

Sustainability Assessment of Forage Production Systems in Sistan Region Using Emergy Analysis: A Comparison of Kochia, Millet, Sorghum and Barley

Seyed Abolfazl Hashemi¹, Iesa Khammari^{2*}, Ali Reza Sirousmehr² , Mohammad Reza Asgharipour³

Received: 17 February 2024

Accepted: 12 August 2024

1-PhD Student, Unit of Agrotechnology-Physiology major, Dept. of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.

2-Assoc. Prof., Dept. of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.

3-Prof., Dept. of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

*Corresponding Author: E-mail: ikhammari@uoz.ac.ir

Abstract

Background & Objectives: Using emergy analysis, the environmental sustainability of four forage production systems, including koushia, millet, sorghum, and barley, was assessed in Sistan region during the 2021-2022. The aim of this study was to determine the most efficient production system in terms of emergy consumption, yield, and emergy load, as well as the emergy sustainability index.

Materials and Methods: the sistan region has a dry and subtropical climate and faces water scarcity and saline soils. The statistical population of the study included all forage production farms in the region. To convert energy and material flows to emergy units, appropriate conversion coefficients that reflect the path of energy transformations in the world were used. Then, by calculating emergy-related indicators, the environmental and economic sustainability of forage production systems were evaluated and compared.

Findings: The total emergy inputs for the four-forage production of koushia, millet, sorghum, and barley were 2.82E+16, 3.29E+16, 4.30E+16, and 3.65E+16 j/hect, respectively. Based on the findings of this study, the koushia production ranked first in terms of the EIR index. The reason for this is the higher consumption of nitrogen fertilizer compared to the other systems under study, which also leads to the instability of this system.

Conclusion: The analysis showed the sustainability of the millet and barley production systems in terms of economic and environmental benefits. By promoting eco-friendly patterns, such as increasing support for producers, encouraging large-scale cultivation development, establishing sustainability criteria, and providing targeted subsidies, it can be possible to improve forage production in the Sistan region.

Keywords: Environmental Performance, Emergy Based Indices, High Value Crop Cultivation Systems, Intensive Animal Husbandry, Sustainability

ارزیابی پایداری زیست‌محیطی نظام‌های تولید گیاهان علوفه‌ای در منطقه سیستان با استفاده از تحلیل امرژی: مقایسه کوشیا، ارزن، سورگوم و جو

سید ابوالفضل هاشمی^۱، عیسی خمی^{۲*}، علیرضا سیروس مهر^۲، محمدرضا اصغری پور^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۸	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۲
--------------------------	-------------------------

۱- دانشجوی دکتری آگروتکنولوژی- گرایش فیزیولوژی، گروه زراعت، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳- استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

*مسئول مکاتبه: E-mail: ikhammari@uoz.ac.ir

چکیده

مقدمه و اهداف: با بهره‌گیری از روش تحلیل امرژی، پایداری زیست‌محیطی چهار نظام تولید علوفه‌ای شامل کوشیا، ارزن، سورگوم و جو در منطقه‌ی سیستان در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ مورد بررسی قرار گرفت. هدف از این پژوهش، تعیین نظام تولیدی با بهترین عملکرد از نظر مصرف، بازده و بار امرژی و همچنین شاخص پایداری امرژی بود.

مواد و روش: منطقه سیستان دارای آب‌وهوای خشک و گرمسیری است و با کمبود آب‌و خاک شور روبرو است. جامعه آماری مورد مطالعه شامل مزارع کشت گیاهان علوفه‌ای منطقه بود. برای تبدیل جریان‌های انرژی و مواد به واحد امرژی، از ضرایب تبدیل که مسیر تحولات انرژی در جهان را منعکس می‌کنند، استفاده شد. سپس با محاسبه شاخص‌های مربوط به امرژی، پایداری زیست‌محیطی و اقتصادی نظام‌های تولید گیاهان علوفه‌ای مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت.

یافته‌ها: مجموع امرژی‌های ورودی به نظام برای چهار بوم‌نظام تولید کوشیا، ارزن، سورگوم و جو به ترتیب $۲/۸۲ \times ۱۰^{۱۶}$ ، $۳/۲۹ \times ۱۰^{۱۶}$ و $۴/۳۰ \times ۱۰^{۱۶}$ و $۳/۶۵ \times ۱۰^{۱۶}$ ام ژول خوشیدی در هکتار در سال بدست آمد. نظام تولید کوشیا به لحاظ شاخص EIR در رتبه نخست قرار گرفت. دلیل این امر، مصرف بیشتر کود نیتروژن در مقایسه با سایر نظام‌های مورد بررسی است که به ناپایداری این نظام نیز می‌انجامد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان از پایداری نظام‌های تولید ارزن و جو از لحاظ منافع اقتصادی و زیست‌محیطی داشت. با ارتقای الگوهای سازگار با محیط‌زیست، مانند افزایش حمایت از تولیدکنندگان، ترویج توسعه کشت در مقیاس بزرگ، تدوین معیارهای پایداری و ارائه یارانه‌های هدفمند به بهبود تولیدات گیاهان علوفه‌ای در منطقه سیستان کمک کرد.

واژه های کلیدی: دام‌پروری فشرده، شاخص امرژی، سیستم‌های کشت محصول با ارزش بالا، عملکرد زیست‌محیطی، پایداری

مقدمه

کشاورزی در کشورهای در حال توسعه با چالش‌های مهمی مانند عرضه محدود مواد غذایی، استفاده ناکارآمد از منابع و فشار زیاد بر منابع زیست‌محیطی مواجه است (تورچینی ۲۰۱۹؛ کالیسیوگلو و همکاران ۲۰۲۳). بنابراین، این چالش‌ها به‌طور جدی بر توسعه کشاورزی پایدار تأثیر می‌گذارد. با پیشرفت سریع اجتماعی-اقتصادی، تقاضای جمعیت برای غذا روند رو به رشد و متنوعی را نشان می‌دهد (چریستوف و همکاران ۲۰۱۹). با وجود افزایش تولید مواد غذایی، شاهد هم‌افزایی در عملکرد و راندمان کشاورزی نیستیم. استفاده بی‌رویه از نهاده‌های تولیدی مانند کودها و آفت‌کش‌ها، نه تنها هزینه‌های تولید را افزایش داده، بلکه به آلودگی محیط‌زیست نیز دامن زده است (هی و همکاران ۲۰۲۳). شیوه‌های کشاورزی سنتی، ساختارهای تک‌کشتی و طرح‌های غیرمنطقی پتانسیل افزایش تولید مواد غذایی را محدود می‌کند (وانگ و همکاران ۲۰۲۱). طبق آمار، در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸، در سراسر کشور، حدود یک میلیون و ۱۶۸ هزار هکتار به کشت گیاهان علوفه‌ای اختصاص یافته است که از این مزارع، بیش از ۲۵ میلیون تن علوفه تولید می‌شود (احمدی و همکاران ۲۰۲۲). تولید و مدیریت گیاهان علوفه‌ای در مقایسه با سایر گیاهان زراعی در ایران، چندان مورد توجه نبوده است. به دلیل بی‌توجهی به افزایش کمی و کیفی گیاهان علوفه‌ای، همواره با کمبود مواد پروتئینی مواجه هستیم (صابری ۲۰۱۸)؛ بنابراین، توجه به کشت محصولات علوفه‌ای با توجه به نیاز کشور به فرآورده‌های دامی و لبنی، ضروری است. استفاده از بقولات علوفه‌ای در تناوب زراعی، پشتیبان هر نظام زراعی پایدار است. با کشت این گیاهان، علاوه بر کنترل فرسایش، تثبیت بیولوژی نیتروژن، افزایش مواد آلی، بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، کنترل علف‌هرز و جبران بخشی از کمبود علوفه، استفاده از کود سبز حاصل از این گیاهان، در کاهش تقاضا برای مصرف کودهای شیمیایی و افزایش بهره‌وری محصولاتی که بعد از آن‌ها کشت می‌شوند، مؤثر است. علوفه حاصل از کشت گیاهان، علاوه بر مصرف به‌عنوان کود سبز، به‌صورت چرای مستقیم، علوفه‌تر، علوفه خشک و بذر استفاده می‌شود (احمدی و همکاران

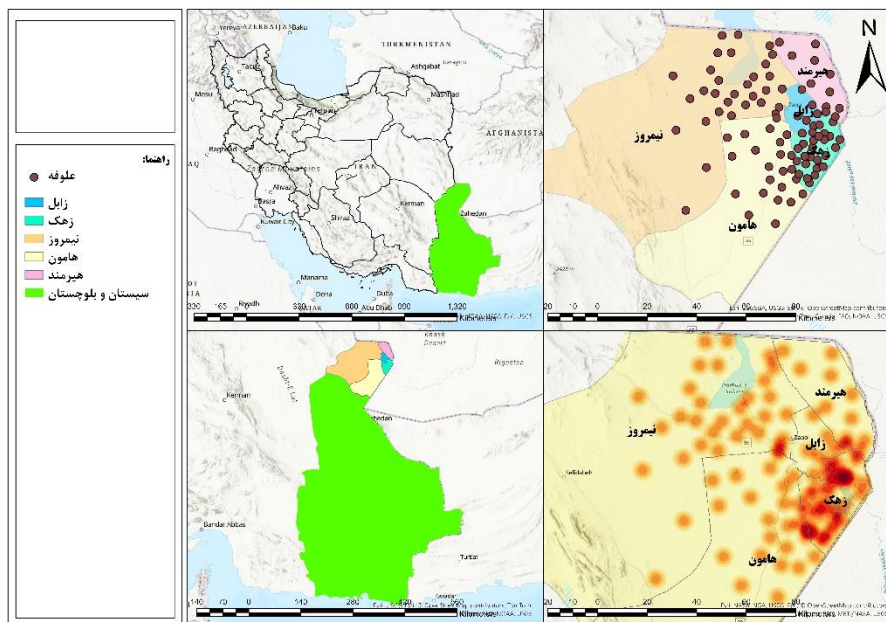
۲۰۲۲). سیستم‌های تولید محصول تحت تأثیر عوامل محیطی همچون نور خورشید، خاک، باد، بارندگی و نهاده‌های اقتصادی مانند ماشین‌آلات و تجهیزات، کودها، آفت‌کش‌ها، سوخت، برق و غیره هستند (فالکونیر و همکاران ۲۰۲۰). به موازاتی که کشاورزی در حال تکامل است، نقش نهاده‌های اقتصادی به‌طور فزاینده‌ای برجسته شده است (ژانگ و همکاران ۲۰۱۶). مقایسه ورودی‌ها و خروجی‌های اقتصادی مختلف به دلیل استفاده از واحدهای اندازه‌گیری متفاوت غالباً دشوار است (اوودوم و پترسون ۱۹۹۶). اوودوم (Odum) روش تجزیه و تحلیل ارزش انرژی را پیشنهاد کرد که به‌طور مؤثر مشکل مقایسه ورودی و خروجی انرژی طبیعی و انرژی خریداری‌شده را حل می‌کند. ایده اصلی تجزیه و تحلیل ارزش انرژی، تبدیل سهم طبیعی و سهم اقتصادی مورد نیاز برای تولید محصولات کشاورزی است که در روش‌های ارزیابی قبلی نادیده گرفته شده است، در این روش برای کمی‌سنجی و مقایسه، تمام واحدها به یک معیار به نام ام‌ژول خورشیدی تبدیل می‌شوند (تورچینی ۲۰۱۵)؛ بنابراین، تجزیه و تحلیل ارزش انرژی می‌تواند هزینه‌های زیست‌محیطی را که ارزیابی آن‌ها در بازارهای اقتصادی دشوار است، آشکار و محاسبه نماید و پایداری کلی سیستم‌های کشاورزی را ارزیابی کند (جو و چن ۲۰۱۱).

پژوهشگران مطالعات تجزیه و تحلیل ارزش انرژی را برای ارزیابی اکوسیستم‌های کشاورزی در اندازه‌های مختلف و مدل‌های مدیریتی متفاوت به کار برده‌اند (امیری و همکاران ۲۰۱۹). نتایج مطالعه‌ای که به ارزیابی نظام تولید گندم با سه نظام تولید محصول زنجبیل، گل

محمدی و سیب‌زمینی با استفاده از تحلیل انرژی پرداخته بود نشان داد که نظام تولید گل محمدی از لحاظ عملکرد اقتصادی و زیست‌محیطی مناسب‌تر است (دویو و همکاران ۲۰۲۳). نتایج تحقیق سو و همکاران (۲۰۲۳) که به ارزیابی سیستم‌های کشت مختلف با استفاده از تحلیل انرژی پرداختند نشان داد که استفاده از سیستم‌های کشت چندگانه برای بهینه‌سازی الگوی کشت و ترویج عملکرد بالا جهت توسعه‌ی پایدار کشاورزی مناسب‌تر هستند (سو و همکاران ۲۰۲۰). محققان در

چین به بررسی نظام‌های کشاورزی شهری با استفاده از تحلیل امرژی پرداختند، نتایج آن‌ها حاکی از آن بود که این نظام‌ها از نظر زیست‌محیطی ضعیف و ناپایدار بودند (چن و همکاران ۲۰۲۱). پژوهشی دیگر با استفاده از تحلیل امرژی نشان داد که استفاده از ریزجلبک‌ها به بازگردانی مواد غذایی مفید مؤثر است (لی و همکاران ۲۰۲۲). تحقیق دیگری روی علف‌زارهای چین با استفاده از تحلیل امرژی نشان داد کاهش مصرف کودهای شیمیایی و استفاده از شیوهی آبیاری قطره‌ای کارایی نظام تولیدی را افزایش می‌دهد (لیائو و دنگ ۲۰۱۸).

بااین‌حال، تحقیقات اندکی در خصوص پایداری نظام‌های تولید گیاهان علوفه‌ای با استفاده از تحلیل امرژی صورت پذیرفته است، لذا هدف از این مطالعه بررسی کارایی و پایداری چهار نظام تولید گیاهان علوفه‌ای شامل کوشیا، ارزن، سورگوم و جو با استفاده از تکنیک تحلیل امرژی می‌باشد. این مطالعه یک راهنمای تئوری برای تحقق توسعه‌ی کشاورزی فشرده و پایدار و انتخاب بهترین نظام تولیدی گیاهان علوفه‌ای ارائه می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه (نقاط قهوه‌ای: مزارع نمونه‌برداری و نقاط قرمز: مناطق زیرکشت)

مواد و روش‌ها

سایت محل پژوهش

این مطالعه طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۴۰۱ روی چهار نوع نظام تولید گیاهان علوفه‌ای شامل کوشیا^۱، ارزن^۲، سورگوم^۳ و جو^۴ در منطقه سیستان (شامل پنج شهرستان: زابل، زهک، هیرمند، نیمروز و هامون) انجام شد. این منطقه در امتداد مرز جنوب شرقی ایران و جنوب غربی افغانستان و در محدوده جغرافیایی بین ۳۰

درجه و ۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۸ دقیقه عرض جغرافیایی و ۶۰ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه طول جغرافیایی قرار دارد که به لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی وابسته به رودخانه هیرمند است. این رودخانه تنها منبع تأمین آب سیستان است که از کوه‌های هندوکش در شمال افغانستان سرچشمه می‌گیرد (سالاری ۲۰۰۹). نبود منشأ رودخانه تأمین آب منطقه در داخل مرزها، احداث سدهای متعدد در مسیر رودخانه و خشکسالی‌های گسترده موجب شده تا این رودخانه در سال‌های اخیر آب پایداری در اختیار مردم منطقه قرار ندهد. حتی بیش از ۲۰ سال است که این دلایل طبیعی و انسانی باعث خشکی و استقرار تنش آبی

^۱ Kochia

^۲ Millet

^۳ Sorghum

^۴ Barley

در منطقه‌ی سیستان شده که مردم آن به لحاظ معیشتی وابسته به فعالیت‌های کشاورزی هستند.

جامعه آماری و جمع‌آوری داده‌ها

با توجه به پیچیدگی تجزیه و تحلیل امرژی، داده‌های این مطالعه از منابع مختلف استخراج شده است، از جمله سالنامه‌ی آماری محلی، گزارش‌های دولت، بررسی‌های میدانی، کتاب‌ها و مقالات راهنمای تحلیل امرژی، داده‌های هواشناسی مربوط به سرعت سالانه باد، آفتاب، بارش. نتایج این پژوهش، حاصل جمع‌آوری اطلاعات، از این منابع مختلف، طی دوره کاشت تا برداشت نظام‌های مورد مطالعه مورد در سال زراعی (۱۴۰۱-۱۴۰۰) بود. داده‌های مربوط به ورودی و خروجی نظام‌های کشاورزی مورد مطالعه توسط مصاحبه حضوری با کشاورزان صورت گرفت. بخشی داده‌های مربوط به

آمارهای جوی با استفاده از داده‌های هواشناسی ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی منطقه بدست آمد. جهت تعیین مقادیر کودها و سموم مصرفی برای هر یک از نظام‌های کشاورزی مورد مطالعه توسط مهندسين کشاورزی منطقه سیستان بدست آمد.

به منظور مشخص شدن جامعه آماری مورد مطالعه مورد، تعداد هر کدام از مزارع کشت گیاهان علوفه‌ای مورد مطالعه مورد در منطقه به عنوان نمونه کل انتخاب، سپس برای پیدا کردن حجم نمونه مورد مطالعه مورد از فرمول کوکران استفاده شد (کالیگولو و همکاران ۲۰۱۹). برای انجام این مطالعه ۱۱۵ مزرعه تولید جو، ۱۰۲ مزرعه تولید ارزن، ۸۹ مزرعه تولید سورگوم و ۱۸ مزرعه تولید کوشیا انتخاب شد.

$$n = \frac{\frac{z^2 pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{N}(\frac{z^2 pq}{d^2} - 1)} \quad (\text{رابطه ۱})$$

P نسبت یک صفت در جامعه و q (1-p) درصد افراد فاقد آن ویژگی در جامعه است.

که در آن مقدار Z، ۱/۹۶ در سطح خطای ۵ درصد در نظر گرفته شده و مقدار خطای مجاز (d) ۰/۵ تعیین شده است. N اندازه جامعه هدف، n اندازه نمونه،

جدول ۱- تعداد نمونه برای هریک از گیاهان مورد مطالعه در سطح منطقه سیستان

کوشیا	ارزن	سورگوم	جو	
۳	۳	۳	۳	زابل
۶	۱۰	۸	۸	زهک
۲	۳	۳	۴	هیرمند
۸	۱۰	۸	۸	نیمروز
۶	۵	۶	۸	هامون
۲۵	۳۱	۲۸	۳۱	جمع

های محرک این نظام‌های تولیدی به سه گروه تجدیدپذیر محیطی که به صورت رایگان توسط ژئوبیوسفر در اختیار سامانه‌های تولیدی قرار می‌گیرد، تجدیدنپذیر محیطی که در داخل مرزهای سیستم قرار دارند و خریداری شده (تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر) که حاصل اقتصاد انسانی است، تقسیم می‌شوند (اوودوم و پترسون ۱۹۹۶).

تکنیک تحلیل امرژی

اوودوم (۱۹۹۶) امرژی را به عنوان انرژی خورشیدی که به طور مستقیم و غیرمستقیم برای تولید یک محصول مصرف می‌شود تعریف کرد. برای اینکه بتوانیم مفهوم امرژی را در مطالعه حاضر مورد استفاده قرار دهیم، ابتدا نیاز به تعریف مرزهای مکانی و زمانی نظام‌های هدف و سپس ترسیم نمودار زبان سیستم‌های انرژی (ESL) است (اوودوم و پترسون ۱۹۹۶). جریان

نسخه اصلاح شده آن (ESI^*)، بود. روابط محاسباتی و تعاریف مربوط به هر یک از شاخص‌های مورد استفاده در این مطالعه به‌طور خلاصه در جدول ۲ ارائه شده است.

نتایج و بحث

ساختار استفاده از امرژی

جریان ورودی‌های محیطی رایگان و خریداری شده بر اساس واحدهای فیزیکی برای چهار بوم‌نظام تولید گیاهان علوفه‌ای در جدول ۳ ارائه شده است. جدول ۴ ساختار ورودی هر نظام تولید گیاه علوفه‌ای را نشان می‌دهد. کل ورودی امرژی برای بوم نظام‌های تولید کوشیا، ارزن، سورگوم و جو در این مطالعه به ترتیب $2/82 \times 10^{16}$ ، $3/29 \times 10^{16}$ ، $4/30 \times 10^{16}$ و $3/65 \times 10^{16}$ ام ژول خورشیدی در هکتار تخمین زده شد (جدول ۳). بررسی مقادیر ورودی امرژی برای چهار بوم نظام مورد مطالعه مورد حاکی از آن است که بالاترین میزان ورودی مربوط به نظام تولید کوشیا بود. در این پژوهش مصرف زیاد امرژی در تولید سورگوم به دلیل استفاده بیشتر از کود نیترژن، کود دامی و بذر به ترتیب با مقادیر $4/46 \times 10^{15}$ ، $1/78 \times 10^{15}$ و $8/00 \times 10^{15}$ بود. پژوهشی در هند به بررسی پایداری چهار بوم نظام کشاورزی با استفاده از تحلیل امرژی پرداخت. نتایج این پژوهش نشان داد که جریان ورودی به نظام‌های سویا $0/99 \times 10^{16}$ ام ژول خورشیدی در هکتار، راش هندی $1/01 \times 10^{16}$ ام ژول خورشیدی در هکتار، جاتروفا $0/72 \times 10^{16}$ ام ژول خورشیدی در هکتار است (ادریسی و همکاران ۲۰۲۲). در تحقیقی که به بررسی پایداری سه نظام کشاورزی، دامپروری و شیلات در چین صورت گرفت، به ترتیب جریان ورودی نظام‌ها به صورت درصدی ۲۹٪، ۶۲٪ و ۹٪ ام ژول خورشیدی در هکتار گزارش شد (گائو و همکاران ۲۰۲۲).

نهاده‌های ورودی در پنج نظام مورد مطالعه مورد به نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر (R)، نهاده‌های محیطی تجدیدناپذیر (N)، نهاده‌های اقتصادی تجدیدپذیر (Fr) و نهاده‌های اقتصادی تجدیدناپذیر (FN) تقسیم‌بندی شدند.

انرژی خورشید، باد و باران برخی از منابع تجدیدپذیر محیطی هستند که اطلاعات مربوط به این نهادها از آمارهای ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی منطقه حاصل شد. داده‌های هواشناسی برای محاسبه این ورودی محیطی غیرقابل تجدید نیز به‌طور مؤثر مورد استفاده قرار گرفتند. نظام‌های تولید گیاهان علوفه‌ای، علاوه بر نهاده‌های محیطی به جریان ورودی‌های خریداری شده که اطلاعات آن‌ها از طریق مصاحبه حضوری با مدیران سایت‌ها بدست می‌آید نیز وابسته هستند. منابع خریداری شده‌ای که در این مطالعه در نظر گرفته شد شامل مقدار انرژی خروجی به عنوان کالری قابل سوختن با استفاده از روش ارائه شده در ISO1928 تعریف شد (اوودوم و پترسون ۱۹۹۶). پس از جمع‌آوری اطلاعات مربوط به هر یک از این جریان‌های ورودی و خروجی، با ضرب انواع جریان انرژی و مواد در ضرایب تبدیل مناسب که مسیر تحولات انرژی در جهان را منعکس می‌کنند و سلسله‌مراتب انرژی را طراحی می‌کنند (برون و اولگیاتی ۱۹۹۷). می‌توان با ضرب کردن ورودی‌های مختلف در ضرایب تبدیل مناسب، آن‌ها را به واحد امرژی (sej) تبدیل کرد (امیری و همکاران ۲۰۱۹). همه ضرایب تبدیل به ضریب امرژی پایه بین سیاره‌ای 12×10^{24} ام ژول خورشیدی در سال تبدیل شدند (برون و اولگیاتی ۱۹۹۷). جریان‌های امرژی نظام‌های تولیدی که حاصل ورودی‌های محلی (تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر) و خریداری شده (تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر) است به‌طور خلاصه در جدول ۱ ارائه شده است.

این مطالعه علاوه بر تحلیل امرژی نظام‌های مورد مطالعه مورد قصد دارد تا با محاسبه شاخص‌های مربوط به این تکنیک، به ارزیابی و مقایسه پایداری نظام‌های تولید گیاهان علوفه‌ای بپردازد. تعدادی از شاخص‌ها که برای ارزیابی این نظام‌ها از مقادیر امرژی محاسبه شده قابل استفاده است در این مطالعه شامل شاخص‌های ارزش واحد امرژی (Tr^1)، امرژی ویژه (SE^2) درصد امرژی تجدیدپذیر ($R\%^2$) نسبت عملکرد امرژی (EYR^4)، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR^5)، نسبت بار محیط‌زیستی (ELR^6) و نسخه اصلاح شده آن (ELR^*)، شاخص پایداری محیط‌زیست (ESI^7) و

جدول ۲- مشخصات و فرمول‌های شاخص‌های مبتنی بر امرژی برای ارزیابی نظام‌های تولید گیاهان علوفه‌ای در سیستان

شاخص	فرمول	خصوصیات
ورودی‌های تجدیدپذیر از منابع رایگان	R	جریان‌های محیطی تجدیدپذیر
ورودی‌های رایگان محیطی تجدیدناپذیر	N	جریان‌های تجدیدناپذیر از منابع محلی رایگان
ورودی‌های بازاری تجدیدپذیر	F _R	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع بازاری
ورودی‌های بازاری تجدیدناپذیر	F _N	جریان‌های تجدیدناپذیر از منابع بازاری
ورودی امرژی کل	U=R+N+F _R +F _N	کل منابع امرژی موردنیاز برای حمایت از نظام تولید
ضریب تبدیل	Tr = U/AE	امرژی لازم برای تولید یک واحد خروجی بر حسب ژول، AE محتوای انرژی محصول است.
امرژی ویژه	SE= U/Yield	مقدار امرژی موردنیاز برای تولید یک واحد خروجی بر حسب گرم محصول است
تجدیدپذیری امرژی	%R= (R+F _R /U) ×100	درصد امرژی تجدیدپذیر استفاده‌شده توسط نظام
نسبت عملکرد امرژی	EYR=Y/F _R +F _N	مقیاس استفاده از منابع محیطی با سرمایه‌گذاری در منابع اقتصادی
نسبت سرمایه‌گذاری امرژی	EIR=(F _R +F _N)/(R+N)	EIR نسبت منابع انرژی غیر رایگان به کل انرژی محیطی رایگان در نظام
نسبت بار زیست‌محیطی استاندارد	ELR=(N+F _N + F _R)/R	فشار محیطی ایجادشده توسط یک نظام
نسبت بار زیست‌محیطی اصلاح‌شده	ELR*=(N+F _N)/(F _R + R)	مقیاس اندازه‌گیری پایداری
شاخص پایداری محیط	ESI=EYR/ELR	وابستگی خروجی نظام به محیط
شاخص پایداری محیط اصلاح‌شده	ESI*=(EYR/ELR*)	شاخص پایداری متناوب که بر استفاده از منابع تجدیدپذیر توأم با حداقل فشار وارده بر محیط‌زیست متمرکز است.

نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر (R)

نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر (R) در چهار بوم‌نظام تولید گیاهان علوفه‌ای مورد مطالعه شامل نورخورشید، باد، باران و سایر منابع، بخش مهمی از حفظ نظام‌های تولید کشاورزی هستند (چن و همکاران ۲۰۰۶). نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر برای بوم‌نظام‌های تولید کوشیا، ارزن، سورگوم و جو به ترتیب $۱۰^{۱۴} \times ۱۹/۷$ ، $۱۰^{۱۵} \times ۲۱/۱$ ، $۱۰^{۱۶} \times ۳۹/۱$ و $۱۰^{۱۵} \times ۴۴/۱$ ام‌ژول‌خورشیدی در هکتار بود (جدول ۴). نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر نظام‌های تولید کوشیا، ارزن، سورگوم و جو به ترتیب ۲/۵۵، ۳/۶۷، ۳/۲۳ و ۳/۹۵ درصد از کل امرژی ورودی را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). این نتایج نشان

داد که نظام تولید جو بیشترین بهره‌مندی از نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر و نظام تولید کوشیا کمترین بهره‌مندی از این منابع را دارد. این امر را می‌توان به طولانی‌تر بودن دوره رشد گیاه جو و هم‌زمانی بخشی از رشد این محصول در فصل زمستان و بهار و بهره‌مندی بیشتر از آب باران دانست. از سوی دیگر، پایین‌بودن سهم امرژی ورودی در نظام تولید کوشیا از منبع نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر؛ بهره‌مندی کمتر از آب رودخانه است. از آنجایی‌که بارش‌های نامنظم در منطقه‌ی افغانستان در فصل پاییز به صورت سیلاب‌هایی وارد رودخانه هیرمند شده و برای آبیاری در حوزه کشاورزی استفاده می‌شود، متأسفانه کشت کوشیا در

تبخیر و تعرق آب رودخانه بود (میرشکاری و همکاران ۲۰۲۱).

نهادهای محیطی تجدیدناپذیر (N)

نهادهای تجدیدناپذیر محیطی (N) در چهار بوم-نظام مورد مطالعه، عمدتاً فرسایش خاک و مصرف منابع آب است که ممکن است بر محیط زیست تأثیر منفی بگذارد. در این مطالعه، مصرف منابع آب نشان دهنده انتشار آلودگی استاندارد است؛ بنابراین، هر چه این مقدار بیشتر باشد، آلودگی محیطی آبی جدی تر است. سهم نهادهای محیطی تجدیدناپذیر از کل امرژی های ورودی برای نظام های تولید کوشیا، ارزن، سورگوم و جو به ترتیب $۸/۰۴ \times ۱۰^{۱۵}$ ، $۱/۷۰ \times ۱۰^{۱۶}$ ، $۲/۰۶ \times ۱۰^{۱۶}$ و $۱/۷۰ \times ۱۰^{۱۶}$ ام ژول خورشیدی در هکتار بود (جدول ۳).

بهمین و پس از اتمام ورود این سیلاب ها اتفاق می افتد، لذا بهره مندی این نظام از این منبع کمتر از سایر نظام های مورد مطالعه است. سهم ورودی منابع محیطی تجدیدپذیر در نظام تولید گل محمدی، زنجبیل و گندم به میزان $۱۷/۵۴\%$ ، $۶/۴۲\%$ و $۰/۰۷\%$ می باشد که نشان دهنده بهره مندی نظام تولید گل محمدی از منابع محیطی تجدیدپذیر نسبت به سایر نظام ها می باشد (سو و همکاران ۲۰۲۳). در مطالعه میرشکاری و همکاران (۲۰۲۱) بالاترین میزان استفاده از نهادهای رایگان محیطی تجدیدپذیر مانند انرژی جنبشی باد مربوط به نظام های تولید گندم، جو و یونجه و در نظام های تولید هندوانه مربوط به آب رودخانه و خریزه مربوط به

جدول ۳- جریان های طبیعی و اقتصادی نظام های تولید گیاهان علوفه ای منطقه سیستان

متغیر	واحد	کوشیا	ارزن	سورگوم	جو
ورودی محیطی تجدید پذیر (R)					
نور خورشید	ژول	$۳/۱۰ \times ۱۰^{۱۳}$	$۱/۵۰ \times ۱۰^{۱۳}$	$۱/۵۲ \times ۱۰^{۱۳}$	$۲/۷۲ \times ۱۰^{۱۳}$
انرژی جنبشی باد	ژول	$۶/۱۲ \times ۱۰^۹$	$۴/۰۹ \times ۱۰^۹$	$۶/۹۵ \times ۱۰^۹$	$۳/۸۵ \times ۱۰^۹$
انرژی شیمیایی باران	ژول	$۶/۵۸ \times ۱۰^۷$	$۱/۸۸ \times ۱۰^۹$	$۱/۰۹ \times ۱۰^۸$	$۲/۲۰ \times ۱۰^۹$
آب رودخانه	ژول	$۱/۸۸ \times ۱۰^{۱۰}$	$۳/۲۹ \times ۱۰^{۱۰}$	$۳/۷۶ \times ۱۰^{۱۰}$	$۳/۷۶ \times ۱۰^{۱۰}$
ورودی محیطی تجدیدناپذیر (N)					
انرژی پتانسیل شیمیایی آب زیرزمینی	ژول	$۴/۱۸ \times ۱۰^{۱۰}$	$۸/۸۳ \times ۱۰^{۱۰}$	$۱/۰۷ \times ۱۰^{۱۰}$	$۸/۸۳ \times ۱۰^{۱۱}$
فرسایش خاک	گرم	$۱/۲۸ \times ۱۰^۸$	$۱/۲۸ \times ۱۰^۸$	$۱/۲۸ \times ۱۰^۸$	$۱/۲۸ \times ۱۰^۸$
نهادهای خریداری شده					
نیروی کار	ژول	$۱/۵۶ \times ۱۰^۸$	$۳/۳۴ \times ۱۰^۸$	$۲/۳۴ \times ۱۰^۸$	$۲/۳۴ \times ۱۰^۸$
ماشین آلات	گرم	$۱/۳۹ \times ۱۰^۳$	$۱/۷۳ \times ۱۰^۳$	$۱/۷۳ \times ۱۰^۳$	$۱/۳۷ \times ۱۰^۳$
سوخت فسیلی و روغن	گرم	$۴/۲۲ \times ۱۰^۹$	$۴/۲۲ \times ۱۰^۹$	$۲/۲۵ \times ۱۰^۹$	$۳/۹۴ \times ۱۰^۹$
کود نیتروژن	گرم	$۱/۰۰ \times ۱۰^۵$	$۱/۵۰ \times ۱۰^۵$	$۱/۰۰ \times ۱۰^۵$	$۲/۰۰ \times ۱۰^۵$
کود فسفر	گرم	$۲/۰۰ \times ۱۰^۵$	$۲/۵۰ \times ۱۰^۵$	$۲/۰۰ \times ۱۰^۵$	$۲/۰۰ \times ۱۰^۵$
کود پتاسیم	گرم	$۱/۰۰ \times ۱۰^۵$	$۱/۵۰ \times ۱۰^۵$	$۱/۰۰ \times ۱۰^۵$	$۱/۰۰ \times ۱۰^۵$
کود آلی	گرم	$۵/۰۰ \times ۱۰^۶$	$۳/۰۰ \times ۱۰^۶$	$۶/۰۰ \times ۱۰^۶$	$۴/۰۰ \times ۱۰^۶$
بذر	ریال	$۴/۸۰ \times ۱۰^۷$	$۱/۰۰ \times ۱۰^۷$	$۱/۰۰ \times ۱۰^۷$	$۲/۸۵ \times ۱۰^۷$
خروجی ها					
عملکرد اقتصادی	گرم	$۱/۰۰ \times ۱۰^۶$	$۱/۵۰ \times ۱۰^۶$	$۲/۰۰ \times ۱۰^۶$	$۲/۸۰ \times ۱۰^۶$
عملکرد اقتصادی	ژول	$۱/۶۷ \times ۱۰^{۱۰}$	$۲/۵۱ \times ۱۰^{۱۰}$	$۳/۳۵ \times ۱۰^{۱۰}$	$۴/۶۹ \times ۱۰^{۱۰}$
عملکرد علوفه	گرم	$۴/۰۰ \times ۱۰^۵$	$۵/۰۰ \times ۱۰^۵$	$۴/۰۰ \times ۱۰^۵$	$۶/۰۰ \times ۱۰^۵$
عملکرد علوفه	ژول	$۶/۰۰ \times ۱۰^۹$	$۷/۵۰ \times ۱۰^۹$	$۶/۰۰ \times ۱۰^۹$	$۹/۰۰ \times ۱۰^۹$

چین انجامید، نتایج نشان داد نظام تولید زنجبیل $۱/۸۶ \times ۱۰^{۱۴}$ ام ژول خورشیدی در هکتار در سال به دلیل مصرف بیش از حد کود و آفت کش بیشترین آلودگی را در محیط ایجاد کرد (سو و همکاران ۲۰۲۳).

به دلیل استفاده کمتر از کود، نظام تولید کوشیا کمترین آلودگی را در محیط آبی در بین چهار نظام مورد مطالعه ایجاد کرد (جدول ۳). در تحقیقی که به تحلیل نظام های تولید گندم، گل محمدی و زنجبیل در

(ELR) و نسخه اصلاح‌شده آن (ELR^*)، شاخص پایداری محیط‌زیست ESI و نسخه اصلاح‌شده آن (ESI^*) برای مقایسه بوم‌نظام‌های مختلف استفاده شد. مشخصات و رابطه شاخص‌های امرژی مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۲ و مقادیر شاخص‌های مبتنی بر امرژی در جدول ۴ ارائه شده است.

ضریب تبدیل (Tr)

شاخص ضریب تبدیل (Tr) پارامتری مهم برای برآورد بازده امرژی محصول تولیدی است (برون و اولگیاتی ۱۹۹۷). بالا بودن میزان Tr در میزان تولید یکسان، نشان‌دهنده اثرگذاری کمتر امرژی از لحاظ زیست‌محیطی و اقتصادی می‌باشد (۲۶). مقدار Tr برای چهار نظام کوشیا، ارزن، سورگوم و جو مورد مطالعه به ترتیب $۱/۶۹ \times ۱۰^۶$ ، $۱/۳۱ \times ۱۰^۶$ ، $۱/۲۸ \times ۱۰^۶$ و $۷/۷۹ \times ۱۰^۵$ خورشیدی در ژول محاسبه شد (جدول ۵). با مقایسه مقادیر بدست آمده Tr ها در چهار بوم‌نظام مورد بررسی مشخص شد بازده امرژی در بوم‌نظام تولید کوشیا در مقایسه با سه بوم‌نظام دیگر کمتر است؛ اصلی‌ترین دلیل کمتر بودن بازده امرژی ورودی در بوم‌نظام تولید جو، پایین‌تر بودن تولید اقتصادی در واحد سطح، در مقابل سایر نظام‌های مورد مطالعه می‌باشد. در همین راستا در مطالعه‌ای Tr در نظام‌های تولید سویا، در چین و برزیل را به ترتیب $۸/۳۷ \times ۱۰^۴$ و $۱/۰۱ \times ۱۰^۵$ ام‌ژول خورشیدی در ژول بیان کردند (ژانگ و همکاران ۲۰۱۶). در پژوهشی ضریب Tr را برای نظام‌های تولید چغندر قند و زعفران به ترتیب $۱/۱۷ \times ۱۰^۵$ و $۲/۹۹ \times ۱۰^۸$ ام‌ژول خورشیدی در ژول گزارش کردند (فالکونیر و همکاران ۲۰۲۰).

امرژی ویژه (SE)

شاخص امرژی ویژه (SE)، یکی از مفاهیم اصلی در تئوری انرژی و عاملی برای ارزیابی امرژی واحد زیست‌توده تولیدی در نظام است. SE مقدار امرژی پشتیبان کننده هر واحد بیوماس تولیدی را بر حسب واحد جرم، گرم یا کیلوگرم، بیان می‌کند (لی و همکاران

نهاده‌های ورودی خریداری‌شده (FN و FR)

مقدار ورودی‌های خریداری‌شده در بوم‌نظام‌های تولید کوشیا، ارزن، سورگوم و جو به ترتیب $۱/۹۴ \times ۱۰^{۱۶}$ ، $۱/۴ \times ۱۰^{۱۶}$ ، $۲/۱۰ \times ۱۰^{۱۶}$ و $۱/۸۱ \times ۱۰^{۱۶}$ ام‌ژول خورشیدی در هکتار بود (جدول ۴). بیشترین میزان مصرف این نهادها در نظام تولید سورگوم و کمترین میزان مصرف این نهادها در نظام تولید ارزن مشاهده شد. مصرف بیشتر از اندازه کود نیتروژن، کود دامی و بذر را در نظام تولید سورگوم می‌توان دلیل بالا بودن سهم ورودی‌های خریداری‌شده در این نظام دانست. در نظام تولید کوشیا بیشترین سهم نهاده‌های خریداری‌شده مربوط به کود نیتروژن، کود فسفر و بذر با سهمی برابر با $۱۰/۹۶\%$ ، $۲۰/۰۱\%$ و $۲۹/۳۴\%$ از کل امرژی ورودی، در نظام تولید ارزن، کود فسفر، کود نیتروژن و بذر با سهمی برابر با $۲۱/۴۰\%$ ، $۹/۳۸\%$ و $۷/۵۹\%$ از کل امرژی ورودی، نظام تولید سورگوم، بذر، کود فسفر، کود نیتروژن با سهمی برابر با $۱۸/۶۳\%$ ، $۱۳/۱۳\%$ و $۷۹/۱۰\%$ و در نظام تولید جو، بذر، کود فسفر و کود نیتروژن با سهمی برابر با $۱۹/۵۱\%$ ، $۱۵/۴۳\%$ و $۸/۴۶\%$ بود (جدول ۳). در این راستا در پژوهشی که به تحلیل امرژی سه نظام تولید گندم، زنجبیل و گل محمدی در چین پرداخته بود نشان داده شد که که نظام تولید زنجبیل بالاترین ورودی را در بخش منابع تجدیدپذیر خریداری‌شده با ارزش $۸/۹۲ \times ۱۰^{۱۶}$ ام‌ژول خورشیدی در هکتار در سال را داشت و مزرعه تولید گل محمدی کم‌مصرف‌ترین نظام تولیدی با ورودی نیروی کار $۲/۱۸ \times ۱۰^{۱۶}$ ام‌ژول خورشیدی در هکتار در سال بود (سو و همکاران ۲۰۲۳).

شاخص‌های امرژی

این مطالعه بر روی نظام‌های تولید گیاهان علوفه‌ای در منطقه سیستان تمرکز می‌کند و عملکردهای زیست-محیطی نظام‌های مختلف تولید گیاهان علوفه‌ای را از طریق شاخص‌های متعدد امرژی، از جمله شاخص‌های ضریب تبدیل (Tr)، امرژی ویژه (SE)، درصد امرژی تجدیدپذیر ($R\%$)، نسبت عملکرد امرژی (EYR)، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR)، نسبت بار محیط‌زیستی

۲۰۱۰). هر چه بیوماس تولیدی نظامی به جریان امرژی پشتیبان کننده کمتری در واحد سطح، نیاز داشته باشد، به عبارتی SE کوچکتری داشته باشد، تراکم جریان امرژی در آن نظام کمتر است (پیزی گالو و همکاران ۲۰۰۸). SE محاسبه شده در نظام های تولید کوشیا، ارزن، سورگوم و جو به ترتیب $۲/۸۲ \times ۱۰^{۱۰}$ ، $۲/۲۰ \times ۱۰^{۱۰}$ ، $۲/۱۵ \times ۱۰^{۱۰}$ و $۱/۳۱ \times ۱۰^{۱۰}$ ام ژول

خورشیدی در گرم می باشد. در مطالعه ای SE محاسبه شده برای باگاس نیشکر، کود مرغی، پوسته برنج، کود شیمیایی و شاهد به ترتیب $۱/۷۳ \times ۱۰^{۱۰}$ ، $۳/۴۹ \times ۱۰^{۱۰}$ ، $۳/۲۲ \times ۱۰^{۱۰}$ ، $۱/۴۴ \times ۱۰^{۱۰}$ و $۱/۲۳ \times ۱۰^{۱۱}$ ام ژول خورشیدی در گرم گزارش شد (مونیلالی و همکاران ۲۰۲۰).

جدول ۴- جدول ارزیابی امرژی برای محصولات علوفه ای سیستان (ام ژول خورشیدی در هکتار در سال) و سهم هر نهاده از کل ورودی های امرژی منطقه سیستان

ضریب تبدیل	کوشیا	ارزن	سورگوم	جو					
امرژی	درصد	امرژی	درصد	امرژی	درصد	امرژی	درصد	امرژی	درصد
ورودی های محیطی تجدیدپذیر									
نور خورشید	۱	$۳/۱۰ \times ۱۰^{۱۳}$	۰/۱۱	$۱/۵۰ \times ۱۰^{۱۳}$	۰/۰۵	$۱/۵۲ \times ۱۰^{۱۳}$	۰/۰۵	$۲/۷۲ \times ۱۰^{۱۳}$	۰/۱۰
انرژی جنبشی باد	$۱/۲۴ \times ۱۰^{۰۳}$	$۷/۵۹ \times ۱۰^{۱۲}$	۰/۰۳	$۵/۰۷ \times ۱۰^{۱۲}$	۰/۰۲	$۸/۶۲ \times ۱۰^{۱۲}$	۰/۰۳	$۴/۷۸ \times ۱۰^{۱۲}$	۰/۰۲
انرژی شیمیایی باران	$۲/۳۴ \times ۱۰^{۰۴}$	$۱/۵۴ \times ۱۰^{۱۲}$	۰/۰۱	$۱/۸۸ \times ۱۰^{۰۹}$	۰/۰۰	$۲/۵۵ \times ۱۰^{۱۲}$	۰/۰۱	$۵/۱۶ \times ۱۰^{۱۳}$	۰/۱۸
آب رودخانه	$۳/۶۱ \times ۱۰^{۰۴}$	$۶/۷۹ \times ۱۰^{۱۴}$	۲/۴۱	$۱/۱۹ \times ۱۰^{۰۵}$	۴/۲۲	$۱/۳۶ \times ۱۰^{۱۵}$	۴/۸۳	$۱/۳۶ \times ۱۰^{۱۵}$	۴/۸۳
جمع	$۷/۱۹ \times ۱۰^{۱۴}$	۲/۵۵	$۱/۲۱ \times ۱۰^{۱۵}$	۳/۶۷	$۱/۳۹ \times ۱۰^{۱۵}$	۳/۲۳	$۱/۴۴ \times ۱۰^{۱۵}$	۲/۹۵	
ورودی محیطی تجدید ناپذیر									
انرژی شیمیایی پتانسیل آب زیرزمینی	$۱/۹۲ \times ۱۰^{۰۵}$	$۸/۰۳ \times ۱۰^{۱۵}$	۲۸/۴۸	$۱/۷۰ \times ۱۰^{۱۶}$	۵۱/۴۷	$۲/۰۵ \times ۱۰^{۱۶}$	۴۷/۸۳	$۱/۷۰ \times ۱۰^{۱۶}$	۴۶/۳۹
فرسایش خاک	$۹/۳۶ \times ۱۰^{۰۴}$	$۱/۲۰ \times ۱۰^{۱۳}$	۰/۰۴	$۱/۲۰ \times ۱۰^{۱۳}$	۰/۰۴	$۱/۲۰ \times ۱۰^{۱۳}$	۰/۰۳	$۱/۲۰ \times ۱۰^{۱۳}$	۰/۰۳
جمع	$۸/۰۴ \times ۱۰^{۱۵}$	۲۸/۵۲	$۲/۷۲ \times ۱۰^{۱۶}$	۵۱/۵۱	$۱/۸۰ \times ۱۰^{۱۶}$	۴۷/۸۶	$۳/۶۶ \times ۱۰^{۱۶}$	۴۶/۴۲	
نهاده های خریداری شده									
نیروی کار	$۲/۲۲ \times ۱۰^{۰۶}$	$۳/۴۶ \times ۱۰^{۱۴}$	۱/۲۳	$۵/۱۹ \times ۱۰^{۱۴}$	۱/۵۸	$۵/۱۹ \times ۱۰^{۱۴}$	۱/۲۱	$۵/۱۹ \times ۱۰^{۱۴}$	۱/۴۲
ماشین آلات	$۱/۰۱ \times ۱۰^{۱۰}$	$۱/۴۱ \times ۱۰^{۱۳}$	۰/۰۵	$۱/۷۵ \times ۱۰^{۱۳}$	۰/۰۵	$۱/۷۵ \times ۱۰^{۱۳}$	۰/۰۴	$۱/۷۵ \times ۱۰^{۱۳}$	۰/۰۴
سوخت فسیلی و روغن	$۸/۶۰ \times ۱۰^{۰۴}$	$۳/۶۳ \times ۱۰^{۱۴}$	۱/۲۹	$۳/۶۳ \times ۱۰^{۱۴}$	۱/۱۰	$۱/۹۴ \times ۱۰^{۱۴}$	۰/۴۵	$۳/۳۹ \times ۱۰^{۱۴}$	۰/۹۳
کود نیتروژن	$۳/۰۹ \times ۱۰^{۱۰}$	$۳/۰۹ \times ۱۰^{۱۵}$	۱۰/۹۶	$۳/۰۹ \times ۱۰^{۱۵}$	۹/۳۸	$۴/۶۴ \times ۱۰^{۱۵}$	۱۰/۷۹	$۳/۰۹ \times ۱۰^{۱۵}$	۸/۴۶
کود فسفر	$۲/۸۲ \times ۱۰^{۱۰}$	$۵/۶۴ \times ۱۰^{۱۵}$	۲۰/۰۱	$۷/۰۵ \times ۱۰^{۱۵}$	۲۱/۴۰	$۵/۶۴ \times ۱۰^{۱۵}$	۱۳/۱۳	$۵/۶۴ \times ۱۰^{۱۵}$	۱۵/۴۳
کود پتاسیم	$۲/۲۳ \times ۱۰^{۰۹}$	$۲/۲۳ \times ۱۰^{۱۴}$	۰/۷۹	$۳/۳۵ \times ۱۰^{۱۴}$	۱/۰۲	$۲/۲۳ \times ۱۰^{۱۴}$	۰/۵۲	$۲/۲۳ \times ۱۰^{۱۴}$	۰/۶۱
کود آلی	$۳/۹۱ \times ۱۰^{۰۹}$	$۱/۴۸ \times ۱۰^{۱۵}$	۵/۲۵	$۸/۸۸ \times ۱۰^{۱۴}$	۲/۷۰	$۱/۷۸ \times ۱۰^{۱۵}$	۴/۱۴	$۱/۱۸ \times ۱۰^{۱۵}$	۳/۲۳
بذر	$۲/۵۰ \times ۱۰^{۱۵}$	$۸/۲۷ \times ۱۰^{۱۵}$	۲۹/۳۴	$۲/۵۰ \times ۱۰^{۱۵}$	۷/۵۹	$۸/۰۰ \times ۱۰^{۱۵}$	۱۸/۶۳	$۷/۱۳ \times ۱۰^{۱۵}$	۱۹/۵۱
جمع	$۱/۹۴ \times ۱۰^{۱۶}$	۶۸/۹۳	$۱/۴۸ \times ۱۰^{۱۶}$	۴۴/۸۲	$۲/۱۰ \times ۱۰^{۱۶}$	۴۸/۹۱	$۱/۸۱ \times ۱۰^{۱۶}$	۴۹/۶۳	
کل	$۲/۸۲ \times ۱۰^{۱۶}$	۱۰۰	$۳/۲۹ \times ۱۰^{۱۶}$	۱۰۰	$۴/۳۰ \times ۱۰^{۱۶}$	۱۰۰	$۳/۶۵ \times ۱۰^{۱۶}$	۱۰۰	

درصد تجدیدپذیری امرژی (R%)

درصد منابع تجدیدپذیر (R%) نشان دهنده ای درجه وابستگی نظام های تولیدی به منابع تجدیدپذیر محیطی است. در مطالعه حاضر درصد تجدیدپذیری امرژی بوم نظام های تولید کوشیا، ارزن، سورگوم و

جو به ترتیب ۹/۵۹، ۵/۸۹، ۷/۹۰ و ۸/۶۴ درصد محاسبه شد (جدول ۵). بزرگتر بودن R% نظام تولید کوشیا نسبت به سایر نظام های مورد مطالعه به دلیل سهم زیاد استفاده از انرژی های تجدیدپذیر و کود دامی می باشد. در این مطالعه کمترین میزان R% در بین چهار نظام

همکاران ۲۰۲۰). مقدار R در نظام تولید گل محمدی، زنجبیل، سیب‌زمینی و گندم به ترتیب ۲۰/۶۸٪، ۵/۲۱٪، ۳۴/۰۶٪ و ۴۴/۱۱٪ گزارش شد (سو و همکاران ۲۰۲۳). میزان % R در نظام‌های تولید خیار و گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای به ترتیب ۴/۳۴ و ۴/۶۸ درصد گزارش شد (میرشکاری و همکاران ۲۰۲۲).

مربوط به نظام ارزن بود که گویای این واقعیت است که در این نظام درصد بالایی از امرژی مورد استفاده به منابع تجدیدناپذیر محیطی وابسته است. در مطالعه‌ای در چین مقدار شاخص درصد تجدیدپذیری محیطی (%R) تولید برنج به شیوه سنتی و سبزیجات به روش فشرده به ترتیب ۵۲/۶۶ و ۱۲/۳۰ برآورد شد (سو و

جدول ۵- شاخص‌های مبتنی بر امرژی نظام‌های تولید گیاهان علوفه‌ای در منطقه سیستان

شاخص امرژی	واحد	کوشیا	ارزن	سورگوم	جو
ضریب تبدیل (Tr)	ام ژول خورشیدی در ژول	۱/۶۹×۱۰۶	۱/۳۱×۱۰۶	۱/۲۸×۱۰۶	۷/۷۹×۱۰۵
امرژی ویژه (SP)	ام ژول خورشیدی در ژول	۲/۸۲×۱۰۱۰	۲/۲۰×۱۰۱۰	۲/۱۵×۱۰۱۰	۱/۳۱×۱۰۱۰
درصد تجدیدپذیری امرژی (%R)	%	۹/۵۹	۵/۸۹	۷/۹۰	۸/۶۴
نسبت عملکرد امرژی (EYR)		۱/۴۵	۲/۲۳	۲/۰۴	۲/۰۲
نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR)		۲/۲۲	۰/۸۱	۰/۹۶	۰/۹۹
نسبت سرمایه‌گذاری امرژی اصلاح‌شده (EIR*)		۹/۴۲	۱۵/۹۸	۱۱/۶۵	۱۰/۵۷
نسبت بار محیط‌زیستی استاندارد (ELR)		۳۸/۱۹	۲۶/۲۲	۲۹/۹۸	۲۴/۳۲
نسبت بار محیط‌زیستی اصلاح‌شده (ELR*)		۰/۸۹	۴/۵۷	۲/۱۹	۱/۹۸
شاخص پایداری محیط‌زیست استاندارد (ESI)		۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۸
شاخص پایداری محیط‌زیست اصلاح‌شده (ESI*)		۱/۶۲	۰/۴۸	۰/۹۳	۱/۰۱

نسبت عملکرد امرژی (EYR)

شاخص نسبت عملکرد امرژی به شکل نسبت کل عملکرد امرژی به امرژی خریداری‌شده از بازار اطلاق می‌گردد و به‌طور فراوانی به‌عنوان معیاری جهت نشان دادن توانایی یک فرایند برای جذب منابع تجدیدپذیر و غیرقابل‌تجدید محلی با سرمایه‌گذاری روی منابع اقتصادی کاربرد دارد (اودوم و پترسون ۱۹۹۶). مقادیر بیشتر EYR، نشان‌دهنده نسبت استفاده بالاتری از منابع خریداری‌شده در مقابل منابع رایگان امرژی در فرآیند را نشان می‌دهد (برون و اولگیاتی ۱۹۹۷).

شاخص EYR در نظام تولید کوشیا، ارزن، سورگوم و جو به ترتیب ۱/۴۵، ۲/۲۳، ۲/۰۴ و ۲/۰۲ بود (جدول ۴). دلیل اصلی بزرگ‌تر بودن شاخص EYR در نظام تولید ارزن سهم بیشتر ورودی‌های تجدیدناپذیر محیطی نسبت به طول دوره‌ی رشد آن است. نظام تولید

ارزن با توجه به دوره رشد کوتاه‌تری که نسبت به سایر نظام‌های مورد مطالعه دارد، میزان استفاده از منابع تجدیدناپذیر آن به دلیل استفاده از روش‌های نامناسب خاک‌ورزی و اتلاف آب زیرزمینی سهم بیشتر ورودی امرژی از منابع جریان‌های رایگان تجدیدناپذیر می‌باشد. در پژوهشی میزان EYR پایا، موز، وامپی و گواوا به ترتیب ۱/۳۱، ۱/۳۰، ۱/۰۴ و ۱/۰۴ گزارش‌شده است (لو و کمپل ۲۰۰۹). میزان EYR را در نظام تولید ذرت، آفتابگردان و خربزه ۱/۱۷، ۱/۱۶ و ۱/۱۶ به دست آوردند (لی و همکاران ۲۰۲۰). در پژوهشی در ایران میزان EYR در نظام تولید گندم، پیاز، سیر، رازیانه، زیره و سیاه‌دانه به ترتیب ۳/۸۸۷، ۳/۱۱۰، ۲/۰۹۲، ۲/۲۸۱، ۲/۳۲۲ و ۲/۱۰۵ گزارش شد (میرشکاری و همکاران ۲۰۲۱).

نسبت سرمایه‌گذاری امرژی استاندارد (EIR) و نسبت سرمایه‌گذاری امرژی اصلاح‌شده (EIR^*) شاخص نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR) از نسبت ورودی‌های خرید شده به ورودی‌های رایگان به دست می‌آید (وانگ و همکاران ۲۰۱۴). نسبت سرمایه‌گذاری امرژی اصلاح‌شده (EIR^*) از نسبت ورودی‌های خریداری‌شده به ورودی‌های قابل‌تجدید محیطی حاصل می‌شود (آیدون ۲۰۰۸). این شاخص بیانگر این مطلب می‌باشد که یک بوم نظام تولیدی چه نسبتی بین ورودی‌های غیر رایگان (نهاده‌های خریداری‌شده) و ورودی‌های رایگان یا ورودی‌های تجدیدپذیر محیطی دارد (اورتگا و همکاران ۲۰۰۲). شاخص EIR در چهار بوم نظام تولید کوشیا، ارزن، سورگوم و جو به ترتیب ۲/۲۲، ۰/۸۱، ۰/۹۶ و ۰/۹۹ بدست آمد و مقدار شاخص EIR^* در این چهار بوم نظام به ترتیب ۹/۴۲، ۱۵/۹۸، ۱۱/۶۵ و ۱۰/۵۷ بود (جدول ۴). نظام تولید ارزن به واسطه دارا بودن میزان نهاده‌های خریداری‌شده کمتر در مقایسه با سایر بوم-نظام مورد مطالعه، دارای قدرت رقابت و مزیت نسبی بیشتری نسبت به سایر بوم‌نظام‌ها بود. استفاده از دانش و فناوری‌های جدید در بخش کشاورزی، ارتقای سطح دانش و مهارت نیروی انسانی متناسب با اهداف توسعه پایدار کشاورزی، فرهنگ‌سازی و ایجاد انگیزه، پرورش و تربیت نیروی انسانی ماهر، توسعه دانش، نگرش و مهارت‌های فنی در آینده، کاهش جریان امرژی ورودی از منبع نهاده‌های خریداری‌شده را به این نظام می‌تواند در پی داشته باشد. در مطالعه‌ای برای مقایسه شش نظام تولید محصولات زراعی گندم، پیاز، سیر، رازیانه، زیره و سیاه‌دانه بیان شد که EIR در این شش نظام به ترتیب ۸/۰۴۰، ۴/۵۵۳، ۱۰/۴۸۶، ۳/۰۳۱، ۹/۰۶۶ و ۱۱/۶۳۷ بود (میرشکاری و همکاران ۲۰۲۱).

نسبت بار محیط‌زیستی استاندارد (ELR) و نسبت بار محیط‌زیستی اصلاح‌شده (ELR^*)

شاخص‌های نسبت بار محیط‌زیستی استاندارد (ELR) و نسبت بار محیط‌زیستی اصلاح‌شده (ELR^*) بیان‌کننده فشار وارده از طرف بوم‌نظام مورد بررسی به محیط است. بالا بودن میزان این دو شاخص، بیان‌کننده اعمال فشار بالا از سوی نظام بهره‌برداری بر

محیط‌زیست است (اورتگا و همکاران ۲۰۰۲). میزان شاخص ELR در پژوهش حاضر در مورد چهار بوم-نظام تولید کوشیا، ارزن، سورگوم و جو به ترتیب ۳۸/۱۹، ۲۶/۲۲، ۲۹/۹۸ و ۲۴/۳۲ محاسبه شد، همچنین ELR^* برای این چهار بوم‌نظام به ترتیب ۰/۸۹، ۴/۵۷، ۲/۱۹ و ۱/۹۸ بود (جدول ۴). با توجه به محاسبات انجام‌شده و مقادیر حاصله در مورد دو شاخص ELR و ELR^* ، در بین نظام‌های مورد مطالعه بوم‌نظام تولید کوشیا بیشترین و نظام تولید جو کمترین فشار را به محیط‌زیست وارد می‌کند. نظام تولید کوشیا به دلیل کاربرد بیشتر از کود شیمیایی نیتروژن نسبت به سایر نظام‌ها، بیشترین فشار را به محیط‌زیست اعمال کرد. در پژوهشی با استفاده از شاخص ELR، پایداری سه نظام تولید ذرت، آفتابگردان و خربزه بررسی و مقادیر آن به ترتیب، ۵/۳۲، ۲/۵۹ و ۴/۳۵ به دست آمد در این پژوهش نظام تولید ذرت، نسبت به دو نظام دیگر، پایدارتر شناخته شد (لی و همکاران ۲۰۲۰). در مطالعه‌ای دیگر فشار وارد آمده بر محیط‌زیست توسط نظام تولید گندم به دلیل استفاده از منابع رایگان تجدیدناپذیر (N) شامل فرسایش و تلفات ماده آلی خاک و استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر بیشتر از نظام تولید پیاز، سیر، رازیانه، زیره سبز و سیاه‌دانه بود (میرشکاری و همکاران ۲۰۲۱).

شاخص پایداری محیط‌زیست استاندارد (ESI) و شاخص پایداری محیط‌زیست اصلاح‌شده (ESI^*)

دو شاخص پایداری زیست‌محیطی استاندارد (ESI) و پایداری محیط‌زیست اصلاح‌شده (ESI^*) بهره‌گیری حداکثری از منابع ورودی بدون هزینه محیطی و در کنار آن کمترین فشار به محیط‌زیست پیرامون هستند (اودوم ۱۹۸۸). این پارامترها ضمن منعکس کردن میزان اقتصادی بودن یک نظام تولیدی، پایداری آن نظام را نیز نشان می‌دهند. به‌طور کلی هرچه قدر درصد ورودی‌های رایگان محیطی (R و N) نسبت به ورودی‌های خریداری‌شده در یک نظام تولیدی افزایش یابد و نسبت FN به FR کاهش یابد، پایداری زیست‌محیطی در آن نظام افزایش خواهد یافت (اورتگا و همکاران ۲۰۰۲). در شاخص ESI مقادیر کمتر از یک حاکی از فشار فزاینده به محیط‌زیست است و اساساً

هرچقدر بوم‌نظام تولیدی پرنهاده‌تر باشد، فشار زیست-محیطی آن نظام بیشتر خواهد بود (برون و اولگیاتی ۱۹۹۷). در مطالعه حاضر، شاخص ESI به‌ترتیب برای بوم‌نظام‌های تولید کوشیا، ارزن، سورگوم و جو ۰/۰۸، ۰/۰۶ و ۰/۰۸ محاسبه شد. همچنین مقادیر ESI* برای بوم‌نظام‌های تولید کوشیا، ارزن، سورگوم و جو به‌ترتیب ۱/۶۲، ۰/۴۸، ۰/۹۳ و ۱/۰۱ بود (جدول ۴). بالا بودن میزان شاخص ESI در نظام تولید ارزن و جو را می‌توان به سهم بالای ورودی رایگان محیطی تجدیدپذیر (R) و تخصیص میزان زیادی از ورودی‌های خریداری‌شده در این نظام‌ها، نسبت داد. با توجه به اینکه هر چهار نظام موردبررسی در این پژوهش میزان ESI آن‌ها کمتر از یک شده است بنابراین، چهار نظام‌های موردبررسی از پایداری مطلوبی برخوردار نیستند. با به حداقل رساندن ورودی‌های خریداری‌شده ضمن افزایش جریان ورودی‌های رایگان محیطی به‌ویژه از منابع تجدیدپذیر می‌توان باعث بهبود شاخص ESI شد. در پژوهشی مقدار شاخص ESI در تولید محصولات پاپایا، موز، گواوا و وامپی کمتر از ۰/۴۰ بدست آمده است (لی و همکاران ۲۰۱۰). مقدار شاخص ESI برای مزارع گندم در کشور دانمارک ۰/۰۳ و در مزارع کشت توأم (ترکیبی از چندگونه درخت، گندم، شبدر، جو و یک نوع علوفه از خانواده چمن‌ها (ریگراس)) ۰/۰۳ تا ۰/۰۸ بدست آمده است (قالیر و پورتر ۲۰۱۳).

نتیجه‌گیری

کاوش و توسعه قالب‌های کشت با مزایای اقتصادی بالا و فشار زیست‌محیطی کم، کلید ارتقاء کشاورزی است. در این مطالعه به تحلیل چهار بوم‌نظام تولید گیاهان علوفه-ای شامل کوشیا، ارزن، سورگوم و جو با استفاده از تکنیک امرژی پرداخته شد. بر اساس شاخص Tr نظام تولید جو کارآمدترین محصول به شمار آمد. شاخص R% در نظام تولید کوشیا بیشتر از سایر نظام‌های موردبررسی بود. مصرف کود دامی موجب بزرگی R% بود. در این پژوهش، بالاترین میزان شاخص EYR در نظام تولید ارزن مشاهده

شد، سهم بیشتر ورودی‌های تجدیدناپذیر محیطی در نظام تولید ارزن نسبت به سایر نظام‌های مورد مطالعه، دلیل این برتری است. سهم بیشتر استفاده از منابع آب زیرزمینی دلیل این امر بود. مقادیر EIR و EIR* در این پژوهش در بوم‌نظام تولید کوشیا بیشتر بود، که علت آن مصرف بیشتر کود نیتروژن نسبت به سایر نظام‌های موردبررسی است. بر مبنای شاخص ELR و EIR*، بیشترین فشار وارده بر محیط‌زیست از طرف نظام تولید کوشیا به دلیل مصرف بیشتر کودهای شیمیایی، و کمترین فشار در نظام تولید جو به دلیل کمتر کودهای شیمیایی بود. مقادیر شاخص ESI و ESI* در این پژوهش با بیشترین مقدار برای نظام تولید ارزن همراه بود، بالا بودن میزان شاخص در نظام تولید ارزن را می‌توان به سهم بالای ورودی رایگان محیطی تجدیدناپذیر (N) و تخصیص میزان زیادی از ورودی‌های خریداری‌شده در این نظام، نسبت داد که با استفاده از بهره‌وری و افزایش کارایی منابع آب برای کشت این محصول می‌توان از ورودی منابع تجدیدناپذیر آن کاست. با توجه به اینکه هر چهار نظام موردبررسی در این پژوهش میزان ESI آن‌ها کمتر از یک شده است بنابراین، تمام نظام‌های موردبررسی از پایداری مطلوبی برخوردار نیستند. با به حداقل رساندن ورودی‌های خریداری‌شده ضمن افزایش جریان ورودی‌های رایگان محیطی به‌ویژه از منابع تجدیدپذیر می‌توان باعث بهبود شاخص ESI شد.

به‌طورکلی، نظام‌های تولید ارزن و جو از لحاظ منافع اقتصادی و زیست‌محیطی رویکرد امیدوارکننده‌ای دارند. می‌توان با ارتقای الگوهای سازگار با محیط‌زیست، از جمله افزایش حمایت از تولیدکنندگان، ترویج توسعه کشت در مقیاس بزرگ، یکپارچه‌سازی اراضی، تدوین معیارهای پایداری و ارائه یارانه‌های هدفمند به بهبود تولیدات گیاهان علوفه‌ای در منطقه سیستان کمک کرد.

سپاسگزاری

این مقاله با حمایت های مالی دانشگاه زابل با کد IR-RIOZ-GR-0612 اجرا گردید.

منابع مورد استفاده

- Ahmadi K, Ebadzadeh H, Hatami F, Mohammadnia Afrozi Sh, Esfandiaripour A and Taghani A. 2022 .Agricultural Statistics, 97, pages.(In Persian with English Abstract).
- Amiri Z, Asgharipour M.R, Campbell D.E and Armin M. 2019. A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran, based on emergy and economic analyses. Journal of Cleaner Production, 226: 1051-1066. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7123-3>.
- Azizi K, Asgharipour M.R, Amiri Z, Campbell, D.E. and Kakolvand E. 2022. Comparison of Sustainability in Agroecosystem and Natural Habitat of Shallot Based in Aleshtar, Lorestan province based on Emergy Analysis. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 31(4):303-323.<https://doi.org/10.22034/saps.2021.42552.2570>
- Brown M.T and Ulgiati S. 1997. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. Ecological Engineering, 9(1-2): 51-69. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(97\)00033-5](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(97)00033-5)
- Calicioglu O, Flammini A, Bracco S, Bellù L and Sims R .2019. The future challenges of food and agriculture: An integrated analysis of trends and solutions. Sustainability, 11(1):222 <https://doi.org/10.3390/su11010222>
- Cavalett O, De Queiroz J.F and Ortega E .2006. Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. Ecological Modelling, 193(3-4):205-224. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.07.023>
- Chen G.Q, Jiang M.M, Chen B, Yang Z.F and Lin C.2006. Emergy analysis of Chinese agriculture. Agriculture, Ecosystems & Environment, 115(1-4):161-173. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.01.005>
- Chen W, Geng Y, Dong H, Tian X, Zhong S, Wu Q, Xu Y, Zhang Q and Li S. 2018. An emergy accounting based regional sustainability evaluation: A case of Qinghai in China. Ecological Indicators, 88:152-160. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.069>
- Chen Y, Liu C, Chen J, Hu N and Zhu L .2021. Evaluation on environmental consequences and sustainability of three rice-based rotation systems in Quanjiao, China by an integrated analysis of life cycle, emergy and economic assessment. Journal of Cleaner Production, 310:127493. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138901>
- Dou H, Cheng G, Zhang J and Wang C .2023. Sustainable development strategies in multi-scenario of rural production space system: A case from mountainous and hilly countryside in southwest China. Journal of Cleaner Production, 424: 138901 . <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138901>
- Edrisi S.A, Sahiba S.A, Chen B and Abhilash P.C .2022. Emergy-based sustainability analysis of bioenergy production from marginal and degraded lands of India. Ecological Modelling, 466:109903. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.109903>
- Falconnier G.N, Corbeels M, Boote K.J, Affholder F, Adam M, MacCarthy D.S, Ruane A.C, Nendel C, Whitbread A.M, Justes É and Ahuja L.R .2020. Modelling climate change impacts on maize yields under low nitrogen input conditions in sub-Saharan Africa. Global change biology, 26(10): 5942-5964. <https://doi.org/10.1111/gcb.15261>
- Gao M, Wu Z, Guo X and Yan D .2022. Emergy evaluation of positive and negative benefits of agricultural water use based on energy analysis of water cycle. Ecological Indicators, 139:108914. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108914>
- Ghaley B.B and Porter J.R .2013. Emergy synthesis of a combined food and energy production system compared to a conventional wheat (Triticum aestivum) production system. Ecological Indicators, 24: 534-542. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.08.009>
- Gouel C and Guimbard H .2019. Nutrition transition and the structure of global food demand. American Journal of Agricultural Economics, 101(2):383-403. <https://doi.org/10.1093/ajae/aay030>

- He J, Li J, Gao Y, He X and Hao G .2023. Nano-based Smart Formulations: A potential solution to the Hazardous Effects of Pesticide on the Environment. *Journal of Hazardous Materials*,9:131599. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131599>
- Helin J and Weikard H.P.2019. A model for estimating phosphorus requirements of world food production. *Agricultural Systems*, 176:102666. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102666>
- Houshyar E, Wu X.F and Chen G.Q .2018. Sustainability of wheat and maize production in the warm climate of southwestern Iran: an emergy analysis. *Journal of Cleaner Production*, 172: 2246-2255. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.187>
- Ju L.P and Chen B .2011. Embodied energy and emergy evaluation of a typical biodiesel production chain in China. *Ecological Modelling*, 222(14): 2385-2392. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.07.021>
- Korsaeth A. 2008. Relations between nitrogen leaching and food productivity in organic and conventional cropping systems in a long-term field study. *Agriculture, ecosystems & environment*, 127(3-4): 177-188. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.03.014>
- Li L, Lu H, Campbell D.E and Ren H .2010. Emergy algebra: Improving matrix methods for calculating transformities. *Ecological Modelling*, 221(3):411-422. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126611>
- Li P, Wang X, Luo Y and Yuan X .2022. Sustainability evaluation of microalgae biodiesel production process integrated with nutrient close-loop pathway based on emergy analysis method. *Bioresource Technology*, 346, p.126611. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126611>
- Liao, H. & Deng, Q .2018. EES-EOQ model with uncertain acquisition quantity and market demand in dedicated or combined remanufacturing systems. *Applied Mathematical Modelling*, 64:135-167. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2018.07.026>
- Lu H and Campbell D.E .2009. Ecological and economic dynamics of the Shunde agricultural system under China's small city development strategy. *Journal of Environmental Management*, 90(8): 2589-2600. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.01.019>
- Lu H.F, Kang W.L, Campbell D.E, Ren H., Tan Y.W, Feng R.X, Luo J.T and Chen F.P .2009. Emergy and economic evaluations of four fruit production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. *Ecological Engineering*, 35(12):1743-1757. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.08.001>
- Mirshekari S, Dahmardeh M, Asgharipour M.R, GHanbari S.A. and Seyedabadi E .2023. Assessing emergy-based sustainability in five major agricultural ecosystems in Hirmand, Sistan and Baluchestan Province. *Crop Science Research in Arid Regions*, 4(2): 437-457. <https://doi.org/10.22034/csrar.2021.311181.1146>
- Mirshekari S, Dahmradeh M, Asgharipour M.R, Ghanbari A and Seyedabadi E .2022. Sustainability assessment of six crop production systems based on emergy and economic analysis in Hirmand city. *Journal of Agroecology*, 13(3): 539-561. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087713.1400.13.3.11.4>
- Mirshkari S, Asgharipour M.R, Ghafari Moghadam Z, Hashemi S.A .2022. Evaluation of the sustainability of greenhouse cucumber and tomato production ecosystems based on economic and economic analysis in Sistan region. *Applied ecology*, 11(4): 63-77. (in ersian) <https://dorl.net/dor/10.47176/ijae.11.4.14361>
- Moonilall N.I, Homenauth O and Lal R. .2020. Emergy analysis for maize fields under different amendment applications in Guyana. *Journal of Cleaner Production*, 258: 120761.
- Odum HT .1996. *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making*. Wiley.
- Odum H.T and Peterson N .1996. Simulation and evaluation with energy systems blocks. *Ecological modelling*, 93(1-3): 155-173.
- Odum, H.T .1988. Self-organization, transformity, and information. *Science*, 242(4882): 1132-1139.
- Ortega E, Anami M and Diniz G .2002. September. Certification of food products using emergy analysis. In *Proceedings of III International Workshop Advances in Energy Studies* 227-237

- Pizzigallo A.C.I, Granai C. and Borsa S .2008. The joint use of LCA and emergy evaluation for the analysis of two Italian wine farms. *Journal of Environmental Management*, 86(2): 396-406. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.04.020>
- Saberi A.R .2018. Investigating the performance and morphological traits of some new fodder crops and forgotten fodder plants in Golestan province. *Applied Research of Plant Ecophysiology*. 6(2):57-45. .(In Persian with English Abstract).
- Salari Sardi F and Kiyani A.F .2009. Investigation of the effect of climate on the stability of the physical environment of Zabol city. In *Conference on Geography and Sustainable Urban Development*, Islamic Azad University, Shirvan Branch, Iran.(In Persian with English Abstract)..
- Su Y, He S, Wang K, Shahtahmassebi A.R, Zhang L, Zhang J, Zhang M and Gan M .2020. Quantifying the sustainability of three types of agricultural production in China: An emergy analysis with the integration of environmental pollution. *Journal of Cleaner Production*, 252:119650. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119650>
- Su Y, Xia P, Yu R, Wang X, Wang C, Jiang J, Zhu C, He S, Zhi J and Li Y .2023. Integrated emergy and economic evaluation of different planting systems in China: implications for coordinating poverty alleviation and rural revitalization. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 21(1): 2247799. <https://doi.org/10.1080/14735903.2023.2247799>
- Turchini G. M .2023. Aquaculture sustainability: Global challenges need local actions. *Reviews in Aquaculture*, 15(2): 402-403. <https://doi.org/10.1111/raq.12797>
- Wang H, Xie T, Yu X and Zhang C .2021. Simulation of soil loss under different climatic conditions and agricultural farming economic benefits: The example of Yulin City on Loess Plateau. *Agricultural Water Management*, 244: 106462. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106462>
- Wang X, Chen Y, Sui P, Gao W, Qin F, Zhang J and Wu X .2014. Emergy analysis of grain production systems on large-scale farms in the North China Plain based on LCA. *Agricultural Systems*, 128: 66-78. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.03.005>
- Williamson T.R, Tilley D.R and Campbell E .2015. Emergy analysis to evaluate the sustainability of two oyster aquaculture systems in the Chesapeake Bay. *Ecological Engineering*, 85: 103-120. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.052>
- Xi Y.G and Qin P .2009. Emergy evaluation of organic rice-duck mutualism system. *Ecological Engineering*, 35(11): 1677-1683. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.11.006>
- Yue J, Yuan X, Li B, Ren H and Wang X .2016. Emergy and exergy evaluation of a dike-pond project in the drawdown zone (DDZ) of the Three Gorges Reservoir (TGR). *Ecological Indicators*, 71: 248-257. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.05.015>
- Zhang X.H, Zhang R, Wu J, Zhang Y.Z, Lin L.L, Deng S.H, Li L, Yang G, Yu X.Y, Qi H and Peng H .2016. An emergy evaluation of the sustainability of Chinese crop production system during 2000–2010. *Ecological Indicators*, 60: 622-633. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.004>