شیمیایی

برای محاسبه کارایی مصرف کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم، از شاخص بهره‌وری جزئی که بیانگر مقدار محصول (بر حسب کیلوگرم در هکتار) به ازای مقدار کود مصرفی (کیلوگرم) است، استفاده گردید (*Mosier et al., 2004*).

ارزیابی اثرات محیط زیستی: بدین منظور، روش ارائه شده در *ISO14044* (*Brentrup et al., 2004b; ISO, 2006*) مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس این روش، *LCA* در چهار گام تعریف مرحله اهداف و تعریف حوزهٔ عمل مطالعه[1] آنالیز ممیزی چرخهٔ حیات[2] ارزیابی تأثیر چرخهٔ حیات[3] و تلفیق و تفسیر نتایج[4] محاسبه و تعیین شد. واحد کارکردی که معیار کمی کارکرد بوم‌نظام (*Brentrup et al., 2004b*) است، برای نظام‌های گندم و زعفران به ترتیب معادل یک تن دانه و یک کیلوگرم کلاله در نظر گرفته شد. سپس کلیه نهاده‌های لازم و پسماندها و آلاینده‌های آزاد شده ناشی از کارکرد بوم‌نظام‌های تولید زعفران تحت بررسی تعیین و بر حسب واحد کارکردی محاسبه شد (*Brentrup et al., 2001*). بر اساس دستورالعمل *ISO* این اثرات شامل انتشار مواد به اتمسفر، خاک و آب اعم از انواع گازهای گلخانه‌ای، مواد معدنی، فلزات سنگین و آفت‌کش‌ها می‌باشد (*Finkbeiner et al., 2006*). گروه‌های تأثیر مورد بررسی شامل پتانسیل گرمایش جهانی[5] اسیدی شدن[6] و اوتریفیکاسیون در دو زیرگروه بوم‌نظام‌های آبی[7] و خشکی[8] (*Finkbeiner et al., 2006; Brentrup et al., 2004b*) بودند. در مرحله آخر، نوعی شاخص محیط زیستی تحت عنوان شاخص بوم‌شناخت[9] (معیار نهایی *LCA*) محاسبه شد (*Brentrup et al., 2004b*).

ارزیابی روایی پرسشنامه: برای سنجش قابلیت پایایی[10] پرسشنامه، ضریب آلفای کرونباخ[11] محاسبه گردید (*UrsachiIoana et al., 2015*).

نتایج و بحث

روایی پرسشنامه: ضریب آلفای کرونباخ برای مقیاس اصلی پرسشنامه ۸۷٪=α محاسبه شد که نشاندهنده قابلیت اعتماد بالای پرسشنامه بوده است.

شاخص‌های انرژی: میزان انرژی ورودی برای نظام‌های تولید زعفران برابر ۲۰۱۸۶۶/۵ مگاژول در هکتار و برای نظام‌های تولید گندم برابر ۵۰۵۸۶/۵۳ مگاژول در هکتار بود. کمترین میزان انرژی ورودی برای نظام‌های تولید زعفران به‌ترتیب برابر ۳۵۸/۱۴ مگاژول در هکتار (۰/۱۸ درصد از کل ورودی انرژی)، ۵۷۱/۹۷ مگاژول در هکتار (۰/۲۸ درصد

1- Objectives and definition of scope
2- Life cycle inventory (LCI) analysis
3- Life cycle impact assessment (LCIA)
4- Integration and interpretation

5- Global warming potential
6- Acidfication potential
7- Aquatic eutrophication potential
8- Terrestrial eutrophication potential
9- Eco-Index
10- Reliability
11- Cronbach's Alfa

از کل ورودی انرژی)، ۹۳۵/۸۶ مگاژول در هکتار (۰/۴۶ درصد از کل ورودی انرژی) و ۹۴۵/۸۸ مگاژول در هکتار (۰/۴۷ درصد از کل ورودی انرژی) که به ترتیب مربوط به استفاده از کود شیمیایی پتاسیم، علف‌کش و کود شیمیایی فسفات و قارچ‌کش بود. کمترین میزان انرژی ورودی برای نظام تولید گندم به‌ترتیب برابر ۹۰/۹۵ مگاژول در هکتار (۰/۱۸ درصد از کل ورودی انرژی)، ۲۸۰/۴۴ مگاژول در هکتار (۰/۵۵ درصد از کل ورودی انرژی) و ۳۱۱/۳۵ مگاژول در هکتار (۰/۶۲ درصد از کل ورودی انرژی) به ترتیب مربوط به استفاده از قارچ‌کش، آفت‌کش و نیروی انسانی بود. بیشترین سهم انرژی‌های ورودی در نظام تولید زعفران برابر با ۸۶۴۳۰ مگاژول در هکتار (۴۲/۸۲ درصد از کل ورودی انرژی)، ۷۷۴۴۸/۳۵ مگاژول در هکتار (۳۸/۳۷ درصد از کل ورودی انرژی)، ۱۴۴۰۰ مگاژول در هکتار (۷/۱۳ درصد از کل ورودی انرژی) به‌ترتیب مربوط به تهیه بنه، الکتریسته برای پمپاژ آب و کود دامی بود. بیشترین سهم انرژی‌های ورودی در نظام گندم برابر با ۱۳۲۲۸ مگاژول در هکتار (۲۶/۱۵ درصد از کل ورودی انرژی)، ۱۲۲۵۷/۵۸ مگاژول در هکتار (۲۴/۴۷ درصد از کل ورودی انرژی)، ۶۱۲۰ مگاژول در هکتار (۱۲/۱ درصد از کل ورودی انرژی) به ترتیب مربوط به کود شیمیایی نیتروژن، سوخت و آبیاری بود. به طور کلی، انرژی ورودی در نظام تولید زعفران ۳/۹۹ برابر نسبت به نظام‌های تولید گندم بالاتر بود (جدول ۱) که این امر به دلیل طولانی‌تر بودن طول دوره رشد زعفران (شش ساله) نسبت به گندم (یکساله) می‌باشد. به طور کلی، عملیات زراعی مکانیزه برپایه مصرف سوخت سهم بالایی از انرژی را در تولید محصولات کشاورزی مصرف می‌کند (*Kazemi et al., 2015*). گالن و همکاران (*Galán et al., 2016*) نیز تأکید کردند که بیشتر بوم‌نظام‌های کشاورزی به سوخت‌های فسیلی برای تولید نیازمند هستند و این نهاده تقریباً عمده‌ترین ورودی نظام‌های تولیدی در نظام‌های رایج و فشرده امروزی محسوب می‌شود. البته سونی و همکاران (*Soni et al., 2018*) نیز نتیجه گرفتند که بین اندازه زمین و میزان وابستگی به استفاده از ماشین آلات ارتباط مستقیم و مثبت وجود دارد.

میزان کل انرژی خروجی در نظام‌های تولید زعفران و گندم به ترتیب برابر ۴۸۰۵۷/۱۷ و ۱۰۹۵۹۹/۷ مگاژول در هکتار محاسبه گردید که نسبت میزان خروجی در نظام‌های تولید گندم نسبت به زعفران ۲/۲۸ برابر بالاتر است. در نظام‌های تولید گندم، میزان انرژی خروجی عملکرد دانه ۱/۹ برابر عملکرد کاه و کلش است و در نظام‌های تولید زعفران به‌ترتیب عملکرد بنه ۱/۲۶ برابر عملکرد برگ و ۴۲۳/۹۷ برابر عملکرد کلاله است (جدول ۱). تفاوت در میزان انرژی خروجی این دو گیاه عمدتاً مربوط به وزن بالاتر عملکرد اقتصادی گندم (دانه) در مقایسه با عملکرد زعفران (کلاله) و شاخص برداشت پایین این گیاه می‌باشد.

نتایج مطالعه‌ای بر روی میزان انرژی مصرفی در زراعت زعفران در استان خراسان جنوبی، حاکی از این امر است که در سال‌های اول و دوم تا پنجم کود دامی (۹۱/۱۶ درصد از کل انرژی مصرفی) و کود اوره (۳۷/۶۷ درصد از کل انرژی مصرفی) بیشترین انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده است (*Shahraki et al., 2011*). کاظمی و زارع (*Kazemi & Zare, 2014*) در مطالعه‌ای بر روی جریان انرژی در مزارع گندم شهرستان‌های مرودشت و گرگان دریافتند که کودهای شیمیایی بالاترین میزان انرژی ورودی را داشتند که مشابه با نتایج این تحقیق بوده و موید این مطلب است که بیشترین سهم انرژی‌های ورودی در بوم‌نظام‌های زعفران مربوط به کود دامی و در نظام‌های گندم متعلق به کود شیمیایی است. کودهای دامی در مقایسه با کودهای شیمیایی دارای مقادیر بیشتری عناصر غذایی هستند که می‌توانند این عناصر را به مرور زمان در اختیار گیاه قرار دهند (*Brussard & Ferrera Cenato,1997*) و یکی از عمده‌ترین منابع تأمین‌کننده ماده آلی خاک هستند (*Chaudhry et al., 1999*) و این مطلب پایداری بیشتر بوم‌نظام زعفران را در مقایسه با سایر گیاهان تحت مدیریت‌های فشرده و رایج همچون گندم نشان می‌دهد. بر این اساس، با توجه به مصرف بالاتر کودهای دامی در مزارع زعفران و توجه به محتوی ماده آلی خاک‌های این استان (میانگین <۱ درصد) به نظر می‌رسد که مزارع این گیاه در مقایسه با گندم از ثبات تولید بالاتری در درازمدت برخوردار هستند که این امر به دلیل تأثیر مثبت مصرف این مواد آلی بر خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک می‌تواند به نوعی تضمین‌کننده معیشت کشاورزان زعفران‌کار در درازمدت باشد.

جدول ۱. معادل‌های انرژی و مقدار (به ازای یک هکتار) ورودی‌ها و خروجی‌ها در نظام‌های تولید گندم و زعفران در استان خراسان رضوی

Table 1. Energy equivalents and quantity (per one ha) of inputs and outputs in wheat and saffron production systems in Khorasan-e Razavi Province

ورودی‌ها و خروجی‌ها Inputs and outputs	واحد Unit	معادل انرژی Energy equivalent ($MJ.unit^{-1}$)	مقدار Quantity		معادل انرژی کل Total energy equivalent (MJ)		درصد از کل ورودی انرژی Percentage of the total energy input		منبع References
الف) ورودی‌ها A) Inputs			گندم Wheat	زعفران Saffron	گندم Wheat	زعفران Saffron	گندم Wheat	زعفران Saffron	
نیروی انسانی *Human labor*	ساعت *hr*	*1.96*	*158.85*	*1870.14*	*311.35*	*3665.47*	*0.62*	*1.82*	*(Mohammadi et al., 2008; Ozkan et al., 2004; Yilmaz et al., 2005; Singh et al., 2002)*
ماشین آلات *Machinery*	ساعت *hr*	*62.70*	*58.00*	*27.14*	*3636.60*	*1701.68*	*7.19*	*0.84*	*(Erdal et al., 2007; Singh, 2002; Erdal et al., 2007; Singh et al., 2002; Singh, 2002)*
سوخت *Diesel*	تن *ton*	*56.31*	*218.00*	*99.89*	*12275.58*	*5624.81*	*24.47*	*2.79*	*(Mohammadi et al., 2008; Erdal et al., 2007; Singh et al., 2002; Singh, 2002)*
کود دامی *Organic fertilizer*	لیتر *L*	*0.30*	*10429.32*	*48000*	*3128.80*	*14400.00*	*6.19*	*7.13*	*(Demircan et al., 2006; Ozkan et al., 2004; Singh et al., 2002)*
کودهای شیمیایی: *Chemical fertilizers:*									
۱)نیتروژن *1) Nitrogen*	کیلوگرم *kg*	*66.14*	*200.00*	*88.56*	*13228.00*	*5857.36*	*26.15*	*2.90*	*(Mohammadi et al., 2008; Esengun et al., 2007a, 2007b; Yilmaz et al., 2005)*
۲)فسفات (P_2O_5) *2) Phosphate*	کیلوگرم *kg*	*12.44*	*76.00*	*75.23*	*945.44*	*935.86*	*1.87*	*0.46*	*(Mohammadi et al., 2008; Esengun et al., 2007a, 2007b; Yilmaz et al., 2005)*
۳) پتاسیم (K_2O) *3) Potassium (K_2O)*	کیلوگرم *kg*	*11.15*	*35.00*	*32.12*	*390.25*	*358.14*	*0.77*	*0.18*	*(Esengun et al., 2007; Shrestha, 1998; Esengun et al., 2007a, 2007b; Yilmaz et al., 2005)*
مواد شیمیایی: *Chemicals:*									*(Mohammadi et al., 2008; Canakci et al., 2005; Mandal et al., 2002; Singh, 2002)*
علف‌کش *1) Herbicide*	کیلوگرم/ لیتر *kg/ L*	*238.32*	*3.50*	*2.4*	*834.12*	*571.97*	*1.65*	*0.28*	*(Mohammadi et al., 2008; Feizi et al., 2015; Sahabi et al., 2016)*
آفت‌کش *2) Pesticide*	لیتر *L*	*280.44*	*1.00*	-	*280.44*	-	*0.55*	-	*(Mohammadi et al., 2008; Feizi et al., 2015; Sahabi et al., 2016)*
قارچ‌کش *3) Fungicide*	کیلوگرم *kg*	*181.90*	*0.50*	*5.2*	*90.95*	*945.88*	*0.18*	*0.47*	*(Mohammadi et al., 2008; Feizi et al., 2015; Sahabi et al., 2016)*
الکتریسیته	کیلووات	*3.60*	*1200.00*	*21513.43*	*4320.00*	*77448.35*	*8.54*	*38.37*	*(Mohammadi et al., 2008; Feizi et al., 2015; Sahabi et al., 2016)*

Electricity	ساعت *kWhr*								

جدول ۱. ادامه

Table 1. Continued

Water for irrigation آب	متر مکعب m^3	*1.02*	*6000.00*	*3850.00*	*6120.00*	*3927.00*	*12.10*	*1.95*	*(Acaroglu & Aksoy, 2005)*
بذر (گندم)- بنه (زعفران) *Grain (wheat)- Corm (saffron)*	کیلوگرم *kg*	*20.10*	*250*	*4300*	*5025.00*	*86430.00*	*9.93*	*42.82*	*(Mohammadi et al., 2008; Ozkan et al., 2004)*
ب) خروجی‌ها **B) Outputs**									
گندم *Wheat*	عملکرد دانه *Grain yield*	کیلوگرم *kg*	*14.70*	*4913.67*	-	*72230.95*	-	*65.90*	-	*(Acaroglu & Aksoy, 2005; Ozkan et al., 2004)*
	عملکرد کاه و کلش *Straw yield*	کیلوگرم *kg*	*12.50*	*2989.50*	-	*37368.75*	-	*34.10*	-	*(Kuesters & Lammel, 1999; Ozkan et al., 2004)*
زعفران *Saffron*	عملکرد برگ *Leaf yield*	کیلوگرم *kg*	*17.4*	-	*1320.26*	-	*22972.52*	-	*47.80*	*(Feizi et al., 2015; Sahabi et al., 2016)*
	عملکرد بنه *Corm yield*	کیلوگرم *kg*	*14.97*	-	*1670.45*	-	*25006.64*	-	*52.04*	*(Feizi et al., 2015; Sahabi et al., 2016)*
	عملکرد کلاله *Stigma yield*	کیلوگرم *kg*	*19.8*	-	*3.94*	-	*78.012*	-	*0.16*	*(Feizi et al., 2015; Sahabi et al., 2016)*

جدول ۲. شاخص‌ها و انواع انرژی (به ازای یک هکتار) در نظام‌های تولید گندم و زعفران در استان خراسان رضوی

Table 2. Energy indices and types (per one ha) in wheat and saffron production systems in Khorasan-e Razavi Province

نوع انرژی Energy types	واحد Unit	مقدار Quantity		درصد از کل انرژی Percentage of the total energy	
		گندم Wheat	زعفران Saffron	گندم Wheat	زعفران Saffron
انرژی ورودی کل *Total energy input*	مگاژول به ازای هکتار $MJ.ha^{-1}$	*50586.52*	*201866.51*	-	-
انرژی خروجی کل *Total energy output*	مگاژول به ازای هکتار $MJ.ha^{-1}$	*109599.70*	*48057.17*	-	-
انرژی مستقیم* *Direct energy**	مگاژول به ازای هکتار $MJ.ha^{-1}$	*26155.72*	*105065.63*	*51.70*	*52.05*
انرژی غیرمستقیم *Indirect energy*	مگاژول به ازای هکتار $MJ.ha^{-1}$	*24430.80*	*96800.88*	*48.30*	*47.95*
انرژی تجدیدپذیر** *Renewable energy***	مگاژول به ازای هکتار $MJ.ha^{-1}$	*14585.14*	*108422.47*	*28.83*	*53.71*
انرژی تجدیدناپذیر *Non- renewable energy*	مگاژول به ازای هکتار $MJ.ha^{-1}$	*36001.38*	*93444.04*	*71.17*	*46.29*
کارایی مصرف انرژی (بر اساس کلاله+برگ+بنه) *Energy use efficiency (Based on stigma+ leaf+ corm)*	-	-	*0.24*	-	-
کارایی مصرف انرژی (بر اساس کلاله) *Energy use efficiency (Based on stigma)*	-	-	*0.0004*	-	-
کارایی مصرف انرژی (بر اساس دانه+کاه و کلش) *Energy use efficiency (Based on grain+ Straw)*	-	*2.17*	-	-	-
کارایی مصرف انرژی (بر اساس دانه) *Energy use efficiency (Based on grain)*	-	*1.43*	-	-	-
فشردگی انرژی *Energy intensiveness*	مگاژول به ازای دلار $MJ.\$^{-1}$	*33.48*	*46.93*	-	-
انرژی ویژه *Specific energy*	مگاژول به ازای کیلوگرم $MJ.kg^{-1}$	*10.29*	*51235.15*	-	-
بهره‌وری انرژی *Energy productivity*	کیلوگرم به ازای مگاژول $kg.MJ^{-1}$	*0.097*	*0.000019*	-	-
انرژی خالص *Net energy*	مگاژول به ازای هکتار $MJ.ha^{-1}$	*59013.18*	*-153809.34*	-	-

*در نظام‌های تولید، انرژی غیرمستقیم شامل انرژی نهفته در بذر، کودهای شیمیایی، علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها و قارچ‌کش‌های شیمیایی، ماشین‌آلات و انرژی غیرمستقیم شامل نیروی انسانی، سوخت، الکتریسیته و آب می‌باشد.

** انرژی غیرقابل تجدید شامل سوخت، الکتریسیته، علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها و قارچ‌کش‌های شیمیایی، کودهای شیمیایی و ماشین‌آلات و انرژی قابل تجدید شامل نیروی انسانی، بذر و آب می‌باشد.

**Indirect energy included energy embodied in grains, chemical fertilizers, herbicide, pesticide, fungicide and machinery while direct energy covered human labor, diesel, electricity and water used in the production systems.*

***Non-renewable energy includes diesel, electricity, herbicide, pesticide, fungicide, chemical fertilizers and machinery, and renewable energy consists of human labor, grains and water.*

شارما و همکاران (*Schrama et al., 2018*) نیز گزارش نمودند که بالاتر بودن خصوصیات خاک به ویژه از نظر ماده آلی در نظام‌های ارگانیک می‌تواند تضمین‌کننده تولید این نظام‌ها در درازمدت در مقایسه با نظام‌های متکی بر مدیریت رایج می‌باشد. بای و همکاران (*Bai et al., 2018*) نیز تأثیر مثبت نهاده‌های آلی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در درازمدت را تأیید کردند. انرژی مستقیم که شامل نیروی انسانی، سوخت، الکتریسته و آب می‌باشد (*Demircan et al., 2006*) در بوم‌نظام‌های تولید زعفران و گندم به‌ترتیب ۱۰۵۰۶۵/۶۳ مگاژول در هکتار و

۲۶۱۵۵/۷۲ مگاژول در هکتار و انرژی غیرمستقیم (شامل بذر و بنه، کود شیمیایی، آفت‌کش، علف‌کش، قارچ‌کش و ماشین‌آلات (*Demircan et al., 2006*)) در بوم‌نظام‌های تولید زعفران و گندم به‌ترتیب ۹۶۸۰۰/۸۸ مگاژول در هکتار و ۲۴۴۳۰/۸۰ مگاژول در هکتار محاسبه گردید. سهم انرژی‌های تجدید پذیر در بوم‌نظام‌های تولید زعفران و گندم به‌ترتیب ۵۳/۷۱ درصد و ۲۸/۸۳ درصد از کل انرژی ورودی و سهم انرژی تجدید ناپذیر به‌ترتیب ۴۶/۲۹ درصد و ۷۱/۱۷ درصد از کل انرژی ورودی تعیین شد (جدول ۲)، سهم بیشتر انرژی‌های تجدیدپذیر در بوم‌نظام زعفران حاکی از پایداری بالاتر آن و بهره‌گیری بیشتر از اصول مدیریت پایدار در زراعت این گیاه است که این موضوع در تطابق با نظام تولید و مدیریت کم‌نهاده آن بر مبنای کشاورزی خانوادگی و معیشتی در استان خراسان می‌باشد (*Khorramdel et al., 2018; Koocheki et al., 2017*). از طرف دیگر، مصرف بالاتر سوخت‌های فسیلی و کودها و آفت‌کش‌های شیمیایی موجب افزایش سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر در نظام تولیدی گندم در مقایسه با زعفران شد. بر این اساس، با توجه به وضعیت آلودگی هوا و لزوم اتخاذ سیاست‌های مناسب جهت کاهش آن، جایگزینی انرژی‌های تجدید پذیر با سوخت‌های فسیلی می‌تواند همراه با اجرای برنامه‌های رشد اقتصادی به کاهش غلظت آلاینده‌های محیط زیستی و همچنین تخفیف اثرات گرمایش جهانی کمک کند (*Sadeghi et al., 2017*). در این راستا، بررسی‌ها نشان داده است که تخریب منابع طبیعی و خسارت به محیط زیست به واسطه افزایش تشدید گازهای گلخانه‌ای و تخلیه منابع فسیلی می‌تواند از طریق افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در نظام‌های مدیریتی تخفیف داده شود (*Chel & Kaushik, 2011*). با توجه به تأثیر بسزای انرژی در بهبود توسعه نظام‌های کشاورزی و دستیابی به پایداری به نظر می‌رسد سهم بالاتر انرژی‌های تجدیدپذیر در نظام‌های تولید زعفران می‌تواند به عنوان گام مهمی به سمت اهداف کشاورزی پایدار بوده و از آن به عنوان الگویی پایدار برای طراحی مجدد بوم‌نظام‌های زراعی فشرده و پرنهاده استفاده شود.

شاخص‌های مهم انرژی مورد بررسی در این مطالعه شامل کارایی مصرف انرژی، فشردگی انرژی، انرژی مخصوص، بهره‌وری انرژی و انرژی خالص بود (جدول۲). کارایی مصرف انرژی گندم بر اساس دانه+کاه و کلش ۲/۱۷ و کارایی مصرف انرژی گندم بر اساس دانه ۱/۴۳ بدست آمد (جدول ۲) که کارایی مصرف انرژی براساس دانه در مزارع گندم آبی در شهرستان گرگان ۱/۸۳ و در شهرستان مرودشت ۱/۸۰ (*Kazemi & Zare, 2014*)، در مزارع گندم آبی شهرستان ساوه از ۰/۶ تا ۱/۱۷ (*Safa & Tabatabaeefar, 2002*)، در مزارع گندم آبی شهرستان ری برابر با ۲/۶۳ (*Alipoor et al., 2014*)، در کشور هند از ۲/۹ تا ۵/۲ (*Singh et al., 2007*) و در کشور ترکیه ۲/۸ (*Canaci et al., 2005*) گزارش شده است. کارایی کمتر مصرف انرژی در بوم‌نظام‌های گندم آبی در استان خراسان رضوی نسبت به سایر نقاط نشان از وابستگی بیشتر این نظام‌ها به نهاده‌های ورودی و مصرف بیشتر انرژی می‌باشد. به طور کلی، بنا بر نتایج کاظمی (*Kazemi, 2016*) دو دلیل هزینه‌های اقتصادی و تبعات محیط زیستی برای بهبود شاخص‌های انرژی در بوم‌نظام‌های زراعی وجود دارد. به طوری‌که از یکطرف افزایش مصرف انرژی در نظام‌های زراعی باعث تشدید اثرات محیط زیستی نظیر انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاهش تنوع زیستی، تخلیه منابع غیرقابل تجدید و تشدید آلودگی‌های محیط زیستی می‌شود (*Qiao et al., 2014; Agha Alikhani et al., 2013; Alluvione et al., 2011; Beheshti Tabar et al., 2010*). علاوه بر اینکه از نقطه نظر محیط زیستی نیز مصرف انرژی در نظام‌های کشاورزی همراه با انتشار دی‌اکسید کربن تشدید تغییر اقلیم را موجب می‌گردد (*Biswas et al., 2010*). همچنین از منظر اقتصادی نیز مصرف انرژی افزایش هزینه‌ها و کاهش درآمد را به دنبال دارد. پاترسون (*Patterson, 1996*) نیز تأکید نمود که شاخص‌های کارایی انرژی از نقطه نظر دستیابی به پایداری مرکز توجه تمام محققان و دولتمردان دنیا می‌باشد. کاردونی و همکاران (*Kardoni et al., 2018*) نیز نتیجه گرفتند که بهره‌وری انرژی در تولید غلات در ایران در مقایسه با کشورهای دیگر پایین‌تر می‌باشد. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود بهبود شاخص‌های انرژی و تجزیه و تحلیل آنها را به منظور بهبود کارایی اقتصادی و محیط زیستی نظام‌های کشاورزی مدنظر قرار داد و جهت معرفی الگوها و نظام‌های کشت پایدار و مناسب به کشاورزان استفاده نمود.

کارایی مصرف انرژی زعفران بر اساس کلاله+برگ+بنه ۰/۲۴ محاسبه گردید که اگر تنها بخش مهم زعفران از نظر اقتصادی یعنی کلاله در نظر گرفته شود، این شاخص ۰/۰۰۰۴ محاسبه شد (جدول ۲) که این شاخص در مزارع

زعفران استان خراسان جنوبی بر اساس کلاله+برگ+بنه ۰/۴۱ و بر اساس کلاله ۰/۰۰۰۸ گزارش شده است (*Shahraki et al., 2010*). چون زعفران بومی کشور ایران است و در مناطق دیگر دنیا سطح زیرکشت پایینی دارد، لذا مطالعات زیادی در رابطه با کارایی انرژی در زراعت زعفران در سایر مناطق دنیا انجام نگرفته است، بنابراین نمی‌توان مقایسه‌ای جهانی در این رابطه انجام داد (*Shahraki et al., 2010*). میزان انرژی‌های ورودی و خروجی در مزارع زعفران در خراسان جنوبی نسبت به خراسان رضوی به‌ترتیب ۲/۴۵ و ۴/۲۵ گزارش شده است که با توجه به تأثیر مثبت استفاده توأم کودهای شیمیایی و دامی (*Amiri, 2008*)، می‌توان افزایش کارایی مصرف انرژی مزارع خراسان جنوبی را به استفاده بیشتر این کودها در این بوم‌نظام‌ها نسبت داد (*Khorramdel et al., 2017; Shahraki et al., 2010*). کارایی مصرف انرژی نظام‌های مدیریتی تحت عنوان شاخص پایدار توسعه کشاورزی است و افزایش سهم نهاده‌های ورودی کاهش آن را موجب می‌گردد (*Seal et al., 2017*)، لذا برای افزایش کارایی مصرف انرژی دو راهکار کلی قابل تصور است: افزایش خروجی و کاهش منطقی نهاده‌ها، به‌طوری‌که دستیابی به عملکرد قابل قبول را مختل نسازد (*Ahmadi & Aghaalikhani, 2012*). بر این اساس، از آنجا که عملکرد تابع مصرف انرژی بوده و مصرف مؤثر انرژی برای تولید پایدار مورد نیاز است (*Yuan et al., 2018*) و با در نظر گرفتن اینکه بهبود کارایی مصرف انرژی به عنوان یکی از شاخص‌های مهم انرژی در کشاورزی باعث کاهش مشکلات محیط زیستی، جلوگیری از تخریب منابع طبیعی و حرکت به سمت کشاورزی پایدار همراه با بهبود وضعیت اقتصادی نظام تولیدی مطرح می‌شود (*Seal et al., 2017*) و از طرفی این شاخص جامع اطلاعاتی را در خصوص تفاوت ساختار و کارکردهای نظام‌های کشاورزی فراهم می‌نماید که تعیین‌کننده قابلیت و توان نظام جهت حفظ کارکردهای آن نظام کشاورزی است (*Guzmán & de Molina, 2015*)، پیشنهاد می‌شود به منظور ارزیابی و مدیریت جامع نظام‌های کشاورزی در راستای دستیابی به پایداری مطالعه دقیق‌تر این شاخص مدنظر قرار داده شود. علاوه بر اینکه وضعیت شاخص‌های انرژی و بهبود کارایی مصرف انرژی بر انتشار کربن (*Wang et al., 2008*)، تنوع زیستی (*Olaniran & Igbinosa, 2011*) و سلامت انسان (*Wolfe & Patz, 2002; Margni et al., 2002*) و در نهایت، حفظ محیط زیست (*Yuan & Peng, 2017*) تأثیر بسزایی دارد. همچنین با توجه به بالاتر بودن سهم کودهای نیتروژنه و سوخت به عنوان دو نهاده مهم در تولید گندم (جدول ۱) پیشنهاد می‌شود به منظور ارتقاء کارایی مصرف انرژی از مصرف نهاده‌های آلی، کاشت گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و نظام‌های خاکورزی کاهش یافته و حفاظتی بهره‌گیری گردد که این امر می‌تواند بهبود شاخص‌های انرژی را به دنبال داشته باشد. کاردونی و همکاران (*Kardoni et al., 2015*) نیز با تجزیه و تحلیل کارایی انرژی تولید گندم در کشور نتیجه گرفتند که بهبود کارایی مصرف کودهای شیمیایی، کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی از طریق اصلاح نظام‌های خاکورزی، روش‌های برداشت و سایر عملیات زراعی می‌تواند به طور مؤثری موجب بهبود شاخص‌های کاریی انرژی شود.

در این مطالعه بهره‌وری انرژی برای زعفران و گندم به ترتیب ۰/۰۰۰۰۱۹ و ۰/۰۹۷ کیلوگرم به ازای مگاژول محاسبه شد (جدول ۲). این بدین معنی است که به‌ترتیب ۰/۰۰۰۰۱۹ و ۰/۰۹۷ کیلوگرم محصول به ازای هر واحد انرژی در مزارع این محصولات حاصل می‌شود. این شاخص در مزارع گندم استان اردبیل ۰/۰۹۶ (*Shahan et al., 2008*) و در مزارع گندم شهرستان‌های گرگان و مرودشت به ترتیب ۰/۱۲۵ و ۰/۱۲۳ (*Shahraki et al., 2010*) گزارش شده است. همچنین این شاخص برای مزارع سیب‌زمینی همدان بین ۰/۲۷ تا ۰/۳۲ اعلام شده است (*Zangeneh et al., 2010*). اختلاف زیادی که در این شاخص بین مزارع زعفران و گندم وجود دارد، بعلت کم‌تر بودن عملکرد اقتصادی زعفران است. همچنین انرژی ویژه برای تولید زعفران و گندم به‌ترتیب ۵۱۲۳۵/۱۵ و ۱۰/۲۹ مگاژول به ازای کیلوگرم محاسبه شد (جدول ۲). گزارش‌ها حاکی است که این نسبت برای گیاهان و در شرایط آب و هوایی مختلف به میزان زیادی متفاوت است، به طوری‌که این شاخص در ترکیه در زراعت گندم ۵/۲۴، در پنبه ۱۱/۲۴، در ذرت ۳/۸۸، برای کنجد ۱۶/۲۱، گوجه فرنگی ۱/۱۴ و برای هندوانه ۰/۹۷ گزارش شده است (*Canakci et al., 2005*). همچنین این شاخص در مزارع گندم اردبیل ۱۰/۴۳ برآورد شده است (*Shahan et al., 2008*). لال (*Lal, 2010*) اظهار داشت افزایش شدت عملیات خاکورزی و افزایش مصرف نهاده‌های شیمیایی در نظام‌های کشاورزی می‌تواند علاوه بر کاهش شاخص‌های انرژی، کاهش بودجه

کربن را در نظام‌های کشاورزی بـه دنبـال داشـته باشـد و از طریـق کـاهش کیفیـت و حاصـلخیزی خـاک در درازمـدت تهدیدی برای امنیت تولید پایدار غـذا در نظـام‌هـای زراعـی محسوب می‌شود. علاوه بر اینکـه افـزایش بـی‌رویـه مصـرف کودهای شیمیایی بجز کاهش درآمدهای اقتصـادی، تشـدید آلـودگی‌هـای زیسـت محیطـی همچـون انتشـار گازهـای گلخانه‌ای، پتانسیل اسیدی شدن و افت کیفیت آب‌ها را نیـز موجب می‌شود (*Yuan & Peng, 2017*).

فشردگی انـرژی بـرای بـوم‌نظـام‌هـای زعفـران و گنـدم به‌ترتیب ۴۶/۹۳ و ۳۳/۴۸ مگاژول به ازای دلار محاسبه شـد (جدول ۲). انرژی خالص برای بوم‌نظام‌های زعفـران و گنـدم بـه‌ترتیـب ۳۴/ ۱۵۳۸۰۹- و ۵۹۰۱۳/۱۸ مگـاژول بـه ازای هکتار بدست آمد (جدول ۲). انرژی خـالص کـه از اخـتلاف انرژی خروجی و ورودی حاصل مـی‌گـردد (*Demircan et al., 2006*)، در مزارع گندم اردبیل ۴۵۷۰۷/۰۶ مگاژول بـه ازای هکتـار (*Shahan et al., 2008*) و در مـزارع گنـدم گرگـان و مرودشـت بـه‌ترتیـب ۶۱۲۲۲/۲۲ و ۶۵۲۷۷/۱۹ مگاژول به ازای هکتـار (*Kazem & Zare, 2014*) گـزارش شده است. انـرژی خـالص مـزارع زعفـران خراسـان رضـوی بصورت منفی محاسبه شده است که بدلیل بالاتر بودن سهم انرژی‌های ورودی به خروجـی اسـت کـه قسـمت اعظـم آن بدلیل استفاده فراوان از نیروی انسـانی بواسـطه معیشـتی و سنتی بودن نوع مدیریت و مصرف کود دامی در ایـن مـزارع است. کوچکی و همکـاران (*Koocheki et al., 2017*) نیـز بیان داشتند که مدیریت نظام‌های زعفران به صورت «نظام-های بهره‌برداری خانوادگی» یا «کشاورزی خـانوادگی» بـوده و تمـامی مراحـل تولیـد آن از کاشـت تـا فـرآوری پـس از برداشت به صورت سنتی و خانواده محور اجرا می‌شود.

شاخص‌های اقتصادی: کل هزینه‌های تولید برای بوم‌نظام‌های زعفران و گندم به‌ترتیب ۴۳۰۱ و ۱۵۱۱ دلار بر هکتار محاسبه شد، در حالی‌که سود ناخالص برای تولید این محصولات به ترتیب ۳۷۰۶ و ۱۰۳۱ و سود خالص ۲۲۳۳ و ۱۱۹ دلار بر هکتار بدست آمد (جدول ۳). نسبت سود به هزینه برای این مزارع به ترتیب ۱/۵۲ و ۱/۰۸ بدست آمد (جدول ۳) که این شاخص برای مزارع گندم اردبیل ۱/۴۳ (*Shahan et al., 2008*)، گیلاس ۲/۵۳ (*Demircan et al., 2006*)، پرتقال ۲/۳۷، لیمو ۱/۸۹ و پرتقال ماندارین ۱/۸۸ (*Ozkan et al., 2004*)، پنبه ۰/۸۶ (*Yilmaz et al., 2005*) و چغندرقند ۱/۱۷ (*Erdal et al., 2007*) گزارش شده است. بهره‌وری اقتصادی بوم‌نظام‌های زعفران و گندم به‌ترتیب ۰/۰۰۱ و ۳/۲۵ کیلوگرم بر دلار به‌دست آمد (جدول ۳). سود خالص و ناخالص مزارع زعفران به‌ترتیب ۱۷/۷۶ و ۲/۶ برابر مزارع گندم و نسبت سود به هزینه هم در مزارع زعفران ۰/۴ برابر مزارع گندم محاسبه شد (جدول ۳) که نشان‌دهنده ارزش اقتصادی بالاتر مزارع زعفران است و تأثیر مثبت زراعت آن را در بهبود وضعیت معیشتی کشاورزان مبرهن می‌سازد. اگرچه به ظاهر، در نظام‌هایی که انرژی بیشتری صرف تولید محصول می‌شود، تولید هر واحد از محصول با صرف هزینه بیشتری صورت می‌گیرد، ولی به دلیل ارزش زیاد زعفران تولیدی، قیمت بالای آن و همچنین اشتغال درصد زیادی از روستاییان (نیروی انسانی بالا) و همچنین نیاز آبی پایین این گیاه، توسعه کشت آن توجیه‌پذیر می‌باشد، به ویژه که این گیاه وابستگی کمتری به انرژی سوخت‌های فسیلی داشته و همسویی بهتری با محیط زیست دارد (*Shahraki et al., 2010*). برخی بررسی‌ها (*Soni et al., 2018*) نیز مؤید آن است که با افزایش اندازه زمین استفاده از نیروی انسانی کاهش می‌یابد که این امر نشان‌دهنده وابستگی و تکیه بیشتر بر ماشین‌آلات با افزایش اندازه زمین است.

شاخص‌های کارایی استفاده از زمین، آب و کودهای شیمیایی: کارایی استفاده از زمین در گندم ۶۳ درصد و در زعفران ۱۰۰ درصد بدست آمد (جدول ۴). طول دوره رشد گندم بطور متوسط ۲۳۰ روز اما زعفران بعلت چند ساله بودن ۳۶۵ روز در نظر گرفته شد، بهره‌وری زمین در مزارع گندم و زعفران به‌ترتیب ۲۱/۳۶ و ۰/۰۱ کیلوگرم بر هکتار در روز و بهره‌وری اقتصادی زمین در این مزارع به‌ترتیب ۶/۱۲ و ۰/۵۲ دلار بر کیلوگرم در روز محاسبه شد (جدول ۴). بهره‌وری آب در مزارع گندم و زعفران به‌ترتیب ۰/۸۲ و ۰/۰۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد و بهره‌وری اقتصادی آب در این مزارع گندم و زعفران به‌ترتیب ۰/۲۷ و ۱/۷ دلار بر هکتار در روز به‌دست آمد (جدول ۴).

1- *Family farming*

جدول ۳. تجزیه و تحلیل اقتصادی نظام‌های تولید گندم و زعفران در استان خراسان رضوی

Table 3. Economic analysis of wheat and saffron production systems in Khorasan-e Razavi Province

شاخص اقتصادی Economic index	واحد Unit	مقدار Quantity گندم Wheat	 زعفران Saffron
کل هزینه تولید *Total cost of production*	*$.ha^{-1}$*	*1511*	*4301*
کل هزینه تولید *Total cost of production*	*$.kg^{-1}$*	*0.31*	*1092*
سود ناخالص *Gross return*	*$.ha^{-1}$*	*1031*	*3706*
سود ناخالص *Gross return*	*$.kg^{-1}$*	*0.21*	*941*
سود خالص *Net return*	*$.ha^{-1}$*	*119*	*2233*
سود خالص *Net return*	*$.kg^{-1}$*	*0.024*	*567*
نسبت سود به هزینه *Benefit to cost ratio*		*1.08*	*1.52*
بهره‌وری اقتصادی *Economic productivity*	*$kg.\$^{-1}$*	*3.25*	*0.001*

* عملکرد اقتصادی گندم و زعفران به ترتیب دانه و کلاله در نظر گرفته شده است.

** Economic yields of wheat and saffron are grain and stigma, respectively.*

جدول ۴. شاخص‌های کارایی استفاده از زمین، آب و کودهای شیمیایی در نظام‌های تولید گندم و زعفران

Table 4. Efficiency indices for land use, water and chemical fertilizers in wheat and saffron production systems

شاخص کارایی Efficiency index	واحد Unit	مقدار Quantity گندم Wheat	 زعفران Saffron
کارایی استفاده از زمین *Land use efficiency*	*%*	*63*	*100*
بهره‌وری زمین *Land productivity*	*$kg.ha^{-1}.day^{-1}$*	*21.36*	*0.01*
بهره‌وری اقتصادی زمین *Land economic productivity*	*$\$.ha^{-1}.day^{-1}$*	*0.52*	*6.12*
بهره‌وری آب *Water productivity*	*$kg.m^{-3}$*	*0.82*	*0.001*
بهره‌وری اقتصادی آب *Water economic productivity*	*$\$.m^{-3}$*	*0.27*	*1.7*
کارایی مصرف نیتروژن *Nitrogen use efficiency*	*$kg.kg^{-1}$*	*24.57*	*0.04*
کارایی مصرف فسفر *Phosphorous use efficiency*	*$kg.kg^{-1}$*	*57.13*	*0.05*
کارایی مصرف پتاسیم *Potassium use efficiency*	*$kg.kg^{-1}$*	*140.39*	*0.12*

شاخص کارایی استفاده از زمین بیانگر درصد اشغال زمین توسط محصول طی یک سال می‌باشد که بدلیل طول دوره رشد کوتاهتر برای گندم به مراتب بالاتر از زعفران محاسبه شد، از طرفی مقایسه شاخص بهره‌وری اقتصادی زمین برای این دو گیاه نشان می‌دهد که گیاه زعفران به ازای دوره رشد خود محصول بیشتری را نسبت به گندم تولید کرده است که در نتیجه بهره‌وری اقتصادی زمین برای آن به مراتب بالاتر از گندم به دست آمد (جدول ۴) که این موضوع به سود خالص بالاتر زعفران بر می‌گردد. بهره‌وری آب کشاورزی در کشور حدود ۰/۸۸ کیلوگرم به ازای مصرف یک مترمکعب مصرف آب است که برای گندم، شلتوک، پنبه، ذرت، چغندرقند و نیشکر به‌ترتیب ۰/۷۷، ۰/۳۶، ۰/۱۶، ۰/۵۱، ۰/۳۴ و ۰/۳۱ کیلوگرم به ازای مترمکعب آب گزارش شده است *(Keshavarz & Dehghani, 2012)*. در تحقیقی در کشور پرتغال بر روی گیاه گندم بهره‌وری آب بین ۰/۷۲ تا ۲/۲۳ کیلوگرم به ازای مترمکعب آب گزارش شده است (*Rodrigues & Pereira, 2009*). تفاوت در بهره‌وری آب بین محصولات و تحت شرایط اقلیمی مختلف می‌تواند تحت تأثیر عوامل زیادی از جمله شرایط اقلیمی، مدیریت زراعی، کیفیت آب و خاک و نوع روش آبیاری باشد.

کارایی مصرف نیتروژن در مزارع گندم و زعفران به‌ترتیب ۲۴/۵۷ و ۰/۰۴ کیلوگرم بر کیلوگرم، کارایی مصرف فسفر به‌ترتیب ۵۷/۱۳ و ۰/۰۵ کیلوگرم بر کیلوگرم و کارایی مصرف پتاسیم نیز به‌ترتیب ۱۴۰/۳۹ و ۰/۱۲ کیلوگرم در کیلوگرم محاسبه شد (جدول ۴). کارایی مصرف نیتروژن نسبت به شاخص‌های کارایی مصرف فسفر و پتاسیم کمتر است. بطور کلی، بر طبق تحقیقات انجام شده (*Koocheki & Hosseini, 1995*) کارایی کودهای نیتروژن نسبتاً پایین بوده و مشخص شده است که مقدار جذب آنها به وسیله یک گیاه زراعی در مناطق معتدله کمتر از ۵۰ درصد می‌باشد. اولانیان و همکاران *(Olaniyan et al., 2004)* دلایل پایین بودن راندمان جذب نیتروژن را آزادسازی نیتروژن از بافت‌های گیاهی، نیترات‌زدایی، آبشویی و تصعید آمونیوم بیان کردند. میانگین جهانی کارایی مصرف نیتروژن برای گندم ۴۴/۵ کیلوگرم بر کیلوگرم گزارش شده است (*Prasad, 2009*). ژو و همکاران **(***Zhu et al., 2012***)** نیز کارایی مصرف فسفر را برای گندم حدود ۶۷/۰۴ کیلوگرم بر کیلوگرم گزارش کردند. به طور کلی، اگرچه با افزایش مقدار کود مصرفی عملکرد محصول افزایش پیدا می‌کند، اما کارایی مصرف کود عموماً کاهش می‌یابد (*Vaezi et al., 2002*) و از طرفی اثرات محیط زیستی به واسطه نشت آلودگی‌ها نیز تشدید می‌شود. کارایی مصرف نیتروژن و فسفر برای زعفران در هنگام استفاده از کود دامی بیش از کود شیمیایی است که در این راستا، کوچکی و سیدی (*Koocheki & Seyyedi, 2015*) کارایی مصرف نیتروژن و فسفر را تحت تأثیر استفاده از کمپوست کود دامی به‌ترتیب، ۲۷/۲ و ۱۶/۱۸ گرم بر گرم برای کود شیمیایی به‌ترتیب ۱۶/۸۹ و ۹/۷۹ گرم بر گرم گزارش نمودند. به‌طور کلی، برتری کودهای آلی نسبت به کودهای شیمیایی از نظر جذب نیتروژن و افزایش عملکرد می‌تواند ناشی از فراهمی متعادل‌تر عناصر غذایی در خاک تحت تأثیر آزادسازی آهسته و تدریجی عناصر غذایی، افزایش سطح مواد آلی و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و نیز آبشویی کمتر عناصر غذایی در طی زمان باشد (*Mando et al., 2005; Safadoust et al., 2007; Limon-Ortega et al., 2008*).

ارزیابی چرخه حیات: پتانسیل گرمایش جهانی نظام‌های تولید زعفران و گندم در استان خراسان رضوی به‌ترتیب ۳۴۸۷۴/۳۵ کیلوگرم معادل CO_2 به ازای یک کیلوگرم کلاله و ۹۳۷/۶۶ کیلوگرم معادل CO_2 به ازای یک تن دانه محاسبه شد. سهم انتشار هر کدام از گازهای گلخانه‌ای در هر دو نظام مورد مطالعه نشان می‌دهد که انتشار CO_2 از گازهای دیگر بیشتر است و N_2O در رتبه دوم قرار دارد (جدول ۵). پتانسیل گرمایش جهانی کلزا و چغندرقند ۱۳۴۲/۰۱ و ۲۷/۲۵ کیلوگرم معادل CO_2 به ازای یک تن عملکرد اقتصادی *(Koocheki et al., 2018)* گزارش شده است. مصرف انرژی در بوم‌نظام‌های زراعی به‌واسطه استفاده از نهاده‌های شیمیایی، ماشین‌های کشاورزی و آبیاری موجب انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود (*Gasol et al., 2007; Ramedani et al., 2011*). بررسی‌ها نشان داده است که کاهش کاربرد آبیاری، مصرف انرژی و انتشار کربن را در نتیجه کاهش مصرف آبهای زیرزمینی کاهش می‌دهد (*Karimi et al., 2012*). مصرف سوخت‌های فسیلی و اجرای خاکورزی‌های فشرده از جمله مهمترین عوامل انتشار CO_2 در بوم‌نظام‌های کشاورزی محسوب می‌شوند (*Dyer et al., 2003; Moudrý et al., 2013*). از جمله دلایل مصرف بالای سوخت در مزارع زعفران، بکارگیری ماشین-

آلات فرسوده و با عمر زیاد و عدم تناسب اندازه ماشین با عملیات زراعی و مساحت مزرعه است. علاوه بر این، اجرای خاک‌ورزی‌های فشرده به ویژه در مناطق خشک و نیمه-خشک بدلیل تسریع در اکسیداسیون ماده آلی موجب تلفات کربن از خاک به صورت دی‌اکسید کربن می‌شود (*Reicosky et al., 1997*). CO_2 حدود ۶۰ درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص می‌دهد. در حالی‌که ۸۱ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای متأثر از مصرف سوخت‌های فسیلی است (*Teimouri et al., 2014*). اگرچه انتشار متان از بوم‌نظام‌های زراعی غیرغرقابی معمولاً بسیار ناچیز بوده و اغلب در محاسبات منظور نمی-شود، ولی مصرف کودهای حیوانی مهمترین منبع انتشار این گاز از مزارع بوده و میزان آن ۰/۳۷ گرم متان به ازای هر کیلوگرم کود حیوانی در سال گزارش شده است (*Van der Hoek & Van Schijndel, 2006*). انتشار N_2O بین یک تا دو درصد از نیتروژن مصرفی گزارش شده که البته تا پنج درصد هم می‌رسد (*Crutzen et al., 2008*)، زیرا N_2O در اثر دنیتریفیکاسیون تولید و از مقدار کل نیتروژن، ۳/۵ درصد تبدیل به N_2O می‌شود. بارکر-رید و همکاران (*Barker-Reid et al., 2005*) انتشار سالانه N_2O از مزارع گندم دیم استرالیا را ۰/۲۷-۰/۲ کیلوگرم N_2O به ازای نیتروژن مصرفی در هکتار (۰/۱۱-۰/۰۶ درصد نیتروژن مصرفی) گزارش کردند. مونتی و همکاران (*Monti et al., 2009*) کاشت گیاهان چندساله و تثبیت‌کننده نیتروژن را راهکاری برای تخفیف انتشار گازهای CO_2، N_2O و CH_4 در گروه تأثیر گرمایش جهانی تحت تأثیر کاهش شدت خاکورزی و مصرف کودهای شیمیایی معرفی نمودند. بر این اساس، واردات تکنولوژی‌های پاک و سازگار با محیط‌زیست و اجرای خاک‌ورزی‌های حفاظتی می‌تواند نقش مؤثری در راستای تخفیف غلظت دی‌اکسید کربن به همراه داشته باشد (*Al-Kaisi & Yin, 2005*). در این راستا، کیائو و همکاران (*Qiao et al., 2014*) اظهار داشتند که در نظام‌های کشاورزی دیم ذرت- سویا- گندم در شمال چین مصرف کودهای دامی موجب افزایش عملکرد همراه با تخفیف پتانسیل گرمایش جهانی در مقایسه با مصرف کودهای شیمیایی *NPK* گردید.

پتانسیل اسیدی شدن مزارع زعفران و گندم به‌ترتیب ۶/۵۱ کیلوگرم معادل SO_2 به ازای یک کیلوگرم کلاله و ۰/۰۰۵ کیلوگرم معادل SO_2 به ازای یک تن دانه محاسبه شد. پتانسیل اسیدی شدن نظام‌های تولید کلزا و چغندرقند ۰/۰۷ و ۴/۰۴ کیلوگرم معادل SO_2 به ازای یک تن عملکرد اقتصادی (*Koocheki et al., 2018*) گزارش شده است. سهم انتشار NH_3 در مزارع زعفران به‌ترتیب برابر ۳/۱۹ و ۱/۳۳ برابر به‌ترتیب NO_x و SO_2 و سهم انتشار آن برای گندم آبی ۳/۲ و ۱/۳۳ NO_x و SO_2 تعیین گردید (جدول ۵). بررسی‌ها و مطالعات نشان داده است هر چه یک نظام تولیدی فشرده‌تر باشد، سهم NH_3 ناشی از تصعید کودها در اسیدی شدن تشدید شده و از سهم NO_x و SO_2 کاسته می‌شود (*Brentrup et al., 2004*). بین نهاده‌های تولید، مصرف کودهای شیمیایی بیشترین تأثیر را بر تشدید پتانسیل گروه تأثیر اسیدی شدن دارند (*ECETOC, 1994*). به طوری‌که افزایش مصرف کودهای نیتروژنه و بکارگیری ماشین آلات از طریق انتشار NH_3 و NO_x باعث تشدید انتشار آلاینده‌های این گروه تأثیر به محیط می‌شود و پتانسیل آن را افزایش می‌دهد. انتشار NH_3 عمدتاً ناشی از تولید و به‌کارگیری کودهایی با بنیان نیتروژن، ۲۰ درصد از کل انتشار آلاینده‌های این گروه تأثیر را به خود اختصاص می‌دهد (*Brentrup et al., 2004a, b*). فعالیت‌های کشاورزی یکی از مهمترین بخش‌های نشت نیتروژن به محیط زیست است (*Billen et al., 2013*). تولید کودهای شیمیایی و به ویژه کودهای نیتروژنه علاوه بر مصرف انرژی یکی از مهمترین موارد مؤثر در ایجاد آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی محسوب می‌شود (*Bexfield, 2008; Zhang et al., 2012*)

جدول ۵. آلاینده‌ها، شاخص‌های تأثیر چرخه حیات و منشأ انتشار آلاینده‌ها در گروه‌های مختلف تأثیر در نظام‌های تولید گندم و زعفران به ازای واحد کارکردی

Table 5. Pollutants, life cycle impact indicators and relevant hotspots of different impact categories in wheat and saffron production systems per one functional unit

گروه تأثیر Impact category	واحد Unit	منشأ Hotspots	مقدار Amount گندم Wheat	مقدار Amount زعفران Saffron	آلاینده‌ها Pollutants	مقدار Amount گندم Wheat	مقدار Amount زعفران Saffron
گرمایش جهانی *Global warming*	کیلوگرم معادل CO_2 *kg CO_2 eq.*	کودهای شیمیایی (نیتروژن و فسفر)، کود دامی و سوخت‌های فسیلی *Chemical fertilizers (N and P), Organic fertilizer and diesel*	*937.66±18.91**	*34874.35±1675.32*	CO_2	*535.83*	*19906.99*
					CH_4	*33.67*	*1254.10*
					N_2O	*368.16*	*13713.26*
اسیدی شدن *Acidification*	کیلوگرم معادل SO_2 *kg SO_2 eq.*	کودهای شیمیایی (نیتروژن و فسفر) و انتشار مستقیم از احتراق سوخت‌های فسیلی *Chemical fertilizers (N and P) and direct emissions from diesel combustion*	*0.005±0.0003*	*6.51±1.56*	NH_3	*1.37*	*50.96*
					NO_x	*0.43*	*15.93*
					SO_2	*1.03*	*38.22*
اوتریفیکاسیون آبی *Aquatic eutrophication*	کیلوگرم معادل PO_4 *kg PO_4 eq.*	انتشار مستقیم از احتراق سوخت‌های فسیلی و کود شیمیایی نیتروژن *Direct emissions from diesel combustion and fertilizer N*	*0.26±0.01*	*9.68±1.03*	N	*0.06*	*2.23*
					P	*0.0001*	*0.003*
					NH_4	*0.56*	*21.02*
					NH_3	*0.60*	*22.30*
					NO_x	*0.22*	*8.28*
					NO_3	*0.17*	*6.37*
					PO_4	*0.01*	*0.28*
اوتریفیکاسیون خشکی *Terrestrial eutrophication*	کیلوگرم معادل NO_x *kg NO_x eq.*		*0.10±0.004*	*3.64±0.81*	NH_3	*3.68*	*136.96*
					NO_x	*1.03*	*38.22*

* انحراف معیار

** Standard deviation*

جدول ۶. شاخص بوم‌شناخت (EcoX به ازای واحد کارکردی*) در گروه‌های تأثیر در نظام‌های تولید گندم و زعفران در استان خراسان رضوی

Table 6. Environmental indicator (EcoX/functional unit*) of different impact categories in wheat and saffron production systems in Khorasan-e Razavi Province

گروه تأثیر/شاخص بوم‌شناخت Impact category/ Environmental indicator	مقدار Quantity		درصد از کل شاخص بوم شناخت Percentage of the total environmental indicator	
	گندم Wheat	زعفران Saffron	گندم Wheat	زعفران Saffron
گرمایش جهانی (کیلوگرم معادل CO_2) *Global warming (kg CO_2 eq.)*	*0.10*	*3.80*	*22*	*16*
اسیدی شدن (کیلوگرم معادل SO_2) *Acidification (kg SO_2 eq.)*	*0.005*	*6.51*	*1*	*28*
اوتریفیکاسیون آبی (کیلوگرم معادل PO_4) *Aquatic eutrophication (kg PO_4 eq.)*	*0.26*	*9.68*	*56*	*41*
اوتریفیکاسیون خشکی (کیلوگرم معادل NO_x) *Terrestrial eutrophication (kg NO_x eq.)*	*0.10*	*3.64*	*21*	*15*
شاخص بوم‌شناخت (*EcoX*) *Environmental indicator (EcoX)*	*0.46*	*22.62*	-	-

* واحدهای کارکردی گندم و زعفران به ترتیب شامل یک تن دانه و یک کیلوگرم کلاله می‌باشد.

** Functional units of wheat and saffron are one ton grain and one kg stigma, respectively.*

پتانسیل اوتریفیکاسیون آبی نظام‌های زعفران و گندم به‌ترتیب ۹/۶۸ کیلوگرم معادل PO_4 به ازای یک کیلوگرم کلاله و ۰/۲۶ کیلوگرم معادل PO_4 به ازای یک تن دانه محاسبه گردید. پتانسیل اوتریفیکاسیون خشکی نظام‌های زعفران و گندم به‌ترتیب ۳/۶۴ کیلوگرم معادل NO_x به ازای یک کیلوگرم کلاله و ۰/۱ کیلوگرم معادل NO_x به ازای یک تن دانه محاسبه شد (جدول ۵). انتشار نیترات به عنوان یکی از عوامل مؤثر در گروه تأثیر اوتریفیکاسیون، بیش از هر چیز به شرایط اقلیمی و خصوصیات خاک بستگی داشته و در شرایط ثابت محیطی تابع میزان مصرف نیتروژن است (*Charles et al., 2006*). به طوری‌که با افزایش مصرف کودهای نیتروژنی سهم NO_3^- در پتانسیل این گروه تأثیر از سایر عوامل بیشتر می‌شود. برنتراپ و همکاران (*Brentrup et al., 2004b*) با بررسی میزان انتشار NO_3^- در سطوح مختلف مصرف نیتروژن کودی نشان دادند که انتشار NO_3^- در مقادیر کم مصرف نیتروژن اندک بود، ولی با افزایش مصرف کود بطور نمایی افزایش یافت. علاوه بر این، فسفر به عنوان یکی دیگر از اصلی‌ترین عوامل مؤثر در تشدید اوتریفیکاسیون در بیشتر بوم‌نظام‌های زراعی دنیا محسوب می‌شود (*Charles et al., 2006*). خوشنویسان و همکاران (*Khoshnevisan et al., 2014*) بیان داشتند که در میان نهاده‌های مصرفی، مهم‌ترین عامل تشدیدکننده در گروه تأثیر اوتریفیکاسیون به فسفات (سهم ۶۸ درصد) اختصاص دارد. از طرفی، مواد آلی می‌توانند به صورت پوششی محافظ در اطراف ذرات کود، به عنوان پیونددهنده فسفر در محل‌های تبادل آنیونی و یا از طریق واکنش با فسفر و تشکیل ترکیبات فسفات آلی عمل نماید که قابلیت استفاده از فسفر به دلیل آزادسازی تدریجی آن افزایش می‌یابد (*Zolfi Bavariani & Nouruzi, 2010*). بر این اساس، پیشنهاد می‌شود به منظور کاهش اثرات محیط زیستی این گروه تأثیر، مصرف مناسب نهاده‌های کود آلی و مدیریت عناصر غذایی را برای کاهش نشت عناصر غذایی به محیط زیست و همچنین بهبود کارایی مصرف عناصر به ویژه نیتروژن و فسفر را مدنظر قرار داد.

شاخص بوم‌شناخت برای نظام‌های تولید زعفران و گندم در استان خراسان رضوی به‌ترتیب ۲۲/۶۲ *EcoX* به ازای یک کیلوگرم کلاله و ۰/۴۶ *EcoX* به ازای یک تن دانه بدست آمد. بیشترین سهم در مقایسه گروه‌های تأثیر مورد مطالعه از مجموع شاخص بوم‌شناخت برای گروه تأثیر اوتریفیکاسیون آبی (۵۶ درصد و ۴۱ درصد از کل شاخص بوم‌شناخت) به‌دست آمد (جدول ۶). عملکرد بالاتر دانه گندم نسبت به عملکرد اقتصادی زعفران (کلاله) کاهش اثرات محیط زیستی و به تبع آن کاهش شاخص بوم‌شناخت را برای این نظام تولیدی به دنبال داشت. نتایج برخی مطالعات مؤید آن است که ساده‌ترین راهکار برای بهبود وضعیت محیط زیستی، افزایش بهره‌وری و بهبود عملکرد

اقتصادی است (*Iriarte et al., 2010; Romero-Gámez et al., 2014*). بر این اساس، به منظور بهینه‌سازی نظام‌های تولید گندم و زعفران در استان خراسان رضوی از نظر انرژی و وضعیت اقتصادی و همچنین کاهش اثرات محیط زیستی پیشنهاد می‌شود بهینه‌سازی و انتخاب الگوی کاشت مناسب، جایگزینی نهاده‌ها و منابع غیرقابل تجدید با نهاده‌های تجدیدپذیر (*Alluvione et al., 2011*)، اجرای کشاورزی دقیق، توسعه بکارگیری تکنولوژی‌های نو (*Yuan & Peng, 2017*) و بهبود و ارتقای وضعیت ماشین آلات به جهت تخفیف اثرات محیط زیستی از یکطرف و بهره‌گیری از راهکارهای به‌زراعی به منظور افزایش تولید به خصوص در مورد گیاه زعفران از طرف دیگر مدنظر قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

با مقایسه روند انرژی، آنالیز اقتصادی و شاخص‌های اکولوژیکی در بوم‌نظام‌های زعفران و گندم در استان خراسان رضوی مشخص شد، دو عامل مهم انرژی ورودی به مزارع گندم آبی، کود شیمیایی نیتروژن و سوخت بری ماشین‌آلات و در مزارع زعفران تهیه بنه و الکتریسته برای پمپاژ آب بود. کارایی مصرف انرژی در بوم‌نظام‌های زعفران و گندم به‌ترتیب ۰/۰۰۰۴ و ۱/۴۳، کل هزینه تولید به‌ترتیب ۳۴۳۴ و ۱۵۱۱ دلار به کیلوگرم، سود خالص ۵۵۳ و ۱۱۹ دلار بر کیلوگرم و نسبت سود به هزینه ۱/۱۳ و ۱/۰۸ محاسبه شد. شاخص بهره‌وری اقتصادی زمین در این بوم‌نظام‌ها به‌ترتیب ۱/۵۱ و ۰/۵۲ دلار بر کیلوگرم در روز، بهره‌وری اقتصادی آب ۱/۲۶ و ۰/۲۷ دلار بر مترمکعب حاصل شد. کارایی مصرف نیتروژن در مزارع گندم و زعفران به‌ترتیب ۲۴/۵۷ و ۰/۰۴ کیلوگرم در کیلوگرم بدست آمد. با توجه به مقایسه شاخص‌های انرژی بنظر می‌رسد که زمین‌های زعفران با مساحت کمتر عمدتاً به نیروی انسانی و زمین‌های گندم با مساحت بیشتر بر بکارگیری ماشین‌آلات وابستگی بیشتری دارند. شاخص بوم‌شناخت برای این نظام‌ها به‌ترتیب ۲۲/۶۲ *EcoX* به ازای یک کیلوگرم کلاله و ۰/۴۶ *EcoX* به ازای یک تن دانه بدست آمد که بیشترین سهم در مقایسه گروه‌های تأثیر مورد مطالعه از مجموع شاخص بوم‌شناخت مربوط به اوتریفیکاسیون آبی (۵۶ درصد و ۴۱ درصد از کل شاخص بوم‌شناخت) به‌دست آمد. با عنایت به اینکه عملکرد اقتصادی زعفران و گندم به‌ترتیب ۳/۹۴ و ۴۹۱۳/۶۷ کیلوگرم در هکتار بوده و عملکرد اقتصادی زعفران بسیار کمتر است، به‌تبع آن شاخص بوم‌شناخت زعفران افزایش می‌یابد، اما شاخص‌های اقتصادی زعفران نشان‌دهنده ارزش بالاتر این محصول است که می‌تواند تا حدودی عملکرد کمتر آن را جبران نماید. کارایی بالاتر کودهای شیمیایی در گندم نیز نشان می‌دهد که گیاه زعفران نیاز به عملیات به‌نژادی و به‌زراعی بیشتری در جهت افزایش عملکرد و کارایی استفاده از نهاده‌ها دارد. به طور کلی، پیشنهاد می‌شود که فشرده‌سازی پایدار و اکولوژیک نظام‌های زراعی از طریق افزایش کارآیی استفاده از نهاده‌ها و جایگزینی نهاده‌های شیمیایی با نهاده‌های سازگار با محیط زیست با کاهش سهم انرژی‌های ورودی، جایگزینی نهاده‌ها و منابع غیرقابل تجدید با نهاده‌های تجدیدپذیر، افزایش سرمایه و توسعه بکارگیری تکنولوژی‌های نو و پاک، انتخاب سیاست‌های مناسب برای بهینه‌سازی الگوهای کشت و تخفیف اثرات محیط زیستی در گروه‌های مختلف تأثیر و کاهش گرمایش جهانی و تغییر اقلیم می‌تواند به عنوان راهکارهای پایدار برای افزایش تولید، همراه با کاهش جلوگیری از کاهش تنوع زیستی، آبشویی عناصر غذایی و انتشار گازهای گلخانه‌ای مدنظر قرار گیرد.

سپاسگزاری

بودجه این تحقیق از محل اعتبار طرح پژوهه شماره ۴۵۲۵۴ مورخ ۱۳۹۶/۰۸/۲۰ توسط معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

Agha Alikhani, M., Kazemi Poshtmasari, H., and Habibzadeh, F., 2013. Energy use pattern in rice production: A case study from Mazandaran province, Iran. Energy Convers. Manag. 69, 157-162.

Acaroglu, M., and Aksoy, A.S., 2005. The cultivation and energy balance of Miscanthus_giganteus production in Turkey. Biomass Bioenerg 29, 42–48.

Ahmadi, M., and Aghaalikhani, M., 2012. Analysis of energy use in cotton cropping in Golestan province in order to represent a strategy for increase of resources productivity. J. Agroecol. 4, 151-158. [in Persian with English Summary]

Alipoor, A., Keshavarz-Afshar, R., Ghalegolab Behbahani, A., Karimi Nejad, M., and Mohammadi, V., 2014. Evaluation of energy flow in irrigated wheat agroecosystems. A case study: Shahr-e-Rey City. J. Agric. Sci. Sustain. Prod. 23, 59-69. [in Persian with English Summary].

Al-Kaisi, M.M., and Yin, X., 2005. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn–soybean rotations. J. Environ. Qual. 34, 437–445.

Alluvione, F., Moretti, B., Sacco, D., and Grignani, C., 2011. EUE (energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture. Energy. 36(7), 4468-4481.

Alluvione, F., Moretti, B., Sacco, D., and Grignani, C., 2011. EUE (energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture. Energy 36, 4468-4481.

Amiri, M., 2008. Impact of Animal Manures and Chemical Fertilizers on Yield Components of Saffron (Crocus sativus L.). American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci. 4 (3), 274-279.

Asadollahpour, F., Yazdanii, S., Roustan, A., and Nekofar, F., 2016. Study of production structure and efficiency on rapeseed production scale in Iran. J. Agric. Dev. Economic. 47, 23–33. [in Persian with English Summary].

Bai, Z., Caspari, T., Gonzalez, M.R., Batjes, N.H., Mäder, P., Bünemann, E.K., Goede, R., Brussaard, L., Xu, M., Ferreira, C.S.S., Reintam, E., Fan, H., Mihelič, R., Glavan, M., and Tóth, Z., 2018. Effects of agricultural management practices on soil quality: A review of long-term experiments for Europe and China. Agr. Ecosyst. Environ. 265(1), 1-7.

Barker-Reid, F., Gates, W.P., Wilson, K., Baigent, R., Galbally, I.E., Meyer, C.P., Weeks, I.A., and Eckard, R.J., 2005. Soil nitrous oxide emission from rainfed wheat in SE Australia. In: A. van Amsted (Ed.). Non-CO_2 greenhouse gases (NCGG-4). Utrecht, the Netherlands: Mill Press.

Beheshti Tabar, I., Keyhani, A., and Rafiee, S., 2010. Energy balance in Iran's agronomy (1990-2006). Renew. Sustain. Energ. Rev. 14(2), 849-855.

Bergtold, J.S., Shanoyan, A., Fewell, J.E., and Williams, J.R., 2017. Annual bioenergy crops for biofuels production: Farmers' contractual preferences for producing sweet sorghum. Energy 119, 724-31.

Bexfield, L.M., 2008. Decadal-scale changes of pesticides in ground water of the United States, 1993-2003. J. Environ. Qual. 37, S226-S239.

Billen, G., Garnier, J., and Lassaletta, L., 2013. The nitrogen cascade from agricultural soils to the sea: Modelling nitrogen transfers at regional watershed and global scales. Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. B Biol. Sci. 368, 20130123.

Biswas, W.K., J., Graham, Kelly, K., and John, M.B., 2010. Global warming contributions from wheat, sheep meat and wool production in Victoria, Australia– a life cycle assessment. J. Clean. Prod. 18(14), 1386-1392.

Brentrup, F., Küsters, J., Kuhlmann, H., and Lammel, J., 2001. Application of the life cycle assessment methodology to agricultural production: An example of sugar beet production with different forms of nitrogen fertilisers. Eur. J. Agron. 14, 221–233.

Brentrup, F., Küsters, J., Kuhlmann, H., and Lammel, J., 2004a. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. Eur. J. Agron. 20(3), 247–264.

Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Barraclough, P., and Kuhlmann, H., 2004b. 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. Eur. J. Agron. 20(3), 265–279.

Brussard, L., and Ferrera Cenato, R., 1997. Soil ecology in sustainable agricultural systems. Lewis puplishers, New York, 168 p.

Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I., and Ozmerzi, A., 2005. Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya region, Turkey. Energ. Convers. Manage. 46, 655–666.

Charles, R., Jolliet, O., Gillard, G., and Pellet, D., 2006. Environmental analysis of intensity level in wheat production using life cycle assessment. Agr. Ecosyst. Environ. 113, 216-225.

Chaudhry, M. A., Rehman, A., Naeem, M.A., and Mushtaq, N., 1999. Effect of organic and inorganic fertilizers on nutrient contents and some properties of eroded loess soils. Pak. J. Soil Sci. 16, 63-68.

Chel, A., and Kaushik, G., 2011. Renewable energy for sustainable agriculture. Agron. Sustain. Dev. 31, 91–118.

Cronbach, L.J., 1951. Coefficient alpha and the internal structure of tests. Psychometrika. 16(3), 297-334.

Crutzen, P.J., 1981. Atmospheric chemical processes of the oxides of nitrogen, including nitrous oxide. In: C.C. Delwiche (Ed.), Denitrification, nitrification, and atmospheric nitrous oxide (pp. 17–44). New York: Wiley.

Danesh-Shahraki, A., Kashani, A., Mesgarbashi, M., Nabipour, M., and Kouhi-Dehkordi, A., 2008. The effect of plant densities and time of nitrogen application on some agronomic characteristic of rapeseed. Appl. Field Crop Res.79, 10–17. [in Persian with English Summary].

Dash, P.K., Bhattacharyya, P., Shahid, M., Roy, K.S., Swain, C.K., Tripathi, R., and Nayak, A.K., 2017. Low carbon resource conservation techniques for energy savings, carbon gain and lowering GHGs emission in lowland transplanted rice. Soil Till. Res. 174, 45-57.

Demircan, V., Ekinci, K., Keener, H.M., Akbolat, D., and Ekinci, C., 2006. Energy and economic analysis of sweet cherry production in Turkey: A case study from Isparta province. Energ. Convers. Manage. 47, 1761–1769.

Dyer, J.A., and Desjardins, R.L., 2003. The impact of farm machinery management on greenhouse gas emissions from Canadian agriculture. Journal of Sustain. Agric. 20, 59–74.

ECETOC., 1994. European Chemical Industry Ecology and Toxicology Centre (ECETOC). 1994. Ammonia Emissions to Air in Western Europe. Technical Report No. 62. ECETOC, Brussels.

Erdal, G., Esengun, K., Erdal, H., and Gunduz, O., 2007. Energy use and economical analysis of sugarbeet production in Tokat province of Turkey. Energy. 32, 35-41.

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. Environ. Dev. Sustain. 14, 979-992.

Fei, R., and Lin, B., 2017. Estimates of energy demand and energy saving potential in china's agricultural sector. Energy. 135, 865-875.

Feizi, H., Sahabi, H., and Karbasi, A., 2015. Saffron: An efficient crop production system in energy use in Iran. J. Adv. Agric. Technol. 2(1), 38-41.

Ferrari, A. M., Pini, M., Sassi, D., Zerazion, E., and Neri, P., 2018. Effects of grape quality on the environmental profile of an Italian vineyard for Lambrusco red wine production. J. Clean Prod. 172, 3760-3769.

Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R.B.H., Christiansen, K., and Klüppel, H.J., 2006. The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. Int. J. Life Cycle Assess. 11(2), 80–85.

Galán, E., Padró, R., Marco, I., Tello, E., Cunfer, G., Guzmán, G.I., de Molina, M.G., Krausmann, F., Gingrich, S., Sacristán, V., Gasol, C.M., Gabarrell, X., Anton, A., Rigola, M., Carrasco, J., Ciria, M.J., and Rieradevall, J., 2007 .Life cycle assessment of a Brassica carinata bioenergy cropping system in southern Europe. Biomass Bioenerg. 31, 543-555.

Ghorbani. R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorramdel, S., and Teimouri, M., 2011. A case study of energy use and economical analysis of irrigated and dryland wheat production systems. Appl. Energy. 88, 283-288.

Guzmán, G.I., and de Molina, M.G., 2015. Efficiency in agrarian systems from an agroecological perspective. Agroecol. Sust. Food. 39(8), 924-952.

Iriarte, A., Rieradevall, J., and Gabarrell, X., 2010. Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions. J. Clean. Prod. 18(4), 336-345.

ISO (International Organization for Standardization)., 2006. ISO 14040: 2006(E) Environmental Management– Life

Cycle Assessment – Principles and Framework

Kardoni, F., Jami-Al Ahmadi, M., and Bakhshi, M.R., 2015. Energy efficiency analysis and modeling the relationship between energy inputs and wheat yield in Iran. Int. J. Agric. Manag. Dev. 5(4), 321-330.

Kardoni, F., Jami-Alahmadi, M., and Bakhshi, M.R., 2018. Econometric Analysis of Energy Use in Cereal Production of Iran (Case Study: Wheat, barley, corn, and rice). J. Agric. Econ. Res. 10(37), 133-148. [in Persian with English Summary].

Karimi, P., Qureshi, A.S., Bahramloo, R., and Molden, D., 2012. Reducing carbon emissions through improved irrigation and groundwater management: A case study from Iran. Agric. Water Manage. 108, 52–60.

Kazemi, H., 2016. Energy balance in modern agroecosystems; Why and how?. Agr. Res. Tech. 1(5), 555571.

Kazemi, H., and Zare, S., 2014. Investigation and comparison of energy flow in wheat fields of Gorgan and Marvdasht townships. Cereal Res. 4(3), 211-227. [in Persian with English Summary].

Kazemi, H., Shahbyki, M., and Baghbani, S., 2015. Energy analysis for faba bean production: A case study in Golestan province, Iran. Sustain. Prod. Consump. 3, 15-20.

Khan, S., and Hanjra, M.A., 2009. Footprints of water and energy inputs in food production global perspectives. Food Policy 234, 130-140.

Khorramdel, S., Abolhassani, L., and Azam Rahmati, E., 2017. Environmental impacts assessment of saffron agroecosystems using life cycle assessment methodology: (Case study: Torbat-e Heydarieh and Ghaen counties). J. Saffron Res. 4(2), 229-248. [in Persian with English Summary].

Khorramdel, S., Nassiri Mahallati, M., Moallem Banhangi, F., and Mollafilabi, A., 2019. Evaluation of environmental impacts of saffron (Crocus sativus L.) agroecosystems in the Khorasan province affected as field size by using life cycle assessment. Saffron Agron. Technol. 7(2), 185-206. [In Persian with English Summary].

Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., and Amin Ghafori, A., 2018. Economic evaluation of agroecosystem services of saffron in Khorasan Razavi province. Saffron Agron. Technol. 6(1), 89.73. [In Persian with English Summary].

Khoshnevisan, B., Rafiei, S., Omid, M., Keyhani, A., and Movahedi, M., 2013. Assessing of energy indices and environmental impacts of potato production (Case study: Fereydoonshahr region, Isfahan province). Iranian J. Biosyst. Eng. 44(1), 57-66. [in Persian with English Summary].

Koochecki, A., and Hosseini, M., 1999. Energy productivity in agricultural ecosystems. Mashhad University Press, Mashhad, Iran. 317 pp. [in Persian]

Koocheki, A., Karbasi, A.R., and Seyyedi, S.M., 2017. Some reasons for saffron yield loss over the last 30 years period. Saffron Agron. Technol. 5(2), 107-122. [in Persian with English Summary].

Koocheki, A., Seyyedi, M., 2015. Relationship between nitrogen and phosphorus use efficiency in saffron (Crocus sativus L.) as affected by mother corm size and fertilization. Ind. Crop. Prod. 71, 128-137.

Koocheki, A., Vafabakhsh, J., and Khorramdel, S., 2018. Evaluation of environmental impacts of important field crops by Life Cycle Assessment (LCA) in Khorasan-e Razavi Province. Iran. J. Field Crop Res. 16(3), 665-681. [in Persian with English Summary].

Lal, R., 2010. Enhancing eco-efficiency in agro-ecosystems through soil carbon sequestration. Crop Sci. 50, 120–131.

Limon-Ortega, A., Govaerts, B., and Sayre, K.D., 2008. Straw management, crop rotation, and nitrogen source effect on wheat grain yield and nitrogen use efficiency. Eur. J. Agron. 29, 21–28.

Mando, A., Ouattara, B., Sédogo, M., Stroosnijder, L., Ouattara, K., Brussaard, L., and Vanlauwe, B., 2005. Long-term effect of tillage and manure application on soil organic fractions and crop performance under Sudano-Sahelian conditions. Soil Till. Res. 80, 95–101.

Margni, M., Rossier, D., Crettaz, P., and Jolliet, O., 2002. Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems. Agr. Ecosyst. Environ. 93, 379–92.

Marras, S., Masia, S., Duce, P., Spano, D., Sirca, C., 2015. Carbon footprint assessment on a mature vineyard. Agric. For. Meteorol. 214, 350-356.

Moayedi Shahraki, E., Jami Al-Ahmadi, M., and Behdani, M.A., 2010. Study of energy

efficiency of saffron (Crocus sativus L.) in Southern Khorasan. J. Agroecol. 2(1), 55-62. [in Persian with English Summary].

Monti A., Fazio S., and Venturi G., 2009. Cradle-to-farm gate life cycle assessment in perennial energy crops. Eur. J. Agron. 31, 77-84.

Moreno-Delgado, D., 2016. Widening the analysis of Energy Return on Investment (EROI) in agro-ecosystems: Socio-ecological transitions to industrialized farm systems (the Vallès County, Catalonia, c.1860 and 1999). Ecological Modelling. 336, 13–25.

Mosier, A.R., Syers, J.K., and Freney, J.R., 2004. Agriculture and the nitrogen cycle: Assessing the impacts of fertilizer use on food production and the environment. Island Press, London.

Moudrý, J., Jelínková, Z., Plch, R., Moudrý, J., Konvalina, P., and Hyšpler, R., 2013. The emissions of greenhouse gases produced during growing and processing of wheat products in the Czech Republic. J. Food Agric. Environ. 11(1), 1133-1136.

Nassiri, S.M., and Singh, S., 2009. Study on energy use efficiency for paddy crop using data envelopment analysis (DEA) technique. Appl. Energy 86, 1320–1325.

Newbold, P., 1994. Statistics for Business and Economics. Prentice-Hall, Inc.

Odum, H.T., 2007. Environment, Power, and Society for the Twenty-First Century. The Hierarchy of Energy. Columbia University Press, New York.

Olaniran, A.O., and Igbinosa, E.O., 2011. Chlorophenols and other related derivatives of environmental concern: properties, distribution and microbial degradation processes. Chemosphere 83, 1297–1306.

Olaniyan, A.B., Aintoye, H.A., and Balogun, M.A., 2004. Effect of different sources and rates of nitrogen fertilizer on growth and yield of sweet maize. Available from: http://www.TropentaryDe/2004 abstracts/ full.146

Ozkan, B., Kurklu, A., and Akcaoz, H., 2004. An input-output energy analysis in greenhouse vegetable production: A case study for Antalya region of Turkey. Biomass Bioenerg. 26, 89-95.

Patterson, M.G. 1996. What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues. Energy Policy. 24(5), 377-390.

Prasad, R., 2009. Efficient fertilizer use: The key to food security and better environment. J. Trop. Agr. 47, 1-17.

Qiao, Y., Miao, S., Han, X., You, M., Zhu, X., and Horwath, W.R., 2014. The effect of fertilizer practices on N balance and global warming potential of maize–soybean–wheat rotations in Northeastern China. Field Crop Res. 161, 98-106.

Ramedani, Z., Rafiee, S., and Heidari, M.D., 2011. An investigation on energy consumption and sensitivity analysis of soybean production farms. Energy. 36(11), 6340-6344.

Rathke, G.W., and Diepenbrock, W., 2006. Energy balance of winter oil seed rape cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. Eur. J. Agron. 24, 35- 44.

Reicosky, D.C., Reeves, D.W., Prior, S.A., Runion, G.B., Rogers, H.H., and Raper, R.L., 1999. Effects of residue management and controlled traffic on carbon dioxide and water loss. Soil Till. Res. 52, 153-165.

Rodrigues, G.C., and Pereira, L.S., 2009. Assessing economic impacts of deficit irrigation as related to water productivity and water costs. Biosyst. Eng. 103, 536-551.

Romero-Gámez, M., Audsley, E., and Suárez-Rey, E.M., 2014. Life cycle assessment of cultivating lettuce and escarole in Spain. J. Clean. Prod. 73, 193-203.

Sadeghi, K., Sojoodi, S., and Ahmadzadeh, F., 2017. Renewable energy, economic growth and quality of the environment in Iran (1980-2012). J. Energy Policy Plann. Res. 3(6), 171-202. [in Persian with English Summary].

Safa, M., and Tabatabaeefar, A., 2002. Energy consumption in wheat production in irrigated and dryland farming. Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference, 28-30 November, Wuxi, China. pp. 183.

Safadoust, A., Mosadeghi, M.R., Mahboubi, A.A., Norouzi, A., and Asadian, G.H., 2007. Short-term tillage and manure influences on soil structural properties. J. Sci. Technol. Agric. Nat. Resour. 11, 91–100. [in Persian with English Summary].

Sahabi, H., Feizi, H., and Karbasi, A., 2016. Is saffron more energy and economic efficient

than wheat in crop rotation systems in northeast Iran? Sust. Prod. Consump. 5, 29-35.

Schrama, M., de Haan, J.J., M., Kroonen, H., Verstegen, and Van der Putten, W.H., 2018. Crop yield gap and stability in organic and conventional farming systems. Agr. Ecosyst. Environ. 256(15), 123-130.

Seal, A., Bera, R., Chowdhury, R.R., Mukhopadhyay, K., and Mukherjee, S., 2017. Productivity, energy use efficiency and economics of organic scented rice cultivation in sub-humid agroecosystem. Asian Res. J. Agric. 3(4), 1-11.

Shahan, S., Jafari, A., Mobli, H., Rafiee, S., and Karimi, M., 2008. Energy use and economical analysis of wheat production in Iran: A case study from Ardabil province. J. Agric. Technol. 4(1), 77-88.

Singh, H., Singh, A.K., Kushwaha, H.L., and Singh, A., 2007. Energy consumption pattern of wheat production in India. Energy. 32, 1848-1854.

Singh, S., Sah, A., Singh, R., Singh, V., and Hasan, S., 2010. Diversification of rice (Oryza sativa L.)-based crop sequences for higher production potentials and economic returns in India's central Uttar Pradesh. J. Sustain. Agr. 34, 141-152.

Soni, P., Sinha, R., and Perret, S.R., 2018. Energy use and efficiency in selected rice-based cropping systems of the Middle-Indo Gangetic Plains in India. Energy Rep. 554–564.

Teimouri, I., Salarvandian, F., and Ziari, K., 2014. The ecological footprint of carbon dioxide from fossil fuels in Shiraz. J. Geogr. Res. 59 (1), 193-204.

UrsachiIoana, G., Horodnic, A., and Zait, A., 2015. How reliable are measurement scales? External factors with indirect influence on reliability estimators. Procedia Econ. Financ. 20, 679-686.

Usefi, M., and Mahdavi Damghani, A., 2013. Investigation of water use efficiency and energy in irrigated systems in Kermanshah province. J. Agroecol. 5,113-121. [in Persian with English Summary].

Vaezi, A.R., Homaee, M., and Malakoti, M., 2002. Effect of fertigation on fertilizer use efficiency and water use efficiency on forage corn. JWSS. 16, 152-160. [in Persian with English Summary].

Van der Hoek, K.W., and Van Schijndel, M.W., 2006. Methane and nitrous oxide emissions from animal manure management 1990–2003. Background document on the calculation method for the Dutch National Inventory Report. RIVM and MNP (Netherlands Environmental Assessment Agency), Beethoven, The Netherlands, pp. 1–50.

Wang, Z., Zhang, X., and Mu, Y., 2008. Effects of rare-earth fertilizers on the emission of nitrous oxide from agricultural soils in China. Atmos Environ 42, 3882–3887.

Wicaksono, A., and Kang, D., 2019. Nationwide simulation of water, energy, and food nexus: Case study in South Korea and Indonesia. J. Hydro-environ. Res. 22, 70-87.

Wiser, R., Millstein, D., Mai, T., Macknick, J., Carpenter, A., Cohen, S., Cole, W., Frew, B., and Heath, G., 2016. The environmental and public health benefits of achieving high penetrations of solar energy in the United States. Energy 113, 472-86.

Wolfe, A.H., and Patz, J.A., 2002. Reactive nitrogen and human health: Acute and long-term implications. AMBIO: J. Hum. Environ. 31, 120–125.

Yaghobi, F., Jami Al-Ahmadi, M., Bakhshi, M.R., and Sayyari, M.H., 2016. Comparison of indicators of technical and economic water use efficiency in saffron and wheat production systems in the Qaenat region. Saffron Agron. Technol. 3(4), 225-236. [in Persian with English Summary].

Yilmaz, I., Akcaoz, H., Ozkan, B., 2005. Ananalysis of energy use and input costs for cotton production Turkey. Renew. Energy. 30, 145-155.

Yuan, S., and Peng, S., 2017. Trends in the economic return on energy use and energy use efficiency in China's crop production. Renew. Sust. Energ Rev. 70, 836-844.

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.

Zangeneh, M., Omid, M., and Akram, A., 2010. A comparative study on energy use and cost analysis of potato production under different farming technologies in Hamadan province of Iran. Energy. 35, 2927-2933.

Zhang, C., Chen, J., and Wen, Z., 2012. Assessment of policy alternatives and key technologies for energy conservation and

phosphorus application amount of weak-gluten wheat. J. Integr. Agr. 11, 1103-1110.

Zolfi Bavariani, M., and Nouruzi, M., 2010. Effect of organic matter on residual phosphorus recovering in a calcareous soil. JWSS. 14(52), 87-98. [in Persian with English Summary].

water pollution reduction in Chinas synthetic ammonia industry. J. Clean. Prod. 25, 96-105

Zhu, X.K., Li, C.Y., Jiang, Z.Q., Huang, L.L., Feng, C.N., Guo, W.S., and Peng, Y.X., 2012. Responses of phosphorus use efficiency, grain yield, and quality to

Journal of Saffron Research (semi-annual)

Vol.8, No.1, Spring & Summer, 2020

p. 29-54

http://dx.doi.org/10.22077/jsr.2020.2892.1116

University of Birjand

Original Article:

Comparison between Energy, Environmental and Economical Indicators of Irrigated Wheat and Saffron Agroecosystems in Khorasan-e Razavi Province

Soroor. Khorramdel[1*], Mahdi. Nassiri Mahallati[2], Hoda. Latifi[3] , Mahmood Reza. Farzaneh Belgerdi[4]

1- Associate Professor, Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

2- Professor, Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

3- PhD Student in Agroecology, Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

4- M.Sc in Agrometeorology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

**Corresponding author Email: khorramdel@um.ac.ir*

Received 18 October 2019; Accepted 07 March 2020

Abstract

The aims of the present study were to compare irrigated wheat (as a high input and conventional system) and saffron (as a low input and traditional system) production systems in Khorasan-e Razavi during 2018. Data for wheat (as an annual crop) and saffron (as a 6-year perennial crop) production systems were collected from 32 growers by using a face-to-face questionnaire in 2018. Energy efficiency indicators (such as energy intensiveness, specific energy, net energy, energy use efficiency and energy productivity), economic indicators (including total production value, gross return, net return, benefit to cost ratio and economical productivity), ecological indicators for land, water and chemical fertilizers (such as land use efficiency, land production efficiency, economic land production efficiency, water productivity, economic water productivity and nitrogen use efficiency, phosphorus use efficiency and potassium use efficiency) and life cycle assessment (LCA) were calculated accordingly. In this regard, four phases, which are goal and scope definition, inventory analysis, impact assessment and interpretation, were designed to assess life cycle index based on ISO14044 procedure. Three main categories as impacts including global warming, acidification and eutrophication (in terrestrial and aquatic systems) were defined. Functional units were considered as one kg stigma and one tonne grain for saffron and wheat crop systems, respectively. Cronbach's alpha was calculated assessing the reliability of questionnaire. The results showed that the Cronbach's alpha was computed with α=%87. The maximum inputs for wheat system were related to nitrogen fertilizer and diesel fuel and for saffron systems were corm and electricity. Energy productivity for saffron and wheat systems were computed 0.000019 and 0.097 kg.MJ^{-1}, and energy intensiveness were 46.93 and 33.48 MJ.\$$^{-1}$, respectively. Land use efficiency for wheat and saffron were calculated with 21.36 and 0.01 kg.ha-1 and economic land productivity were 1.51 and 0.52 \$.kg^{-1}day^{-1}, respectively. Nitrogen use efficiency for wheat and saffron agroecosystems were calculated with 24.57 and 0.04, respectively. The highest emission of pollutants was belonged to eutrophication aquatic category. Aquatic eutrophication potential for saffron and wheat farming systems were computed with 9.68 kg PO_4 eq./one kg of stigma and 0.26 9.68 kg PO_4 eq./one tonne of grain, respectively. Environmental indicators for saffron and wheat agroecosystems were calculated with 22.62 Ecox per one kg of stigma and 0.46 Ecox per one tonne of grain, respectively. Based on the results, low input and family farming systems such as saffron have positive effect on energy and economic indicators and environmental impacts compared to high input systems such as irrigated wheat.

Keywords: Energy productivity, Economic land productivity, Family farming, Nitrogen use efficiencies, Life cycle assessment.