



Monitoring the Sustainability of Cropland of Boland Village in Sistan and Baluchistan Province, Iran, using Emergy Approach

Farshad Golshani¹, Mohammad Reza Asgharipour^{2*}, Ahmad Ghanbari² and Esmaeel Seyedabadi³

Received: 25-09-2021
Revised: 19-12-2021
Accepted: 28-12-2021
Available Online: 28-12-2021

How to cite this article:

Golshani, F., Asgharipour, M. R., Ghanbari, A., & Seyedabadi, E. (2023). Monitoring the sustainability of cropland of Boland village in Sistan and Baluchistan province, Iran, using emergy approach. *Journal of Agroecology*, 15(3), 505-525.
DOI: [10.22067/agry.2021.72718.1067](https://doi.org/10.22067/agry.2021.72718.1067)

Introduction

Sustainability analysis of agricultural ecosystems is important in their decision-making and proper management. Quantifying the sustainability of cropping agroecosystems can provide solutions to achieve positive economic and environmental results. Emergy analysis can be used to determine the degree to which ecological and economic systems are sustainable. By employing this method, we can better understand ecological and economic systems and their interactions. Emergy analysis quantifies environmental and economic costs associated with achieving sustainability, allowing for integrated management of ecological and economic factors. Emergy analysis is currently being used in agriculture to determine the sustainability of various scales of production systems. The present study was conducted to monitor the sustainability and productivity of inputs in wheat, barley, and alfalfa production systems using emergy indicators using information collected from the smallholders in Boland village, Sistan, Iran, in 2019.

Materials and Methods

Boland village is located in Teymurabad village, approximately 17 kilometers north of Zabol city in Sistan and Baluchistan province. Boland village's agricultural composition includes wheat, barley, and alfalfa cultivation. During the study year, 148.9 hectares were designated for wheat cultivation, 50.8 hectares for barley cultivation, and 13.5 hectares for alfalfa cultivation. The inputs used included environmental and non-renewable resources and purchased resources. These data were gathered during the study period using a database of agricultural organizations, verbal estimates, field measurements, and researcher observations. The first step is to analyze the system's boundaries and draw an energy diagram to classify the system's inputs. Emergy analysis's second step is to create emergy evaluation tables. After quantifying each system's input flow in joules, grams, or Rials, the inputs were multiplied by their transformities to obtain the solar emjoule (sej). Specific emergy, unit emergy value, renewable emergy percentage, emergy investment ratio, emergy yield ratio, environmental loading ratio, environmental sustainability index, and emergy exchange ratio were all used in this study.

Results and Discussion

1- Ph.D. Candidate, Department of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
2- Professor of Agroecology, Department of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
(*- Corresponding author's Email: m_asgharipour@uoz.ac.ir)

Free renewable and non-renewable flows accounted for 50.79%, 45.89% and 42.29% of the total input current of wheat, barley and alfalfa production systems. The large share of free domestic inputs indicates that the majority of study farms are non-industrial systems that are managed in a semi-traditional, low-input manner. The emergy input of non-renewable environmental resources was $2.73E+17$, $6.42E+17$, and $4.99E+17$ sej/ha in wheat, barley, and alfalfa systems, respectively. Wheat and barley production systems have high emergy flows due to the high loss of soil organic matter and soil erosion in these systems. In wheat, barley, and alfalfa production systems, the highest proportions of purchased exergy resources were associated with animal manure, nitrogen fertilizer, and phosphorus fertilizer, respectively. In wheat, barley, and alfalfa production systems, the unit emergy value was $4.44E+05$, $3.80E+05$, and $3.64E+05$ sej/J, respectively. The higher exergy efficiency of alfalfa production systems compared to wheat and barley production systems may be attributed to alfalfa's comparable economic performance to other systems. EYR was calculated to be 2.03, 1.85, and 1.73 in wheat, barley, and alfalfa production systems, respectively. The reason for the higher EYR in wheat production is that less purchased resources are used and a greater proportion of inputs are provided by purchased resources. Additionally, the ELR values for wheat, barley, and alfalfa production systems in Boland village were 17.36, 16.09, and 7.08, respectively. The calculated values for emergy sustainability indices (ESI and ESI*) showed that the ecological sustainability of the alfalfa production system is higher than other study systems. The main reason for the greater sustainability of this system was the large share of input energy related to free environmental inputs and economical renewable resources. Also, low energy exchangeable ratio (EER), environmental sustainability resulting from market impact, less emergy expended in the production of each output unit, and higher productivity of total production factors indicate a greater comparative advantage of the alfalfa production system.

Conclusion

In general, the evaluations based on the calculation of emergy-based indicators showed that in the dominant agricultural systems of the Boland village, Sistan, attention to practical solutions in the comprehensive management of the production system, especially protection of soil organic matter and prevention of soil erosion, can have a significant impact on ecological sustainability.

Keywords: Environmental load, Emergy synthesis, Renewable inputs, Input-output based analysis, Emergy based indicators

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص ۵۲۵-۵۰۵

پایش پایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی تولید محصولات زراعی روستای بلند استان سیستان و بلوچستان با استفاده از رهیافت تحلیل امرژی

فرشاد گلشنی^۱، محمدرضا اصغری‌پور^{۲*}، احمد قنبری^۲ و اسماعیل سیدآبادی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۹/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۷

چکیده

تحلیل پایداری بوم‌نظام‌های زراعی در تصمیم‌گیری و مدیریت صحیح آن‌ها اهمیت دارد. کمی‌کردن پایداری بوم‌نظام‌های زراعی می‌تواند راهکارهایی در جهت رسیدن به نتایج اقتصادی و محیطی مثبت ارائه نماید. تحقیق حاضر، جهت پایش اکولوژیکی پایداری و بهره‌وری استفاده از نهاده‌ها در بوم‌نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه چندساله بر مبنای رهیافت امرژی، با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده از سطح نظام‌های خرده مالکی روستای بلند، استان سیستان و بلوچستان، ایران در ۱۳۹۸ انجام شد. برای تحلیل نظام‌های تولید، نهاده‌ها به چهار دسته تقسیم شدند، نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر (R)، نهاده‌های محیطی تجدیدناپذیر (N)، نهاده‌های اقتصادی تجدیدپذیر، و نهاده‌های غیراقتصادی تجدیدناپذیر (FR & FN). مجموع امرژی پشتیبانی‌کننده از نظام‌های تولید گندم (*Triticum aestivum*)، جو (*Hordeum vulgare*) و یونجه (*Medicago sativa*) به ترتیب برابر با $۱۰۱۸ \times ۳/۰۲$ و $۱۰۱۷ \times ۷/۰۶$ و $۱۰۱۷ \times ۵/۸۳$ ام‌ژول خورشیدی در سال بود. جریان‌های رایگان تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر به ترتیب $۵۰/۷۹$ ، $۴۵/۸۹$ و $۴۲/۲۹$ درصد از کل امرژی ورودی نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه را به خود اختصاص دادند. سهم زیاد نهاده‌های رایگان داخلی نشان می‌دهد که غالب مزارع مطالعه، نظام‌هایی غیرصنعتی هستند که به شیوه نیمه‌صنعتی و کم‌نهاد مدیریت می‌شوند. مقادیر محاسبه‌شده غیربرای شاخص‌های پایداری (ESI* و ESI) نشان داد، پایداری اکولوژیکی نظام تولید یونجه بیشتر از سایر نظام‌های مطالعه است. دلیل اصلی پایداری بیشتر این نظام، سهم زیاد انرژی ورودی مربوط به نهاده‌های محیطی رایگان و منابع تجدیدپذیر اقتصادی بود. همچنین پایین بودن کسر مبادله امرژی (EER)، پایداری زیست‌محیطی منتج از تأثیر بازار، مقدار انرژی صرف شده کمتر در تولید هر واحد خروجی و بهره‌وری بیشتر کل عوامل تولید حاکی از مزیت نسبی بیشتر نظام تولید یونجه است. در مجموع، ارزیابی‌های انجام‌شده بر اساس محاسبه شاخص‌های مبتنی بر امرژی نشان داد، در نظام‌های زراعی غالب روستا، توجه به راهکارهای عملی در مدیریت جامع بوم‌نظام تولیدی به‌ویژه حفاظت از مواد آلی خاک و جلوگیری از فرسایش خاک، می‌تواند در پایداری اکولوژیکی این نظام‌ها تأثیر چشمگیری داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل امرژی، تحلیل مبتنی بر ورودی-خروجی، شاخص‌های مبتنی بر امرژی، فشار زیست‌محیطی، نهاده‌های تجدیدپذیر

مقدمه

منابع طبیعی در حال حاضر برای تولید غذا تحت فشار زیادی قرار دارند و یافتن راه‌حلی‌هایی که بدون استفاده از آب بیشتر یا ایجاد تخریب محیط منجر به افزایش تولید مواد غذایی شود، ضروری است

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۲- استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۳- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

*- نویسنده مسئول: (Email: m_asgharipour@uoz.ac.ir)

غیرمستقیم استفاده می‌شود تا به ارائه خدمات و یا محصول منجر شود. به امرژی، امرژی مجسم یا "حافظه امرژی" نیز می‌گویند. استفاده از رویکرد امرژی در جهت هدایت سیاست‌گذاری‌ها می‌تواند به رابطه همزیستی میان انسان و طبیعت منجر شود (Wang et al., 2014). در سال‌های اخیر از تکنیک تحلیل امرژی به‌طور گسترده‌ای برای مقایسه نظام‌های طبیعی و کشاورزی، ارزیابی اثرات محیطی تولید در مقیاس‌های مختلف، تعیین بهره‌وری، پایداری و کارایی استفاده از منابع استفاده شده است (de Barros et al., 2009; Campbell et al., 2009).

امیری و همکاران (Amiri et al., 2021) از ۱۴ شاخص متفاوت و دارای قابلیت سنجش ابعاد اکولوژیکی، اقتصادی و بازاری و اندازه‌گیری کیفیت محصول برای مقایسه سه نظام زراعی مکانیزه، سنتی و حفاظتی تولید موسیر با رویگاه طبیعی این گیاه استفاده کرده و نظام حفاظتی تولید موسیر (*Allium stipitatum*) را بهینه‌ترین و پایدارترین نظام به‌منظور جایگزینی نظام‌های موجود در تولید موسیر در ایران معرفی کردند. نتایج حاصل از تحلیل امرژی و محاسبه شاخص‌های ترمودینامیکی چهار نظام تولید خیار (*Cucumis sativus*)، گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*)، فلفل (*Capsicum annuum*) و بادمجان (*Solanum melongena*) در جیرفت ایران حاکی از پایداری نظام تولید خیار در مقایسه با سه نظام دیگر بود (Asgharipour et al., 2020). در راستای ارائه راهبردهای مناسب جهت توسعه کشت، افزایش پایداری و بهره‌وری تولید کلزا (*Brassica napus*)، امیری و همکاران (Amiri et al., 2020) با استفاده از تحلیل‌های اقتصادی و امرژی دو نظام معیشتی و تجاری تولید کلزا را مقایسه کردند. در میان دو الگوی مورد مطالعه تولید کلزا، پایداری محیط زیستی بالاتر، درصد تجدیدپذیری بیشتر امرژی ورودی و بار زیست‌محیطی کمتر مزایای نظام معیشتی، و بالا بودن کسر مبادله امرژی، پایداری زیست‌محیطی منتج از تأثیر بازار، مقدار امرژی صرف شده کمتر در تولید هر واحد خروجی (اثربخشی بالاتر امرژی) و بهره‌وری بیشتر کل عوامل تولید مزایای نظام تجاری بودند. در مناطق روستایی سیستان شیوه مالکیت اراضی خرده مالکی است و اکثر مزارع به‌صورت نیمه سنتی مدیریت می‌شوند. در این نظام‌ها، عملیاتی مانند تهیه بستر، کاشت و برداشت گیاه و گاه برخی از عملیات داشت مانند وجین کردن با ماشین انجام می‌شود. در نظام‌های زراعی این مناطق، سرمایه‌گذاری اندک و مصرف منابع در

(Amiri et al., 2020; Muzari, 2014). به‌دلیل تأمین تقاضای روزافزون برای محصولات کشاورزی و در عین حال، حفظ خدمات محیطی بوم‌نظام‌ها، تخصیص بهینه منابع ضروری است. در سال‌های اخیر همراه با پیشرفت‌های تکنولوژیکی و جهانی شدن اقتصاد، انتخاب گیاه زراعی مناسب و بهبود روش‌های مدیریت محصولات زراعی اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است (Sneessens et al., Clark, 2004; 2016). نظام‌های زراعی متداول به‌شدت به نهاده‌های بازاری نظیر کودهای شیمیایی، امرژی‌های صنعتی، نیروی کار و ماشین‌آلات وابسته هستند. با توجه به هزینه‌های بالای تهیه نهاده‌های خارجی برای تولید محصولات زراعی، شناسایی نقاط مهم هدررفت عناصر غذایی و رویکردهایی برای بهبود چرخه عناصر غذایی ضروری است (Amiri et al., 2019). کمبود و افزایش قیمت جهانی حامل‌های انرژی از یک‌سو و اثرات محیطی حاصل از مصرف انرژی، در کنار نگرانی‌های بین‌المللی و ضرورت توجه به توسعه پایدار از سوی دیگر، سیاست‌گذاران را مصمم به اتخاذ راهکارهایی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی در بخش کشاورزی کرده است (Heidari et al., 2015). بنابراین، نحوه سیر انرژی و کاهش اثرات محیطی از جمله مباحث مهم در طراحی بوم‌نظام‌های زراعی می‌باشد. همچنین درک شیوه‌های تخصیص انرژی به اجزای بوم‌نظام کشاورزی در توسعه و مدیریت این بوم‌نظام‌ها و کاهش انتشار اثرات زیست‌محیطی اهمیت دارد (Colaco et al., 2012). استفاده کاراً از انرژی در کشاورزی یکی از اصول کشاورزی پایدار محسوب می‌شود. بنابراین، راهبرد بخش کشاورزی ترویج نظام‌هایی از تولید محصولات کشاورزی است که بتوانند به‌ازای مصرف کمتر انرژی مقدار بیشتری انرژی تولید کنند (Tzivilivakis et al., 2005). اگرچه هدف اساسی در نظام‌های زراعی، افزایش سود اقتصادی است، ولی بوم‌نظام‌های زراعی باید بتوانند پایداری تولید محصولات در درازمدت، حفاظت از منابع پایه، کاهش آلودگی‌های محیطی و درنهایت ثبات تولید را تضمین کنند (Vandermeer et al., 2011). ایجاد و حفظ پایداری در کشاورزی به تکنیک‌های جامعی برای ارزیابی و تحلیل پایداری نیاز دارد (Quintero-Angel & Gonzalez-Acevedo, 2018). از جمله روش‌های جامع در ارزیابی پایداری در نظام‌های کشاورزی برآورد کمیت و کیفیت انرژی با استفاده از تکنیک تحلیل امرژی است (Amiri et al., 2019). امرژی، انرژی در دسترس خورشیدی است که به‌طور مستقیم یا

شبانه روز، بارندگی متوسط سالیانه ۶۴ میلی‌متر با پراکندگی نامناسب، و بالا بودن دما به‌خصوص در فصل تابستان را نام برد (Tavousi & Raeispour, 2011). در زابل میانگین سالیانه دما ۲۱/۹ درجه سانتی‌گراد است.

چهار محصول مهم روستای بلند گندم، جو و یونجه است. زراعت و تولید علوفه، اقتصاد عمده خانوارهای روستایی را تشکیل می‌دهد و فعالیت‌های دیگر به‌دلیل فراهم نبودن بستر مناسب گسترش نیافته‌اند. در سال مورد مطالعه از مجموع اراضی روستا ۱۴۸/۹ هکتار به کشت گندم، ۵۰/۸ هکتار به کشت جو و ۱۳/۵ هکتار به کشت یونجه اختصاص یافته بود. منابع آب‌های سطحی منطقه متکی به رودخانه هیرمند است. به‌دلیل وضعیت خاص زمین‌شناسی، آبرفتی بودن دشت و ساختار رسی خاک منطقه امکان تشکیل سفره‌های آب زیرزمینی غنی در این منطقه وجود ندارد (Zia Tavana, 1992). با این‌حال، اخیراً هشت حلقه چاه کم عمق برای توسعه کشاورزی در روستای بلند حفر شده است. آب مورد استفاده برای پرورش گندم، جو و یونجه از طریق چاه و آب رودخانه هیرمند در بهار و باران‌های محدود فصلی تأمین می‌شود.

جمع‌آوری اطلاعات

در این مطالعه، به‌منظور ارزیابی ساختار امرژی ورودی، محاسبه شاخص‌های امرژی و تحلیل اقتصادی نهاده‌های مورد استفاده در اراضی زراعی در دوره زمانی یک‌ساله برای سال ۱۳۹۸ جمع‌آوری گردید. نهاده‌های مورد استفاده در نظام‌ها شامل نهاده‌های رایگان تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر و نهاده‌های غیررایگان شامل ادوات و تأسیسات، ماشین‌آلات، نیروی انسانی، کودها، سموم، الکتروسیته و ستانده‌ها شامل دانه و کود آلی بود. این داده‌ها با استفاده از پایگاه اطلاعات جهاد کشاورزی، برآوردهای کلامی با استفاده از پرسش‌نامه چهره-به-چهره، و اندازه‌گیری‌های میدانی و مشاهدات محقق در طول دوره مطالعه گردآوری شد. آمار و اطلاعات هواشناسی بلندمدت برای تابش خورشیدی از ایستگاه هواشناسی سیستان تعیین شد. نمونه کود آلی برای آنالیز طیف‌سنجی ابتدا به‌روش هضم خشک آماده‌سازی شد. ترکیبات معدنی نمونه با روش طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS) آنالیز و اندازه‌گیری شد (McLaughlin et al., 2012). مقدار نیتروژن کود اوره ۴۶ درصد، مقدار فسفر سوپر فسفات تریپل ۲۰ درصد، و مقدار پتاسیم در سولفات پتاسیم ۴۳ درصد در نظر گرفته شد (Chen, 2011). جریان انرژی ورودی سالیانه به‌شکل تأسیسات ساختاری، ساختمان‌ها، ماشین‌آلات و مواد مورد استفاده در نظام‌ها با توجه به

واحد سطح بالا نیست. تولید محصول در این مناطق تا حد زیادی به حاصلخیزی طبیعی خاک، و مقدار آب آبیاری در دسترس وابسته است. دستیابی به تولید پایدار در منطقه سیستان در هر دو بعد منطقه‌ای و ملی اهمیت زیادی دارد. مکانیسم‌ها و ویژگی‌های نظام‌های تولید محصولات زراعی به‌منظور فراهم شدن امکان استفاده بهینه از منابع رایگان طبیعی، بهره‌برداری از کنترل طبیعی آفات و بهبود کارکردهای اجزاء نظام باید به‌طور جامع بررسی شود (Franzluebbers & Stuedemann, 2007).

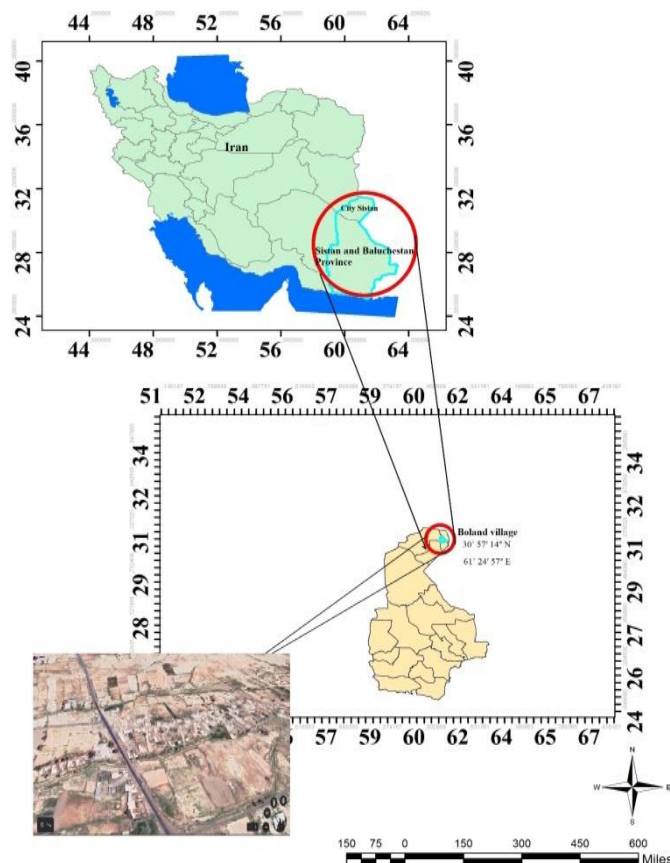
روستای بلند یک روستای دشتی است که در شهرستان هامون در شرق منطقه سیستان قرار دارد (Abbasi et al., 2017). تحلیل نظام‌های تولیدی با استفاده از تکنیک امرژی و وارد نمودن نهاده‌های تأثیرگذار بر پایداری با واحد یکسان ام‌ژول خورشیدی، می‌تواند تصویری گویا از وضعیت پایداری این نظام‌ها و بینش جدیدی را با تحلیل هزینه‌ها و مزایای مدیریت نظام‌های تولید در روستای بلند که با محدودیت‌های زیادی مواجه است، ارائه دهد. یافته‌های چنین مطالعه‌ای می‌تواند اطلاعات تکمیلی را برای بهبود و توسعه کشت همراه با کاهش هزینه‌ها و اثرات مخرب محیطی در سطح روستا به ارمغان آورد. بر این اساس، هدف این مطالعه، ارزیابی پایداری اکولوژیکی نظام‌های تولید محصولات زراعی عمده روستای بلند، در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از رهیافت امرژی و تعیین ساختار نهاده‌ها و شاخص‌های مبتنی بر امرژی در نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه روستای بلند بود.

مواد و روش‌ها

سایت اجرای پژوهش

روستای بلند در دهستان تیمور آباد در فاصله ۱۷ کیلومتری شهر زابل در شمال استان سیستان و بلوچستان قرار دارد. این روستا در مختصات جغرافیایی ۳۴/۷۹۵۳ شمالی و ۳۴/۲۶۱۶۵ شرقی و ۴۷۴ متر ارتفاع از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱). براساس آماربرداری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰، روستای بلند ۶۴ خانوار و ۴۲۲ نفر جمعیت دارد. خاک اراضی این روستا از نوع رسوبات رودخانه‌ای است که همراه سیلاب از نقاط دوردست به دشت منتقل شده و در آنجا ته‌نشین شده‌اند. عمده خاک‌های این منطقه جزء رده Aridisols و Entisols است که دارای pH بیش‌تر از هفت و شوری حدود پنج دسی‌زیمنس بر متر است. منطقه سیستان دارای اقلیم نیمه بیابانی گرم و فراخشک است. از خصوصیات مهم اقلیمی این منطقه می‌توان به وزش بادهای شدید در طول ماه‌های خرداد تا شهریور (سیاه باد سیستان)، سالیانه بیش از ۲۶۰ روز آفتابی، دامنه تغییرات زیاد دما در

طول عمر خدمات آن‌ها برآورد شد (Jafari Vassallo et al., 2007) ;
(et al., 2018).



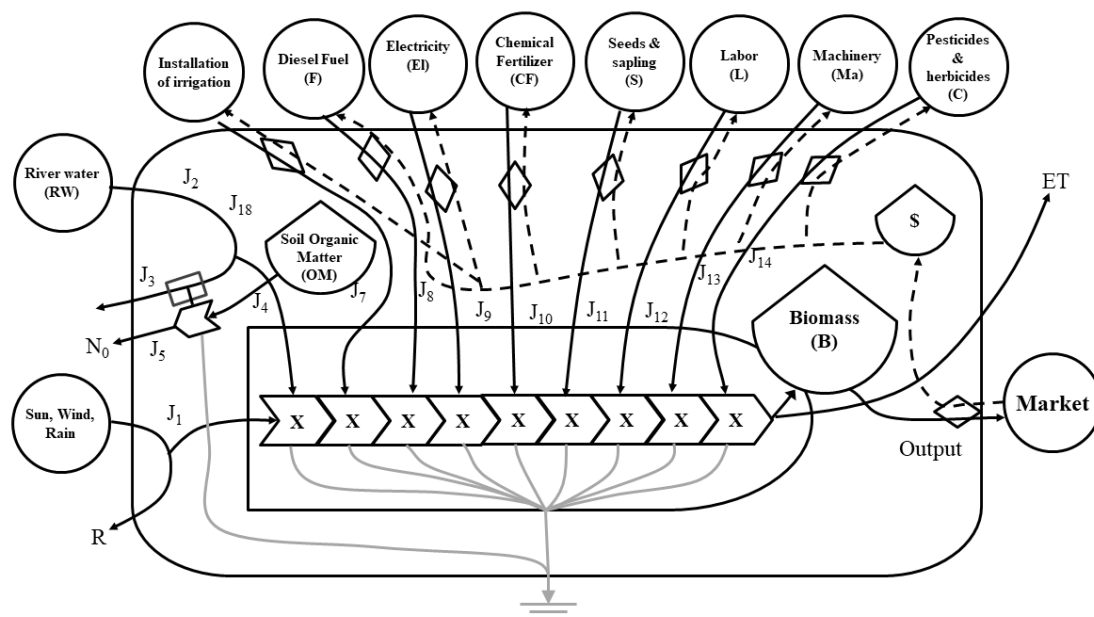
شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعه در استان سیستان و بلوچستان و ایران
Fig. 1- Study location within Sistan and Baluchestan Province and Iran

روش تحلیل امرژی

تکنیک تحلیل امرژی توسط محققین مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است (Odum, 1996; Odum et al., Uligati et al., 1994) ;
2000). نخستین مرحله برای تحلیل امرژی تعیین مرزهای مکانی و زمانی نظام‌های مورد بررسی و ترسیم دیاگرام انرژی برای طبقه‌بندی نهادهای نظام‌های مورد بررسی به تجدیدپذیر یا تجدیدنپذیر، محلی یا وارداتی است (شکل ۲). این روش برای مدیریت بین اجزای اصلی و فرایندهای مهم نظام اهمیت دارد. زبان نظام‌های انرژی یک زبان نمادین است که ویژگی‌های شبکه‌ای نظام‌ها را نمایش می‌دهد (Odum, 1996). مرحله دوم تحلیل امرژی، ترسیم جداول ارزیابی امرژی است.

نهادهای در نظام‌های تولیدی جهت بررسی به چهار دسته تقسیم

می‌شوند (Lu et al., 2010): منابع محیطی تجدیدپذیر (R)، شامل: نور خورشید، باد، انرژی‌های شیمیایی و ژئوتانسیل باران (انرژی فیزیکی آب جاری بر پیکره گیاه)، آب رودخانه و تبخیر و تعرق؛ منابع محیطی تجدیدنپذیر (N)، شامل: تلفات ماده آلی خاک، فرسایش و آب‌های زیرزمینی؛ منابع خریداری شده تجدیدپذیر (FR) و منابع خریداری شده تجدیدنپذیر (FN) شامل: بذر، کودهای شیمیایی، کود آلی، نیروی کارگری، الکتریسیته، ماشین‌آلات کشاورزی، سوخت فسیلی، سموم و آفت‌کش‌های شیمیایی، و زمین و تأسیسات است (Asgharipour et al., 2019 and 2020). آب از منبع رودخانه تجدیدپذیر در نظر گرفته شده و در دسته نهادهای R قرار گرفت و آب از منبع چاه تجدیدنپذیر بود و در دسته N دسته‌بندی شد.



شکل ۲- دیاگرام جریان انرژی برای نظام‌های زراعی روستان بلند، ایران
 Fig. 2- Summary diagram of the energy flows of the cropping production systems in Boland village, Iran

زراعی و علوفه‌ای از طریق سوزاندن در بمب کالری متر (Parr-6200 Calorimeter) محاسبه شد.

پس از کمی‌سازی همه جریان‌های ورودی برحسب ژول، گرم یا ریال برای هر یک از نظام‌ها، ورودی‌ها در ضرایب تبدیل^۲ آن‌ها ضرب شد تا به واحد انرژی (sej) تبدیل شود (Lu et al., 2009; Campbell et al., 2005; Odum et al., 2000; Amiri et al., 2019). این ضرایب تبدیل برای هر جزء و محصول از مطالعات قبلی اقتباس شده است (Odum, 1996; Amiri et al., 2019). ضرایب تبدیل مختلفی برای هر مورد در منابع مختلف محاسبه شده است، و ضرایب تبدیل از مطالعاتی انتخاب شد که با شرایط مطالعه حاضر بیشترین شباهت را داشتند. جزئیات محاسبات مربوط به ارزیابی نهاده‌ها در پیوست مقاله ارائه شده است.

در تحلیل‌های انرژی از شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی‌های زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و حتی کیفیت محصولات تولیدی بوم‌نظام‌ها استفاده می‌شود (Cavalett et Ulgiati et al., 1994; al., 2006; Lu et al., 2010; Amiri et al., 2019). در این مطالعه، از شاخص‌های انرژی ویژه (SpE^۳)، ارزش واحد انرژی

متوسط فرسایش بادی در تمام نظام‌ها ۲۷/۸۸ ton.ha⁻¹ در نظر گرفته شد (Porsur, 2009). فرسایش آبی با مدل RUSLE^۱ تخمین زده شد. نمونه‌های خاک از مکان‌های تحقیقاتی در اوایل مهرماه سال ۱۳۹۷ و سال ۱۳۹۸ برای ارزیابی نحوه تغییرات کربن آلی برداشت شد. در هر مکان، نمونه‌های خاک در مرکز و چهارگوشه هر مزرعه با استفاده از یک اوگر برداشته شده و برای تشکیل یک نمونه مرکب با هم مخلوط شد. کربن آلی نمونه‌های خاک مزارع با استفاده از روش والکی و بلک (Schulte et al., 1996) اندازه‌گیری شد. همچنین عملکرد محصول اقتصادی و بیولوژیک مزارع محصولات مختلف اندازه‌گیری شد. انرژی ماشین‌آلات با توجه به وزن فولاد به کار رفته، عمر اقتصادی ماشین، ساعات کار ماشین‌آلات در سال در نظر گرفته شد (Campbell et al., 2005). به این منظور، وزن هر کدام از ماشین‌آلات مورد استفاده در ساعات کاری ضرب شده و بر عمر اقتصادی ماشین‌آلات و ساعات کاری ماشین در طی سال تقسیم شد. برای محاسبه انرژی بذر مصرفی و تجهیزات آبیاری از ضریب انرژی به‌ازای واحد پول (۶/۷۶×۱۰^۷ ام‌ژول خورشیدی به‌ازای هر ریال) استفاده شد (Amiri et al., 2021). محتوای انرژی محصولات

2- Transformities
 3- Specific energy

1- Revised universal soil loss equation

$7/21 \times$ ام‌ژول خورشیدی در سال بود (جدول ۳). جریان‌های R به‌ترتیب $5/45$ ، $5/85$ و $12/37$ درصد از کل امرژی وارد شده به‌نظام‌های گندم، جو و یونجه را تشکیل داد (شکل ۳). مقایسه مقادیر R سه نظام مورد مطالعه، بیانگر بهره‌مندی بیشتر نظام تولید یونجه از جریان‌های تجدیدپذیر محیطی به دلیل طولانی بودن دوره رشد گیاه و هم‌زمانی بخشی از رشد با بادهای 120 روزه منطقه سیستان بود. این بادهای فصل تابستان همراه با گرد و غبار شروع به وزیدن می‌نمایند و تا پایان فصل ادامه دارند و گاهی به‌سرعت 90 کیلومتر در ساعت نیز می‌رسند. از جمله اثرات این بادهای موسمی می‌توان به افزایش شدید تبخیر و تعرق گیاهی، فرسایش خاکی و کاهش ماده آلی خاک اشاره نمود. از سوی دیگر، دلیل پایین بودن میزان امرژی ورودی در نظام‌های گندم و جو از منبع نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر دوره رویش کوتاه و اتمام فصل رشد پیش از شروع بادهای منطقه سیستان است.

جریان‌های محیطی تجدیدناپذیر (N)

منابع تجدیدناپذیر محیطی (N) شامل آب‌های زیرزمینی، تبخیر و تعرق آب‌های زیرزمینی، فرسایش خاک و تلفات ماده آلی خاک است. در نظام‌های گندم، جو و یونجه روستا مقدار امرژی جریان‌های N به‌ترتیب $1/37 \times 10^{18}$ و $2/83 \times 10^{17}$ و $1/74 \times 10^{17}$ ام‌ژول خورشیدی در سال بود (جدول ۳). این مقادیر برای نظام‌های گندم، جو و یونجه به‌ترتیب برابر با $45/34$ ، $40/04$ و $29/92$ درصد از کل امرژی ورودی به این نظام‌ها است (شکل ۳). دلیل بالا بودن سهم جریان‌های ورودی نظام‌های تولید گندم و جو، تلفات زیاد ماده آلی خاک و فرسایش خاک در این نظام‌ها بود. میزان تلفات مواد آلی خاک و فرسایش خاک برای گندم $9/27 \times 10^{17}$ و $4/45 \times 10^{17}$ ام‌ژول خورشیدی در سال، برای جو $2/71 \times 10^{17}$ و $1/21 \times 10^{16}$ ام‌ژول خورشیدی در سال و برای یونجه $8/40 \times 10^{16}$ و $4/86 \times 10^{16}$ ام‌ژول خورشیدی در سال بود. لازم به ذکر است، در نظام‌های تولید یونجه به دلیل استفاده از آب‌های زیرزمینی سهم منبع تجدیدناپذیر آب‌های زیرزمینی از امرژی ورودی $6/16$ درصد بود، در حالی که آبیاری نظام‌های گندم و جو صرفاً بر مبنای منبع آب تجدیدپذیر رودخانه هیرمند است و سهم مصرف نهاده آب زیرزمینی صفر است.

(UEV^۱)، درصد امرژی تجدیدپذیر (R^2 %)، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR^3)، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی اصلاح شده (EIR^4)، نسبت عملکرد امرژی (EYR^5)، نسبت بار محیط زیستی (ELR^6) و نسخه اصلاح شده آن (ELR^*)، پایداری محیط‌زیست (ESI^7) و نسخه اصلاح شده آن (ESI^*)، کسر مبادله امرژی (EER^8) استفاده گردیده که در جدول ۱ به همراه مشخصات و فرمول‌های مربوطه آورده شده است.

نتایج و بحث

ساختار استفاده از امرژی

جهت درک بهتر ساختار استفاده از امرژی، جریان‌های امرژی ورودی نظام‌های زراعی مطالعه در جدول ۲ به تفصیل آورده شده است. کلیه جریان‌های ورودی محیطی رایگان و خریداری شده تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر با ضرب در ضرایب تبدیل اقتباس شده از پژوهش‌های گذشته و قابل استفاده برای نظام‌های مورد مطالعه به واحدهای امرژی تبدیل شدند. جریان امرژی ورودی در نظام‌های گندم، جو و یونجه روستا به‌ترتیب برابر با $3/02 \times 10^{18}$ و $7/06 \times 10^{17}$ و $5/83 \times 10^{17}$ ام‌ژول خورشیدی در سال بود (جدول ۳).

جریان‌های محیطی تجدیدپذیر (R)

در این مطالعه، انرژی‌های نور خورشید، باد، باران، آب رودخانه و تبخیر و تعرق آب رودخانه جریان‌های محیطی تجدیدپذیر (R) را تشکیل دادند. با توجه به این که این جریان‌ها به‌طور مستقیم از انرژی‌های نور خورشید منشعب می‌شوند، جهت اجتناب از شمارش مضاعف بزرگ‌ترین آن‌ها به‌اضافه انرژی خورشیدی که در فتوسنتز مورد استفاده قرار می‌گیرد، به‌عنوان امرژی جریان‌های محیطی تجدیدپذیر در نظر گرفته شد (Asgharipour et al., 2019).

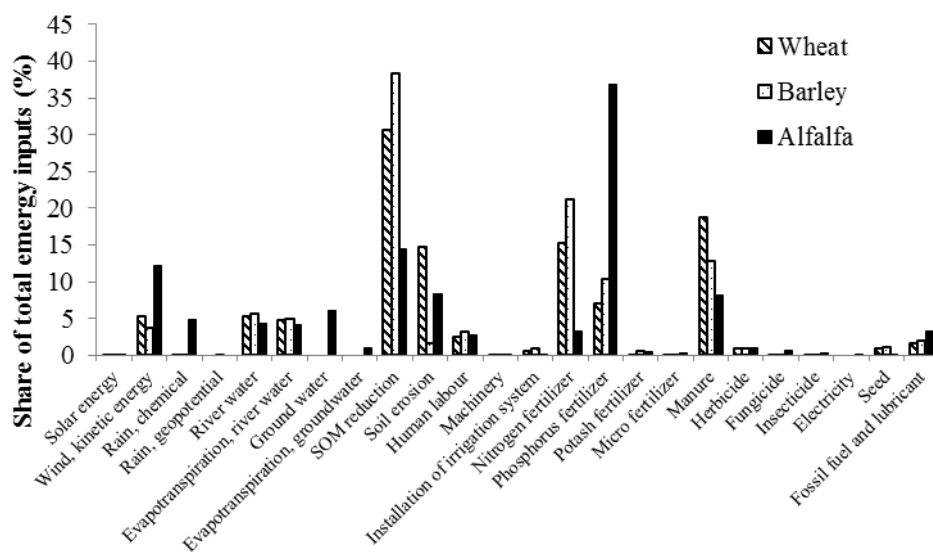
امرژی جریان‌های تجدیدپذیر به‌ترتیب برای نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه روستا برابر با $1/65 \times 10^{17}$ ، $4/13 \times 10^{16}$ و 10^{16}

- 1- Unit energy value
- 2- Renewable energy ratio
- 3- Energy investment ratio
- 4- Modified energy investment ratio
- 5- Energy yield ratio
- 6- Environmental loading ratio
- 7- Environmental sustainability index
- 8- Energy exchange ratio

جدول ۱- مشخصات و فرمول شاخص‌های مبتنی بر انرژی مورد استفاده برای ارزیابی نظام‌های تولید

Table 1- Specifications and formulas of indicators based on energy used to evaluate the production systems of wheat, garlic, onion, fennel, cumin, black seed of Hirmand

شاخص Indicator	فرمول Formula	مشخصات Specifications	منبع Reference
ورودی‌های تجدیدپذیر از منابع رایگان Renewable inputs from free local resources	R	جریان‌های محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental flows	Odum (1996)
ورودی‌های رایگان محیطی تجدید ناپذیر Non-renewable environmental inputs	N	جریان‌های تجدید ناپذیر از منابع محلی رایگان Non-renewable environmental flows	Odum (1996)
ورودی‌های بازاری تجدیدپذیر Renewable purchased inputs	F _R	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع بازاری Renewable flows from purchased resources	Odum (1996)
ورودی‌های بازاری تجدید ناپذیر Non-renewable purchased inputs	F _N	جریان‌های تجدید ناپذیر از منابع بازاری Non-renewable purchased flows	Odum (1996)
ورودی انرژی کل Total energy input	$U=R+N+F_R+F_N$	کل منابع انرژی مورد نیاز برای حمایت از نظام تولید Total energy resources required to support the production system	Odum (1996)
ضریب تبدیل Transformity	$Tr = U/AE$	مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد خروجی بر حسب ژول، AE محتوای انرژی محصول است. Amount of energy required to produce an output unit in joules. AE is the energy content.	Brown & Ulgiati (2004)
تجدیدپذیری انرژی Energy renewability	$\%R = \frac{R+F_R}{U} \times 100$	درصد انرژی تجدیدپذیر استفاده غیر توسط نظام Percentage of the renewable energy used by the system	Odum (2000)
نسبت عملکرد انرژی Energy yield ratio	$EYR = \frac{Y}{F_R+F_N}$	مقیاس استفاده از منابع محیطی با سرمایه‌گذاری در منابع اقتصادی Ability of a process to use renewable and nonrenewable environmental resources with economic resources as a capital	Odum (2000)
نسبت سرمایه‌گذاری انرژی Energy investment ratio	$EIR = \frac{F_R+F_N}{R+N}$	EIR نسبت منابع انرژی خریداری غیر از خارج به کل انرژی محیطی رایگان در نظام EIR is the ratio of energy resources purchased from outside to all free environmental energy in the system	Brown & Ulgiati (2004)
نسبت بار زیست محیطی استاندارد Standard environmental loading ratio	$ELR = \frac{N+F_N+F_R}{R}$	فشار محیطی ایجاد شده توسط یک نظام Environmental pressure produced by a process	Lu et al. (2014)
نسبت بار زیست محیطی اصلاح شده Modified environmental loading ratio	$ELR^* = \frac{N+F_N}{F_R+R}$	مقیاس اندازه‌گیری پایداری An inverse measure of sustainability	Lu et al. (2014)
شاخص پایداری محیط Energy sustainability index	$ESI = \frac{EYR}{ELR}$	وابستگی خروجی نظام به محیط، هر چه این مقدار بیشتر باشد، پایداری نظام قوی‌تر است. The dependence of the system output on the environment, the greater the value, the stronger the sustainability of the system.	Lu et al. (2014)
شاخص پایداری محیط اصلاح شده Modified environmental sustainability Index	$ESI^* = \frac{EYR}{ELR^*}$	شاخص پایداری متناوب که بر استفاده از منابع تجدیدپذیر توأم با حداقل فشار وارده بر محیط زیست متمرکز است. Alternate sustainability index that focuses on the use of renewable resources with minimal pressure on the environment.	Lu et al. (2014)
کسر مبادله انرژی Energy exchange ratio	$EER = \frac{YM}{U}$	خروجی اقتصادی (عملکرد نظام) مبادله شده با پول در بازار (YM) تقسیم بر کل انرژی ورودی نظام (U) Economic output (A system yield) traded with money in the market (YM) on total energy input rate (U)	Odum (1996)



شکل ۳- سهم نهاده‌های مختلف در نظام‌های محصولات مختلف تولید روستای بلند، سیستان، ایران
 Fig. 3- Share of energy inputs of different cropping production systems in Boland village, Sistan, Iran (%)

جدول ۲- مقادیر خام و کسر تجدیدپذیری برای نظام‌های مختلف تولید محصولات زراعی در روستای بلند

Table 2- Raw data and renewability Fraction for different cropping production systems in Boland village.

	Unit	Wheat	Barley	Alfalfa	Renewable fraction
	واحد	گندم	جو	یونجه	کسر تجدیدپذیری
جریان‌های محیطی تجدیدپذیر					
Renewable environmental input (R)					
نور خورشیدی	J	4.07E+15	1.24E+15	8.62E+14	1
Solar energy					
انرژی جنبشی باد	J	1.27E+14	2.15E+13	5.70E+13	1
Wind, kinetic energy					
انرژی شیمیایی باران	J	2.89E+11	9.87E+10	1.26E+12	1
Rain, chemical					
انرژی ژئوپتانسیل باران	J	8.04E+09	2.74E+09	7.30E+08	1
Rain, geopotential					
آب رودخانه	J	4.45E+12	1.11E+12	6.92E+11	1
River water					
تبخیر و تعرق آب رودخانه	J	5.01E+12	1.21E+12	8.38E+11	1
Evapotranspiration, river water					
جریان‌های محیطی تجدیدناپذیر					
Non-renewable environmental input					
آب زیرزمینی	J	0.00E+00	0.00E+00	1.87E+11	0
Ground water					
تبخیر و تعرق آب زیرزمینی	J	0.00E+00	0.00E+00	2.05E+11	0
Evapotranspiration, groundwater					
تلفات موادآلی خاک	J	9.90E+12	2.89E+12	8.97E+11	0
SOM reduction					
فرسایش خاک	J	3.50E+08	9.55E+06	3.83E+07	0
Soil erosion					
نهاده‌های غیررایگان					
Non-free inputs					

نیروی انسانی Human labour	J	3.48E+10	1.03E+10	7.48E+09	0.1
ماشین‌آلات Machinery	g	6.97E+05	2.39E+05	8.64E+04	0
استقرار نظام آبیاری Installation of irrigation system	Rial	2.98E+08	1.02E+08	1.62E+06	0
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	g	1.50E+07	4.83E+06	6.08E+05	0
کود فسفر Phosphorus fertilizer	g	7.62E+06	2.60E+06	7.62E+06	0
کود پتاسیم Potash fertilizer	g	5.24E+06	1.69E+06	1.11E+06	0
کود میکرو Micro fertilizer	g	1.64E+05	5.59E+04	7.43E+04	0
کود دامی Manure	g	1.91E+09	3.05E+08	1.62E+08	0.2
علف‌کش Herbicide	g	4.47E+05	1.02E+05	8.91E+04	0
قارچ‌کش Fungicide	g	1.49E+05	3.81E+04	6.89E+04	0
حشره‌کش Insecticide	g	1.27E+05	2.54E+04	3.38E+04	0
الکتریسیته برای آبیاری Electricity for irrigation	J	0.00E+00	0.00E+00	4.37E+09	0.03
بذر Seed	Rial	4.50E+08	1.11E+08	8.64E+06	0.2
سوخت و روان‌کننده‌ها Fossil fuel and lubricant	g	5.70E+11	1.64E+11	2.27E+11	0
خروجی‌ها Output					
عملکرد اقتصادی Economic yield	g	4.63E+08	1.28E+08	1.09E+08	
عملکرد اقتصادی Economic yield	J	6.81E+12	1.86E+12	1.60E+12	
عملکرد کاه Straw yield	g	5.12E+08	1.50E+08	-	
عملکرد کاه Straw yield	J	1.15E+12	3.38E+11	-	

جدول ۳- نتایج تحلیل امرژی و ساختار مصرف امرژی نظام‌های مختلف تولید محصولات زراعی در روستای بلند
Table 3- Emergy synthesis and input structure of different cropping production systems in Boland village (sej.ha⁻¹)

	ضریب تبدیل Transformity	منبع Reference	گندم Wheat	جو Barley	یونجه Alfalfa
جریان‌های محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental input (R)					
نور خورشیدی Solar energy	1.00E+00	طبق تعریف By definition	4.07E+15	1.24E+15	8.62E+14
انرژی جنبشی باد Wind, kinetic energy	1.25E+03	Campbell & Erban (2016)	1.59E+17	2.69E+16	7.13E+16
انرژی شیمیایی باران Rain, chemical	2.25E+04	Campbell (2003)	6.50E+15	2.22E+15	2.84E+16
انرژی ژئوپتانسیل باران Rain, geopotential	1.34E+04	Campbell et al. (2005)	1.08E+14	3.67E+13	9.78E+12

آب رودخانه River water	3.61E+04	Buenfil (2001)	1.61E+17	4.01E+16	2.50E+16
Evapotranspiration, river water تبخیر و تعرق آب رودخانه	2.88E+04	Campbell (2003)	1.44E+17	3.48E+16	2.41E+16
مجموع Subtotal			1.65E+17	4.13E+16	7.21E+16
جریان‌های محیطی تجدیدناپذیر Non-renewable environmental input					
آب زیرزمینی Groundwater	1.92E+05	Buenfil (2001)	0.00E+00	0.00E+00	3.59E+16
Evapotranspiration, groundwater تبخیر و تعرق آب زیرزمینی	2.88E+04	Campbell (2003)	0.00E+00	0.00E+00	5.90E+15
تلفات مواد آلی خاک SOM reduction	9.36E+04	Brandt-Williams (2002)	9.27E+17	2.71E+17	8.40E+16
فرسایش خاک Soil erosion	1.27E+09	Brown & Bardi (2001)	4.45E+17	1.21E+16	4.86E+16
مجموع Subtotal			1.37E+18	2.83E+17	1.74E+17
نهاده‌های غیررایگان Non-free inputs					
نیروی انسانی Human labour	2.22E+06	Lu et al. (2009)	7.73E+16	2.29E+16	1.66E+16
ماشین‌آلات Machinery	1.01E+10	Campbell et al. (2005)	7.04E+15	2.41E+15	8.73E+14
استقرار نظام آبیاری Installation of irrigation system	6.76E+07	Asgharipour et al. (2020)	2.01E+16	6.90E+15	1.10E+14
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	3.09E+10	Brandt-Williams (2002)	4.64E+17	1.49E+17	1.88E+16
کود فسفر Phosphorus fertilizer	2.82E+10	Brandt-Williams (2002)	2.15E+17	7.33E+16	2.15E+17
کود پتاسیم Potash fertilizer	2.23E+09	Odum (1996)	1.17E+16	3.77E+15	2.48E+15
کود میکرو Micro fertilizer	2.05E+10	Lan et al. (2002)	3.36E+15	1.15E+15	1.52E+15
کود دامی Manure	2.96E+08	Odum (1996)	5.65E+17	9.03E+16	4.80E+16
علف‌کش Herbicide	6.30E+10	Hu et al. (2010)	2.82E+16	6.43E+15	5.61E+15
قارچ‌کش Fungicide	6.30E+10	Hu et al. (2010)	9.39E+15	2.40E+15	4.34E+15
حشره‌کش Insecticide	6.30E+10	Hu et al. (2010)	8.00E+15	1.60E+15	2.13E+15
الکتریسیته Electricity	2.31E+05	Asgharipour et al. (2020)	0.00E+00	0.00E+00	1.01E+15
بذر Seed	6.76E+07	Asgharipour et al. (2020)	3.04E+16	7.50E+15	5.84E+14
سوخت و روان‌کننده‌ها Fossil fuel and lubricant	8.60E+04	Bastianoni et al. (2009)	4.90E+16	1.41E+16	1.95E+16
مجموع Subtotal			1.49E+18	3.82E+17	3.36E+17
مجموع کل Total			3.02E+18	7.06E+17	5.83E+17

خورشیدی در سال بود (جدول ۳)، که سهم به‌ترتیب ۴۹/۲۱، ۵۴/۱۱ و ۵۷/۷۱ درصدی از کل امرژی ورودی به این نظام‌ها است (شکل ۳). سهم نسبتاً پایین نهاده‌های خریداری شده نشان می‌دهد که غالب مزارع مورد مطالعه، نظام‌هایی غیرمکانیزه و سنتی هستند که با مصرف اندک نهاده‌های زراعی مانند کود شیمیایی، آب آبیاری، سموم شیمیایی و غیره مدیریت می‌شوند. مقایسه منابع خریداری شده نشان داد، علاوه بر اختلاف در مجموع امرژی ورودی‌های خریداری شده شامل، ساختار این ورودی‌ها نیز دارای تفاوت زیادی بود. این تفاوت در ارتباط مستقیم با نیازها و ویژگی‌های هر نظام است. در نظام‌های تولید گندم بیشترین سهم امرژی منابع خریداری شده با مقدار ۱۸/۷۰ درصد مربوط به کود دامی، در نظام‌های تولید جو با مقدار ۲۱/۱۴ درصد مربوط به کودهای شیمیایی اوره و در نظام‌های تولید یونجه با مقدار ۳۶/۸۶ درصد مربوط به کودهای فسفاته بود (شکل ۳).

در مطالعه امیری و همکاران (Amiri et al., 2019, 2020) روی بررسی پایداری دو نظام کشت سنتی و مکانیزه کلزا به اثبات رسیده است، مقدار ماده آلی خاک حاصل تعادل بین سطح ماده آلی در خاک و میزان برون‌رفت این ماده از نظام در اثر فرسایش و آبشویی و همچنین تجزیه و استفاده توسط ریزموجودات درون خاک است. حفاظت و ازدیاد ماده آلی خاک دشوار است، زیرا ۷۵ درصد مواد آلی صرف تأمین انرژی ریز موجودات خاک شده و به‌شکل دی اکسید کربن از خاک خارج می‌شود، و ۲۵ درصد باقی‌مانده مدت محدودی به‌شکل ماده آلی در خاک وجود خواهد داشت (Haynes & Naidu, 1998).

جریان‌های ورودی خریداری شده (Fr & Fn)

مقدار ورودی‌های خریداری شده در نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه روستا به‌ترتیب $۱۰^{۱۸} \times ۱/۴۹$ ، $۱۰^{۱۷} \times ۳/۸۲$ و $۱۰^{۱۷} \times ۳/۳۶$ ام‌ژول

جدول ۴- مقادیر شاخص‌های مبتنی بر امرژی نظام‌های مختلف تولید محصولات زراعی در روستای بلند

Table 4- Energy-based different cropping production systems in Boland village

Energy based indices	Unit	Wheat	Barley	Alfalfa
شاخص‌های مبتنی بر امرژی	واحد	گندم	جو	یونجه
Transformity (Tr) ضریب تبدیل	sej J ⁻¹	4.44E+05	3.80E+05	3.64E+05
Specific energy (SpE) امرژی ویژه	sej g ⁻¹	6.53E+09	5.51E+09	5.35E+09
Renewability (%R) تجدیدپذیری	درصد %	9.69	9.00	14.33
Energy yield ratio (EYR) نسبت عملکرد امرژی		2.03	1.85	1.73
Standard energy investment ratio (EIR) نسبت سرمایه‌گذاری استاندارد		0.97	1.18	1.36
Modified energy investment ratio EIR* نسبت سرمایه‌گذاری اصلاح‌شده		9.04	9.25	4.67
Standard environmental loading ratio (ELR) نسبت بار زیست‌محیطی استاندارد		17.36	16.09	7.08
Modified environmental loading ratio ELR* نسبت بار زیست‌محیطی اصلاح‌شده		0.13	5.98	0.04
Standard environmental sustainability index (ESI) شاخص پایداری محیطی استاندارد		0.12	0.11	0.24
Modified environmental sustainability index (ESI*) شاخص پایداری محیطی اصلاح‌شده		15.62	0.31	41.02
Energy exchange ratio (EER) نسبت مبادله امرژی		258.75	330.95	107.44
Environmental index of sustainable development (EISD) شاخص زیست‌محیطی توسعه پایدار		30.29	38.02	26.28
Emergy index of agricultural product safety (EIPS) شاخص انرژی ایمنی محصولات کشاورزی		0.50	0.38	0.26

شاخص‌های امرژی

مقایسه شاخص‌های امرژی بین نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه می‌تواند در بیان تفاوت‌های بین نظام‌های مورد مطالعه از جنبه‌های عملکردی مانند کارایی استفاده از منابع، تأثیرات محیطی و مزایای اقتصادی و همچنین برای تعیین بهترین عملیات مدیریتی جهت حرکت به سمت کشاورزی پایدار سودمند باشد. مقایسه و بررسی نتایج این شاخص‌ها علاوه بر کمک به افزایش قدرت رقابت در بازار باعث دستیابی به برآوردی واقعی و معقول از میزان جریان امرژی مصرفی در جهت تولیدات کشاورزی می‌گردد. با استفاده از این شاخص‌ها، امکان ارزیابی میزان بهره‌گیری نظام از جریان‌های منابع رایگان که طبیعت در اختیار ما قرار می‌دهد، ایجاد می‌شود.

شاخص‌های امرژی مخصوص (SpE) و ضریب تبدیل (Tr)

امرژی مخصوص (SpE)، برای ارزیابی امرژی مورد نیاز در واحد زیست‌توده تولیدی نظام استفاده می‌شود. SpE، مقدار امرژی مصرفی برای تولید هر واحد زیست‌توده برحسب واحد جرم (گرم یا کیلوگرم) را بیان می‌کند (Zhang et al., 2012; Odum, 2000). هرچه زیست‌توده تولیدی در یک نظام تولید به جریان امرژی حمایت‌کننده کمتری در واحد سطح جهت تولید نیاز داشته باشد، SpE آن نظام کمتر است (Pizzigallo et al., 2008). مقدار SpE برای نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه به ترتیب $۶/۵۳ \times ۱۰^{-۹}$ ، $۵/۵۱ \times ۱۰^{-۹}$ و $۵/۳۵ \times ۱۰^{-۹}$ ام‌ژول خورشیدی به‌ازای هر گرم محصول اقتصادی محاسبه گردید (جدول ۴). علت بیشتر بودن SpE گندم و جو نسبت به یونجه این است که در گندم و جو عملکرد اقتصادی تنها دانه و در یونجه تمام اندام‌های هوایی است. در مطالعه مونیلال و همکاران (Moonilall et al., 2020) نتایج مقایسه مقادیر SpE در شاهد و چهار تیمار اصلاحی افزودن ضایعات چغندر قند، بیوجار کود مرغی، بیوجار سبوس برنج و کود شیمیایی به ترتیب $۱/۷۳ \times ۱۰^{-۱۰}$ ، $۳/۴۹ \times ۱۰^{-۱۰}$ ، $۳/۲۲ \times ۱۰^{-۱۰}$ و $۱/۴۴ \times ۱۰^{-۱۰}$ و $۱/۲۳ \times ۱۰^{-۱۱}$ ام‌ژول خورشیدی به‌ازای هر گرم محصول اقتصادی گزارش شد. در این پژوهش علت بزرگی SpE در شاهد، مربوط به عملکرد کم آن نسبت به تیمارهای اصلاحی است. SpE محاسبه شده برای بوم‌نظام‌های موسیر در نظام زراعی حفاظتی و رویشگاه طبیعی در استان لرستان، ایران به ترتیب $۷/۰۵ \times ۱۰^{-۹}$ و $۱/۵۸ \times ۱۰^{-۹}$ ام‌ژول خورشیدی به‌ازای هر

گرم محصول اقتصادی بود (Amiri et al., 2021). این مقادیر SpE نشان داد، در بوم‌نظام زراعی برای هر واحد زیست‌توده تولید موسیر حدود پنج برابر رویشگاه طبیعی، امرژی استفاده شده است.

در تحلیل امرژی برای بررسی بازده امرژی تولید محصولات مختلف از ضریب تبدیل (Tr) استفاده می‌شود (Brown & Ulgiati, 2004a). نظامی که امرژی ورودی کمتری در میزان مشابهی از تولید محصول برحسب ژول دارد بهینه‌تر است (Odum, 1996). هنگام مقایسه نظام‌های مختلف تولید با محصول یکسان، ضریب تبدیل کوچک‌تر نشان‌دهنده بهره‌وری بالاتر است، زیرا منابع کمتری برای تولید محصول نیاز است (Yang et al., 2013; Odum, 1996). مقادیر ارزش واحد امرژی در نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه به ترتیب $۴/۴۴ \times ۱۰^{-۵}$ ، $۳/۸۰ \times ۱۰^{-۵}$ و $۳/۶۴ \times ۱۰^{-۵}$ ام‌ژول خورشیدی به‌ازای هر ژول محصول اقتصادی به‌دست آمد (جدول ۴). بالاتر بودن بازده امرژی نظام‌های تولید یونجه نسبت به گندم و جو را می‌توان به دلیل اینکه در یونجه عملکرد اقتصادی مساوی عملکرد بیولوژیک است و کمتر بودن امرژی ورودی نظام‌های یونجه نسبت به نظام‌های دیگر مرتبط دانست. علاوه بر آن، در نظام یونجه به‌دلیل تثبیت بیولوژیکی نیتروژن نیاز به کودهای نیترات و دامی جهت تأمین نیتروژن مصرفی گیاه کاهش یافته است. پایین بودن مقدار شاخص بازده امرژی نظام‌های تولید گندم و جو به‌علت استفاده بسیار زیاد از منابع امرژی ورودی خصوصاً در بخش امرژی منابع خریداری شده بود.

مقایسه مقادیر ضرایب تبدیل برای چهار نظام گلخانه‌ای مطالعه شده در جیرفت، ایران نشان داد که بهره‌وری امرژی ورودی نظام‌های تولید خیار به ترتیب ۴۳ درصد، ۸۸ درصد و ۷۳ درصد بیشتر از نظام‌های تولید گوجه‌فرنگی، فلفل‌دل‌مه‌ای و بادمجان بود (Asgharipour et al., 2020). با توجه به کمتر بودن تفاوت بین امرژی ورودی نظام‌ها نسبت به تفاوت در ضرایب تبدیل چهار نظام، دلیل اصلی کارایی بیشتر امرژی ورودی نظام خیار، تولید بیشتر خیار در واحد سطح در مقایسه با سه نظام دیگر است. ضریب تبدیل نظام‌های مختلف تولید لوبیای خرم دشت، ایران با سطوح متفاوت امرژی‌های ورودی در دامنه مقادیر $۱/۷۱ \times ۱۰^{-۵}$ تا $۳/۰۲ \times ۱۰^{-۵}$ ام‌ژول خورشیدی به‌ازای هر ژول محصول اقتصادی گزارش شده است (Asgharipour et al., 2019).

درصد تجدیدپذیری امرژی (%R)

درصد تجدیدپذیری ورودی‌های امرژی توسط شاخص درصد تجدیدپذیری امرژی (%R) شرح داده می‌شود. نظام‌های تولیدی که مقدار بیشتری از امرژی مصرفی آن‌ها مربوط به منابع تجدیدپذیر است، در طول زمان احتمالاً پایدارتر هستند (Zhang & Long, 2010). %R نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه روستای بلند به ترتیب ۹/۶۹، ۹/۰۰ و ۱۴/۳۳ درصد محاسبه شد (جدول ۴). سهم بیشتر از منابع تجدیدناپذیر خصوصاً ماده آلی خاک در نظام‌های تولید جو باعث کاهش سهم منابع تجدیدپذیر شد و درصد تجدیدپذیری امرژی‌های ورودی را کاهش داده است. درصد تجدیدپذیری نظام‌های یونجه نسبت به نظام‌های گندم و جو زراعی بالاتر بود، که به علت کاهش مصرف منابع تجدیدناپذیر خصوصاً نهاده‌های شیمیایی و صنعتی و جایگزینی بخشی از آن با منابع درونی و همچنین تلفات کمتر مواد آلی و فرسایش خاک است.

نسبت عملکرد امرژی (EYR)

این شاخص نسبت کل امرژی مصرفی به امرژی نهاده‌هایی که خریداری شده‌اند را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر شاخص EYR، در واقع توانایی یک فرایند برای جذب منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر محلی با سرمایه‌گذاری روی منابع خریداری شده در یک نظام اقتصادی را نشان می‌دهد (Ulgiati & Brown, 2012). در EYR بالاتر، نسبت بالاتری از منابع رایگان امرژی در فرآیند تولید استفاده می‌شود (Zhang et al., 2012). حداقل مقدار این شاخص برابر است با یک و نشان‌دهنده شرایطی است که سهم نهاده‌های رایگان در تولید ناچیز است. EYR در نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه به ترتیب ۲/۰۳، ۱/۸۵ و ۱/۷۳ محاسبه شد (جدول ۴). دلیل بالاتر بودن EYR نظام‌های تولید گندم، استفاده کمتر این نظام‌ها از منابع محیطی و تأمین بخشی بزرگ‌تری از نهاده‌ها از منابع خریداری شده است.

شاخص EYR به دلیل اطلاعات ارزشمندی که در اختیار قرار می‌دهد، در بسیاری از مطالعات به عنوان یکی از شاخص‌های اصلی تحلیل امرژی گزارش گردیده است. به طور مثال، در مطالعه‌ای در نهبندان، شاخص EYR برای دو نظام تولید خرما (Phoenix dactylifera) و پسته (Pistacia vera) ۱۴/۳۹ و ۱۶/۰۳ محاسبه شد که به روشنی مقدار وابستگی زیاد این دو نظام به منابع رایگان

محیطی را نشان می‌دهد (Jafari et al., 2018). مقادیر EYR برای نظام‌های اکولوژیک، تلفیقی، کم‌نهاده، متوسط نهاده و پرنهاده تولید لوبیا در ایران به ترتیب ۱/۲۸، ۱/۱۷، ۱/۲۸، ۱/۲۰ و ۱/۱۷ برآورد شده است (Asgharipour et al., 2019). مقادیر EYR به دست آمده برای سویا در جنوب توسکانی در کشور ایتالیا در محدوده ۱/۹۸-۲/۳۲ بود (Panzieri et al., 2000). همچنین برای محصول ذرت در کشور ایتالیا EYR در محدوده ۱/۱۹-۱/۵۳ بود (Ulgiati et al., 1994).

نسبت بار محیط زیستی استاندارد (ELR) و نسبت بار محیط زیستی اصلاح شده (ELR*)

میزان فشار وارد شده بر محیط توسط شاخص‌های نسبت بار محیط زیستی استاندارد (ELR) و نسبت بار محیط زیستی اصلاح شده (ELR*) بیان می‌شود. به بیان دیگر، این دو شاخص بیانگر میزان فشار اعمال شده از سوی نظام به محیط است، ELR از طریق محاسبه نسبت ورودی‌های خریداری شده به همراه ورودی‌های تجدیدناپذیر محیطی بر نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر و ELR* با تمرکز روی نسبت منابع تجدیدناپذیر به منابع تجدیدپذیر محاسبه می‌گردد (Ortega et al., 2002). افزایش مقدار شاخص‌های ELR و ELR* نشان‌دهنده فشار محیطی بیشتر بر اکونظام‌های محلی به علت استفاده از منابع تجدیدناپذیر است (Lu et al., Odum, 1996); در نظام‌های تولیدی گندم، جو و یونجه روستای بلند مقادیر ELR به ترتیب، ۱۷/۳۶، ۱۶/۰۹ و ۷/۰۸ بود (جدول ۴). همچنین مقادیر ELR* در این نظام‌ها به ترتیب ۰/۱۳، ۵/۹۸ و ۰/۰۴ محاسبه گردید. به طور کلی، ELR کمتر از دو نشان‌دهنده فشار محیطی نسبتاً کم، ELR بیشتر از دو و کمتر از ۱۰ نشان‌دهنده فشار متوسط محیطی و ELR بیش از ۱۰ نشانه فشار زیست‌محیطی بسیار بالا است (Brown & Ulgiati, 2004).

مقدار شاخص ELR در نظام‌های گندم و ذرت جنوب برزیل بالای ۱۰ گزارش گردید که نشان می‌دهد این نظام‌ها دارای تأثیرات محیطی زیادی هستند (Cavalett et al., 2006). مقدار شاخص ELR به دست آمده برای نظام تولید ذرت در شمال شرقی چین ۱۰/۶۲ گزارش گردید (Wang et al., 2014). همچنین شاخص ELR برای نظام‌های تلفیقی تولید غله، خوک، ماهی در جنوب کشور برزیل مقدار ۳/۱۳ بود (Cavalett et al., 2006).

نسبت سرمایه‌گذاری امرژی استاندارد (EIR) و اصلاح شده (EIR*)

شاخص EIR از نسبت ورودی‌های خریداری شده به ورودی‌های رایگان به‌دست می‌آید (Wang et al., 2014). شاخص EIR، اطلاعاتی راجع به کارایی نظام‌ها در استفاده از امرژی منابع سرمایه‌گذاری شده نسبت به امرژی منابع محیطی رایگان ارائه می‌دهد (Lan et al., 2002; Odum, 1996). مقدار کمتر این شاخص نشان‌دهنده وابستگی بیشتر نظام به منابع محیطی است (Wang et al., 2014). نسخه‌ای جدید از EIR که EIR* نامیده شده توسط امیری و همکاران (Amiri et al., 2018) با حذف مقادیر N از معادله EIR پیشنهاد گردید که هزینه‌های محیطی در ورودی‌های غیرقابل تجدید را لحاظ می‌کند.

نتایج بررسی جریان امرژی برای ورودی‌های خریداری شده در نظام‌های مورد مطالعه به‌ترتیب: گندم (1.0×10^{18} امژول خورشیدی در سال) < جو (3.82×10^{17} امژول خورشیدی در سال) < یونجه (3.36×10^{17} امژول خورشیدی در سال) است. با این‌حال، به‌دلیل اختلاف زیاد در مقدار نهاده‌های محیطی رایگان، روند شاخص EIR سه نظام ترتیب متفاوتی دارد: یونجه ($1/36$) < جو ($1/18$) < گندم ($0/97$). همچنین مقادیر شاخص EIR* به‌ترتیب زیر است: جو ($9/25$) < گندم ($9/04$) < یونجه ($4/67$). در مقایسه مقدار امرژی ورودی منابع محیطی در نظام‌های تولید گندم بسیار بیش‌تر از نظام‌های تولید جو و یونجه است؛ بنابراین، علت اختلاف در مقادیر EIR نظام‌ها با توجه اختلاف کم در مقادیر ورودی‌های خریداری شده، عمدتاً به‌دلیل تفاوت در مقادیر ورودی‌های محیطی است.

در مطالعه‌ای روی تیمارهای مختلف اصلاحی تولید ذرت شامل شاهد و چهار تیمار افزودن ضایعات چغندر قند، بیوچار کود مرغی، بیوچار سبوس برنج و کود شیمیایی مقادیر EIR به‌ترتیب $2/47$ ، $1/62$ ، $1/37$ ، $0/63$ و $0/60$ گزارش شد (Moonilall et al., 2020). EIR برای نظام‌های تولید کلزا در واحدهای تجاری و سنتی به‌ترتیب $9/0$ و $8/94$ بود (Amiri et al., 2019). مقدار EIR برای نظام‌های تولید خرما و پسته شهرستان نهبندان در کشور ایران به‌ترتیب $3/17$ و $2/93$ به‌دست آمد، که نشان می‌دهد، منابع غیررایگان برای دو نظام به‌ترتیب $3/17$ و $2/93$ برابر نهاده‌های غیررایگان مصرف شده‌اند. مقادیر به‌دست آمد بیانگر وابستگی بیشتر به نهاده‌های غیررایگان بازاری در نظام تولید خرما و بهره‌برداری بیشتر نظام‌های تولید پسته از

منابع رایگان است (Jafari et al., 2018).

شاخص پایداری محیط‌زیست استاندارد (ESI) و شاخص پایداری محیط‌زیست اصلاح شده (ESI*)

دو شاخص ESI و ESI* برای سنجش پایداری استفاده می‌شوند. به‌طورکلی، دو شاخص پایداری ESI و ESI* جهت آشنایی با فرایندهایی استفاده می‌شود که حداکثر استفاده از ورودی‌های محیطی رایگان همراه با حداقل تنش محیطی را دارا می‌باشند (Odum, 1996). در واقع، این شاخص‌ها پایداری مرتبط با اقتصاد و محیط را در نظر می‌گیرند. وضعیت ESI در یک نظام وابسته به مقدار شاخص‌های EYR و ELR است. با توجه به معادله ESI و ESI*، مقادیر بالاتر این شاخص‌ها را می‌توان با کاهش ورودی‌های خریداری شده تجدیدنپذیر به‌دست آورد. علاوه بر این، سطوح بالاتر ورودی‌های تجدیدنپذیر محیطی منجر به مقادیر بالاتر شاخص‌های ESI و ESI* می‌شود. با فرض ثابت بودن ورودی‌های F_N و F_R پایین بودن مقدار ELR به سهم بالای R و یا سهم کم N در جریان‌های ورودی یا هر دو عامل بستگی دارد. در نتیجه، مقادیر بالای شاخص ESI در نهایت، به سهم R و N از جریان‌های ورودی به نظام‌ها مربوط می‌شود. مقادیر $ESI < 1$ ، $1 < ESI < 5$ ، $ESI > 5$ به‌ترتیب پایدار، نیمه پایدار و ناپایدار در نظر گرفته می‌شوند (Hu et al., Ulgiati & Brown, 1998; 2010).

مقادیر ESI محاسبه شده نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه به‌ترتیب برابر با $0/12$ ، $0/11$ و $0/24$ بود. همچنین مقادیر به‌دست‌آمده برای شاخص ESI* نیز در نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه به‌ترتیب برابر با $15/62$ و $0/31$ و $41/02$ بود (جدول ۴). نتایج به‌دست آمده از شاخص ESI نشان‌دهنده وضعیت ناپایدار برای تمام نظام‌های مورد مطالعه در روستای بلند بود. سهم بسیار زیاد ورودی خریداری شده در هر سه نظام علت این موضوع است. در نتایج به‌دست آمده از شاخص ESI* پایداری نسبت به شاخص ESI در کلیه نظام‌های مورد مطالعه کمی بهبود یافته که با توجه به تغییر در نوع محاسبات قابل توجیه است.

مقادیر شاخص ESI در نظام‌های مکانیزه، سنتی، حفاظتی و طبیعی برای تولید موسیر در کشور ایران به‌ترتیب $0/48$ ، $0/41$ ، $0/25$ و $0/306$ محاسبه شد که نشان‌دهنده وضعیت ناپایدار در هر چهار نظام است. همچنین، در تحلیل پایداری این نظام‌ها توسط

مقادیر EER برای نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه به ترتیب برابر بود با ۲۵۸/۷۵، ۳۳۰/۹۵ و ۱۰۷/۴۴ (جدول ۴). این نتایج نشان می‌دهد که تولید در هیچ کدام از نظام‌های تولیدی روستای بلند برای کشاورز منفعت ندارد. دلیل این شرایط را کاهش عملکرد اقتصادی نظام‌های مورد مطالعه در مقایسه با امرژی خریداری شده مصرفی و همچنین استفاده زیاد از نهاده‌های خارج مزرعه‌ای مانند کودهای شیمیایی که اکثراً هزینه‌بر هستند، می‌توان دانست. در نظام‌های گندم و جو و یونجه خریدار بسیار بیشتر از پول پرداختی امرژی دریافت می‌کند و پایداری این سه نظام دچار چالش جدی است. به دلیل نهاده‌های رایگان محیطی که در نظام‌های گندم و جو مصرف می‌شود، به‌خصوص خاک مقدار زیاد این شاخص افزایش یافته است. لازم به ذکر است که مقدار EER پایین‌تر در نظام‌های تولید یونجه تنها به دلیل سهم کمتر استفاده از منابع خریداری شده خصوصاً به دلیل تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و مصرف کم کودهای شیمیایی اوره و کودهای دامی است.

مقادیر EER ۴/۲، ۲/۵، ۲/۶، ۱/۹، ۳/۶، ۱/۸ و ۲/۵ به ترتیب در نظام‌های تولید لوتوس و ماهی، لوتوس و میگو، لوتوس، گاوآه، پاپایا، موز، وامپی به دست آمده که نشان‌دهنده سطوح EER مطلوب و بالا است (Lu et al., 2009 and 2017). مقدار EER در مبادله سویا، علوفه بسته‌بندی غیرسویا و روغن بین برزیل و اروپا به ترتیب ۶/۷۰ و ۵/۲۰ و ۵/۰۰ بود. به عبارت دیگر، در هنگام مبادله سویا و مشتقات آن از برزیل به اروپا، میزان امرژی منابعی که کشاورزان برای تولید سویا در کشور خود استفاده می‌کردند، تقریباً پنج برابر امرژی پول دریافتی بوده است. در حقیقت، در صادرات سویا از برزیل به اروپا، خریداران برنده می‌شوند و در نتیجه، اروپا در مقایسه با برزیل از این مبادله سود بیشتری می‌برد (Cavalett & Ortega, 2009).

شاخص امرژی سلامت تولید (EIPS)

شاخص امرژی سلامت محصول تأثیر کودهای شیمیایی، علف‌کش‌ها و داروها را بر امنیت محصول مورد بررسی قرار می‌دهد. هرچه EIPS بالاتر باشد، محصولات از سلامت بالاتر برخوردار هستند (Guan et al., 2016). شاخص EIPS برای نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه به ترتیب برابر با ۰/۵۰، ۰/۳۸ و ۰/۲۶ بود (جدول ۴). بر اساس نتایج به دست آمده، نظام‌های تولید گندم به دلیل وابستگی کمتر به نهاده‌های خریداری شده مانند، سموم شیمیایی

شاخص ESI* به علت استفاده از ELR* در محاسبه نتایج کمی بهبود یافته و نشان داد نظام‌های سنتی و حفاظتی در مقایسه با نظام‌های مکانیزه پایدارتر هستند (Amiri et al., 2021). در ارزیابی نظام‌های تولید خرما و پسته در شهر نهبندان، ایران، مقادیر ESI نزدیک به یک بود که نشان می‌دهد هر دو نظام دارای خروجی امرژی بالا و نیاز کم به منابع تجدیدناپذیر هستند (Jafari et al., 2018). در پژوهشی که در ایران انجام شد، مقادیر ESI و ESI* برای نظام‌های تولید لوبیای غیرفشرده ۰/۰۸ و ۱/۴۸ محاسبه گردید که بیشترین مقدار در مقایسه با سایر نظام‌های مورد مطالعه بود (Asgharipour et al., 2019). مقادیر ESI و ESI* برای نظام تجاری تولید کلزا ۰/۷۳ و ۰/۷۵ و برای نظام معیشتی تولید کلزا ۰/۸۷، ۱/۳۸ گزارش شدند (Amiri et al., 2019).

نسبت مبادله امرژی (EER)

EER یک شاخص دو منظوره برای ارزیابی‌های امرژی و اقتصادی است (Odum, 1996). به عنوان نسبت بین کل امرژی مورد استفاده در تولید محصول به امرژی پول پرداختی برای فروش محصول (Y_M) تعریف می‌شود. با ضرب مقدار بهای فروش محصول در مقدار ضریب تبدیل پول به دست می‌آید. EER یک محصول، نه تنها ارزش بازاری یک محصول را نشان می‌دهد، بلکه تفاوت قیمت و ارزش پولی فروش محصول در بازارهای مختلف را بیان می‌کند. به بیان ساده‌تر، نظام با توجه به نحوه موازنه بین سود حاصل از فروش محصول در بازار و مقدار امرژی ورودی به نظام جهت تولید با استفاده از شاخص EER ارزیابی می‌شود (Lu & Campbell, 2009; Lu et al., 2006). اولجیاتی و براون، EER را به عنوان معیار مقایسه منافع تجاری نظام‌های تولیدی معرفی کردند (Brown & Ulgiati, 2004). به عبارت دیگر، EER به اندازه‌گیری سود فروشنده (تولیدکننده) و خریدار (مصرف‌کننده) در مبادله کالا کمک می‌کند. در شرایط ایده آل، EER برابر است با عدد یک (Agostinho et al., 2008). هنگامی که EER بزرگ‌تر از یک باشد، به خریدار منفعت بیشتری می‌رسد، زیرا خریدار بیش از امرژی پولی که برای خرید کالا پرداخت کرده، امرژی در غالب محصول دریافت می‌کند؛ و در مقابل فروشنده ضرر می‌کند، زیرا در هنگام فروش محصول، تولیدکننده به شکل پول، امرژی کمتری نسبت مقدار امرژی که صرف تولید محصول کرده به دست می‌آورد.

آفت‌کش و سوخت‌های فسیلی دارای بیشترین EIPS بود.

در پژوهش انجام شده در ایران، مقادیر EIPS برای نظام‌های مکانیزه، سنتی، حفاظتی و طبیعی تولید موسیر به ترتیب ۰/۸۸۳، ۰/۹۰۶، ۱/۰۰ و ۱/۰۰ بود (Amiri et al., 2021). در ارزیابی شاخص EIPS در نظام‌های تلفیقی برنج- اردک و تناوب گندم- برنج در شانگهای چین مقدار EIPS به ترتیب ۱/۰۰ و ۰/۳۴ گزارش شد (Xi & Qin, 2009). در مطالعه‌ای که در کشور چین جهت افزایش بهره‌وری نظام‌های تولید ذرت با توجه به اهمیت آن جهت تولید غذا انجام شد، دو مدل تولید پرورش غاز در مزارع ذرت و کاشت سنتی ذرت از نظر شاخص EIPS بررسی شدند. نتایج به‌دست آمده نشان داد، نظام تلفیقی پرورش غاز با مقدار ۰/۸۶ از شاخص EIPS بالاتری نسبت به نظام سنتی تولید ذرت با مقدار ۰/۷۰ برخوردار است (Sha et al., 2015).

نتیجه‌گیری

به‌دلیل افزایش تراکم جمعیت، و کاهش سرانه اندازه مزارع، همین‌طور افزایش رقابت برای زمین، آب و سایر منابع بیوفیزیکی و اقتصادی- اجتماعی در میان بخش‌های مختلف اقتصاد، اقدامات اصلاحی در استفاده از منابع به یک ضرورت برای فشرده‌سازی نظام‌های تولید محصولات زراعی تبدیل شده است. با توجه به کمبود روزافزون منابع و افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی، برای

تأمین این تقاضا و همچنین حفاظت هم‌زمان از خدمات محیطی بوم‌نظام‌ها، تخصیص مناسب منابع ضروری است. انتخاب الگوی کشت محصولات زراعی در نظام‌های کشاورزی متنوع است و به مجموعه‌ای از عوامل بیوفیزیکی و اقتصادی بستگی دارد. این عوامل توسط منابع موجود و شیوه‌های مدیریتی کشاورزان تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

کشاورزی در سیستان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع امرار معاش روستائیان، دارای اهمیت بسیار است. در سیستان به‌علت شرایط سخت اقلیمی مانند گرمی هوا، کمبود نزولات آسمانی، کمبود آب‌های جاری، ماده آلی کم خاک، یافتن نظامی که دارای پایداری بیشتری در ابعاد تولیدی، اقتصادی، محیطی باشد از اهمیت بالایی برخوردار است. تحلیل پایداری نظام‌های تولیدی نیازمند روشی علمی و جامع است. روش آنالیز امرژی پاسخی به این نیاز مهم است. در این مطالعه، نظام‌های زراعی روستای بلند به‌عنوان یک نمونه قابل تعمیم برای سایر مناطق دشت سیستان در جهت یافتن مناسب‌ترین نظام تولیدی توسط شاخص‌های امرژی مورد ارزیابی قرار گرفت. در مجموع، ارزیابی‌های انجام شده بر اساس محاسبه شاخص‌های امرژی نشان داد که در نظام‌های کشاورزی غالب روستای بلند سیستان، توجه به راهکارهای عملی در مدیریت جامع نظام‌ها به‌ویژه حفاظت از مواد آلی خاک و پیشگیری از فرسایش خاک، می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر پایداری اکولوژیکی داشته باشد.

References

1. Abbasi, H. R., Gohardasht, A., Khaksarian, F., & Ganjali, M. (2017). Morphological features of wind sediments and erosive winds in Sistan plain. *Desert Management*, 5, 28-42. (In Persian with English Summary) DOI: 10.22092/DM.2017.109802
2. Agostinho, F., Diniz, G., Siche, R., & Ortega, E. (2008). The use of emergy assessment and the geographical information system in the diagnosis of small family farms in Brazil. *Ecological Modelling*, 210, 37-57. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2007.07.007
3. Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E., & Aghapour Sabaghi, M. (2020). Comparison of the sustainability of mechanized and traditional rapeseed production systems using an emergy-based production function: A case study in Lorestan province, Iran. *Journal of Cleaner Production*, 258, 1-11. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120569
4. Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E., & 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. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.04.163
5. Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E., Azizi, K., & Kakolvand, E. (2021). Conservation agriculture, a selective model based on emergy analysis for sustainable production of shallot as a medicinal-industrial plant. *Journal of Cleaner Production*, 292, 126000. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126000
6. Asgharipour, M.R., Amiri, Z., & Campbell, D.E. (2020). Evaluation of the sustainability of four greenhouse vegetable production ecosystems based on an analysis of emergy and social characteristics. *Ecological Modelling*, 424, 1-17. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2020.109036

7. Asgharipour, M.R., Shahgholi, H., Campbell, D.E., Khamari, I., & Ghadiri, A. (2019). Comparison of the sustainability of bean production systems based on emergy and economic analyses. *Journal of Environmental Monitoring and Assessments*, 191, 2. DOI: [10.1007/s10661-018-7123-3](https://doi.org/10.1007/s10661-018-7123-3)
8. Brown, M.T., & Ulgiati, S. (2004). Emergy quality, emergy, and transformity: H.T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems. *Ecological Modelling*, 178, 201–213.
9. Campbell, D.E., Brandt-Williams, S.L., & Meisch, M.E.A. (2005). Environmental Accounting Using Emergy: Evaluation of the State of West Virginia. EPA/600/R-02/ 011. USEPA, Office of Research and Development, Washington, DC, pp. 116.
10. Campbell, D.E., Lu, H.F., Knox, G.A., & Odum, H.T. (2009). Maximizing empower on a human-dominated planet: the role of exotic *Spartina*. *Ecological Engineering*, 35, 463–486.
11. Cavalett, O., & Ortega, E. (2009). Emergy, nutrients balance, and economic assessment of soybean production and industrialization in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 17, 762–771. DOI: [10.1016/j.jclepro.2008.11.022](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.11.022)
12. Cavalett, O., de Queiroz, J.F., & Ortega, E. (2006). Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. *Ecological Modelling*, 193, 205-224.
13. Chen, F. (2011). Agricultural Ecology, second ed. China Agricultural University Press, Beijing. 312 p.
14. Clark, E.A. (2004). Benefits of re-integrating livestock and forages in crop production systems. *Journal of Crop Improvement*, 12(1-2), 405-436.
15. Colaco, A.F., Povh, F.P., Molin, J.P., & Romanelli, T.L. (2012). Emergy assessment for variable rate nitrogen application. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14(3), 85-90. DOI: [10.1016/j.jclepro.2012.01.038](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.01.038)
16. de Barros, J.M., Blazy, G.S. Rodrigues, R., & Tournebize, J.P. (2009). Emergy evaluation and economic performance of banana cropping systems in Guadeloupe (French West Indies). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 129, 437–449. DOI: [10.1016/j.agee.2008.10.012](https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.10.012)
17. Fallahinejad, S. and Armin, M. (2022). Role of mechanization on the sustainability of sugar beet production using emergy approach. *Agriculture, Environment & Society*, 2(1), 15-24. DOI: [10.22069/ijpp.2020.17336.1259](https://doi.org/10.22069/ijpp.2020.17336.1259).
18. Fallahinejad, S., Armin, M. & Asgharipour, M.R. (2021). A survey on the ecological sustainability of introducing new crops in the cropping pattern using emergy approach. *Current Research in Environmental Sustainability*, 3, p.100083. DOI: [10.1016/j.crsust.2021.100083](https://doi.org/10.1016/j.crsust.2021.100083)
19. Fallahinejad, S., Armin, M. & Asgharipour, M.R. (2022). The effect of farm size on the sustainability of wheat production using emergy approach. *Current Research in Environmental Sustainability*, 4, p.100161.
20. Franzluebbbers, A.J., (2007). Integrated crop–livestock systems in the southeastern USA. *Agronomy Journal*, 99(2), 361-372.
21. Guan, F., Sha, Z., Zhang, Y., Wang, J., & Wang, C. (2016). Emergy assessment of three home courtyard agriculture production systems in Tibet Autonomous region, China. *Biomedicine Biotechnology*, 17(8), 628-639.
22. Haynes, R.J., & Naidu, R. (1998). Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: A review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 51, 123-137.
23. Heidari, H., Katircioğlu, S. T., & Saeidpour, L. (2015). Economic growth, CO₂ emissions, and energy consumption in the five ASEAN countries. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 64, 785-791.
24. Hu, S., Mo, X., Lin, Z. & Qiu, J. (2010). Emergy assessment of a wheat-maize rotation system with different water assignments in the North China Plain. *Environmental Management*, 46, 643-657. DOI: [10.1007/s00267-010-9543-x](https://doi.org/10.1007/s00267-010-9543-x)
25. Jafari, M., Asgharipour, M.R., Ramroudi, M., Galavi, & M. Hadarbadi, G. (2018). Sustainability assessment of date and pistachio agricultural systems using energy, emergy and economic approaches. *Journal of Cleaner Production*, 193, 642-651. DOI: [10.1016/j.jclepro.2018.05.089](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.089)
26. Lan, S.F., Qin, P., & Lu, H.F. (2002). Emergy Assessment of Ecological Systems .Third Edition. Beijing China: Chemical Industry Press 76, 406–412.
27. Lu, H., & 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, 2589-2600. DOI: [10.1016/j.jenvman.2009.01.019](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.01.019)
28. Lu, H., Bai, Y., Ren, H., & Campbell, D.E. (2010). Integrated emergy, energy and economic evaluation of rice

- and vegetable production systems in alluvial paddy fields: Implications for agricultural policy in China. *Journal of Environmental Management*, 91, 2727-2735. DOI: [10.1016/j.jenvman.2010.07.025](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.07.025)
29. Lu, H.F., Kang, W.L., Campbell, D.E., Ren, H., Tan, Y.W., Feng, R.X., Luo, J.T., & Chen, F.P. (2009). Emery and economic evaluations of four fruit production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. *Ecological Engineering*, 35, 1743–1757. DOI: [10.1016/j.jclepro.2017.05.010](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.010)
 30. Lu, H.F., Tan, Y.W., Zhang, W.S., Qiao, Y.C., Campbell, D.E., Zhou, L., & Ren, H. (2017). Integrated emery and economic evaluation of lotus-root production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. *Journal of Cleaner Production*, 158, 367-379. DOI: [10.1016/j.ecoleng.2014.07.015](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.015)
 31. Lu, H.F., Yuan, Y., Campbell, D.E., Qin, P., & Cui, L. (2014). Integrated water quality, emery and economic evaluation of three bioremediation treatment systems for eutrophic water. *Ecological Engineering*, 69, 244–254. DOI: [10.1016/j.jclepro.2017.05.010](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.010)
 32. Lu, P., Yu, Q., Liu, J., & Lee, X. (2006). Advance of tree-flowering dates in response to urban climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 138, 120-131. DOI: [10.1016/j.agrformet.2006.04.002](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.04.002)
 33. McLaughlin, H., Shields, F., Jagiello, J., & Thiele, G. (2012). Analytical options for biochar adsorption and surface area. Particle Testing Authority, 15 pages. <https://www.particletesting.com/wpcontent/uploads/2018/07/PTA-Analytical-Options-for-Biochar-Adsorption-and-Surface-Area.pdf>
 34. Moonilall, N.I., Homenauth, O., & Lal, R. (2020). Emery analysis for maize fields under different amendment applications in Guyana. *Journal of Cleaner Production*, 258(120761), 1-29. DOI: [10.1016/j.jclepro.2020.120761](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120761)
 35. Muzari, W. (2014). Interactions of biophysical and socioeconomic factors and outputs in mixed crop-livestock smallholder farming systems in Africa South of the Sahara. *International Journal of Science and Research*, 5(1), 1777-1787. DOI: [10.21275/23011603](https://doi.org/10.21275/23011603)
 36. Odum, H.T. (1996). *Environmental Accounting: Emery and Decision Making*. Wiley, New York. 425 p.
 37. Odum, H.T. (2000). *Handbook of Emery Evaluation: A Compendium of Data for Emery Computation Issued in a Series of Folios. Folio No. 2 e Emery of Global Processes*. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, FL, p. 28.
 38. Odum, H.T., & Peterson, N. (1996). Simulation and evaluation with energy systems blocks. *Ecological Model*, 93, 155–173.
 39. Ortega, E., Anami, M., & Diniz, G. (2002), September. Certification of food products using emery analysis. In *Proceedings of III International Workshop Advances in Energy Studies*, 227-237.
 40. Panzieri, M., Marchettini, N., & Hallam, T.G. (2000). Importance of the *Bradhyrizobium japonicum* symbiosis for the sustainability of a soybean cultivation. *Ecological Modelling*, 135, 301–310.
 41. Pizzigallo, A.C.I., Granai, C., & Borsa, S. (2008). The joint use of LCA and emery evaluation for the analysis of two Italian wine farms. *Journal of Environmental Management*, 86, 396–406.
 42. Porsur, K. (2009). Comparative study of wind erosion potential in the Sistan agricultural and non-agricultural lands using IRIFR models. Master Thesis, University of Zabol, Iran. (In Persian with English Summary)
 43. Quintero-Angel, M., & Gonzalez-Acevedo, A. (2018). Tendencies and challenges for the assessment 999 of agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 254, 273–281. DOI: [10.1016/j.agee.2017.11.023](https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.023)
 44. Schulte, E.E., & Hopkins, B.G. (1996). Estimation of soil organic matter by weight loss-on-ignition. *Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation*, 46, 21-31.
 45. Sha, Z., Guan, F., Wang, J., Zhang, Y., Liu, H., & Wang, C. (2015). Evaluation of raising geese in cornfields based on emery analysis: A case study in southeastern Tibet, China. *Ecological Engineering*, 84, 485-491. DOI: [10.1016/j.ecoleng.2015.10.012](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.10.012)
 46. Sneessens, I., Veyssset, P., Benoit, M., Lamadon, A., & Brunschwig, G. (2016). Direct and indirect impacts of crop–livestock organization on mixed crop–livestock systems sustainability: A model-based study. *Animal*, 10(11), 1911-1922. DOI: [10.1017/S1751731116000720](https://doi.org/10.1017/S1751731116000720)
 47. Tavousi, T., & Raeispour, K. (2011). Statistical analysis and prediction of the occurrence of severe storms using the method. *Journal of Geographical Studies of Arid Areas*, 1(2), 93-105. (In Persian with English Summary)
 48. Tzilivakis, J., Warner, D., May, M., Lewis, K., & Jaggard, K. (2005). An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agricultural Systems*, 85(2), 101-

119. DOI: [10.1016/j.agry.2004.07.015](https://doi.org/10.1016/j.agry.2004.07.015).
49. Ulgiati, S., & Brown, M.T. (1998). Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecological Modeling*, 108(1-3), 23-36.
50. Ulgiati, S., & Brown, M.T. (2012). Resource quality, technological efficiency and factors of scale within the emergy framework: A response to Macro Raugei. *Ecological Modelling*, 227, 109–111. DOI: [10.1016/j.ecolmodel.2011.11.019](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.11.019)
51. Ulgiati, S., Odum, H., & Bastianoni, S. (1994). Emergy use, environmental loading and sustainability an emergy analysis of Italy. *Ecological Modelling*, 73, 215–268.
52. Vandermeer, J. (2011). The ecology of agroecosystems. Jones & Bartlett Learning, 258 p.
53. Vassallo, P., Bastianoni, S., Beiso, I., Ridolfi, R., & Fabiano, M. (2007). Emergy analysis for the environmental sustainability of an inshore fish farming system. *Ecological Indicators*, 7(2), 290–298. DOI: [10.1016/j.ecolind.2006.02.003](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2006.02.003)
54. Wang, X., Dadouma, A., Chen, Y., Sui, P., Gao, W., Qin, F., Zhang, J., & Xia, Wu, L. (2014). Emergy analysis of grain production systems on large-scale farms in the North China Plain based on LCA. *Agricultural Systems*, 128, 66-78. DOI: [10.1016/j.agry.2014.03.002](https://doi.org/10.1016/j.agry.2014.03.002)
55. Xi, Y.G., & Qin, P. (2009). Emergy evaluation of organic rice-duck mutualism system. *Ecological Engineering*, 11, 1677-1683. DOI: [10.1016/j.ecoleng.2009.06.013](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.06.013)
56. Yang, Q., Chen, G.Q., Liao, S., Zhao, Y.H., Peng, H.W., & Chen, H.P. (2013). Environmental sustainability of wind power: An emergy analysis of a Chinese wind farm. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 229-239. DOI: [10.1016/j.rser.2012.11.052](https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.052)
57. Zhang, G., & Long, W. (2010). A key review on emergy analysis and assessment of biomass resources for a sustainable future. *Energy Policy*, 29, 4111-4129. DOI: [10.1016/j.enpol.2010.01.056](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.01.056)
58. Zhang, M.M., Wang, Z.F., Xu, C., & Jiang, H. (2012). Embodied energy and emergy analyses of a concentrating solar power (CSP) system. *Energy Policy*, 42, 232-238. DOI: [10.1016/j.enpol.2011.11.080](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.11.080)
59. Zia Tavana, & M.H. (1992). Characteristics of the natural environment of Sistan hole. Geographical articles of Dr. Mohammad Hassan Ganji's celebration letter. Tehran. *Gitashenasi Publications*, 185 p. (In Persian)