نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار/ جلد ۳۰ شماره ۲ / سال ۱۳۹۹

ارزیابی پایداری نظام های تولید سیر، پیاز و گندم سیستان با تحلیل تلفیقی امرژی و اقتصادی

حسن یاسینی[۱]، سید احمد قنبری[۲]، محمد رضا اصغری پور[۳*]، اسماعیل سید آبادی[۴]

تاریخ دریافت: ۹۸/۷/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱/۳۰

۱- دانشجوی دکتری بوم شناسی زراعی، گروه زراعت، دانشگاه زابل
۲-استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
۳- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
٤- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
*مسئول مکاتبه: E-mail: m_asgharipour@uoz.ac.ir

چکیده

اهداف: سیستان یکی از مناطق مهم تولید کننده گندم کشور است، با این‌حال در طول سال‌های گذشته در بسیاری از مناطق تولید گندم با سبزیجاتی نظیر پیاز و سیر جایگزین شده است.

مواد و روش‌ها: برای تحلیل دلایل این تغییر، بهره‌وری و پایداری تولید نظام‌های گندم، پیاز و سیر با استفاده از تکنیک‌های امرژی و اقتصادی در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ ارزیابی شد. به منظور یکسانی شرایط، اطلاعات مورد نیاز برای این مطالعه از دو روستای کریم کشته و صفرزائی زابل جمع‌آوری شدند.

یافته‌ها: کل امرژی حمایت کننده نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر به‌ترتیب $۲/٤٥\times۱۰^{۱٦}$، $۳/۱۲\times۱۰^{۱٦}$ و $٤/۷۳\times۱۰^{۱٦}$ امژول خورشیدی در هکتار بود. منابع غیر رایگان به ترتیب ۵۵/۹، ۵۳/٤ و ٦۵/٤ درصد از کل امرژی ورودی نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر را به خود اختصاص دادند. سهم زیاد نهاده‌های غیر رایگان که معمولا از خارج نظام وارد می‌شود نشان می‌دهد که هر سه نظام مورد مطالعه، نظام‌هایی باز می‌باشند که به شدت تحت تاثیر ورودی‌های خریداری شده قرار می‌گیرند. ترکیب نهاده‌های امرژی برای سه نظام تا حد زیادی با هم تفاوت داشت. نسبت عملکرد امرژی برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر به ترتیب ۱/۲۷، ۱/۱۵ و ۱/۹۰ بود. این مقادیر پایین نشان داد که در بسیاری از فرآیندهای این نظام‌ها از نهاده‌های محلی رایگان بهره برداری می‌شود. نسبت بار زیست محیطی تولید سیر نسبت به گندم و پیاز بالاتر بود، بنابراین شاخص پایداری محیطی آن بالاتر از گندم و پیاز بود. تحلیل‌های اقتصادی نشان داد، نسبت سود به هزینه و سود خالص در سیر نسبت به پیاز و گندم بالاتر بود.

نتیجه‌گیری: به عنوان یک نتیجه کلی، این تحلیل‌ها نشان داد که عملکرد محیط زیستی بهتر یک نظام تولیدی با عملکرد اقتصادی بدتر آن همراه است.

واژه‌های کلیدی: پایداری زیست محیطی، تحلیل سیستم، تلفات خاک، کود آلی، منابع طبیعی

Evaluation of Sustainability in Wheat, Onion and Garlic Cropping Systems by Joint Use of Emergy and Economic Accounting

Hasan Yasini[1], Seyed Ahmad Ghanbari[2], Mohammad Reza Asgharipour[3*], Esmaeel Seyedabadi[4]

1- PhD Student, Unit of Agroecology, Dept. of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Iran.
2- Prof., Dept. of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
3- Assoc. Prof., Unit of Agroecology, Dept. of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Iran.
4-Assoc. Prof., Unit of Agroecology, Dept. of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol. Iran.
E-mail: m_asgharipour@uoz.ac.ir

Abstract

Background and objective: Sistan is one of the largest wheat producing region in Iran, but wheat production has given way to the production of wheat during the past years.

Materials & Methods: In order to analysis the reason behind this conversion, the productivity and sustainability of wheat, onion and garlic systems was examined using emergy and economy evaluation in 2019. In order to research site to have similar conditions, the data required for this study were collected in two villages of Karim Koshteh and Safarzaei, Zabol.

Results: Total emergy supporting the systems was estimated to 2.45E+16, 3.12E+16 and 4.73E+16 sej.ha^{-1} for the wheat, onion and garlic production systems, respectively. The purchased resource accounts for 55.9, 53.4 and 65.4 percent of total emergy flow for the wheat, onion and garlic production, respectively. This shows that the studied both systems are an extremely open system influenced strongly by the input from purchased inputs. The composition of emergy input to these production systems largely was different. The emergy yield ratio was 1.27, 1.15 and 1.90 for wheat, onion and garlic production, respectively. The values are low, indicating that the many process of the two systems converts natural resources from local into product. The environmental loading ratio of garlic systems was, a little bit higher than the wheat and onion systems, and correspondingly the sustainable index is lower than that of wheat and onion. Economic analysis indicated that output/input ratio and the benefit of the garlic production were greater than that of wheat and onion.

Conclusion: As a general outcome, these analyses showed that the better environmental performance of the system accmparied by the worse its economic performance.

Keywords: Environmental Sustainability, Organic Fertilizer, Natural Resources, Soil Loss, System Analysis

مقدمه

برای مواجهه با چالش‌های جهانی پیش رو از جمله امنیت غذایی، انفجار جمعیت و فشارهای محیطی، اتخاذ روش‌های تولید کشاورزی پایدار ضروری است (تیلمن و همکاران ۲۰۱۱، فولی و همکاران ۲۰۱۱). سیستم‌های کشاورزی متعارف برای ثابت نگهداشتن میزان تولید به استفاده از مقادیر زیادی از منابع طبیعی غیر قابل احیاء در قالب انرژی‌های صنعتی متکی می‌باشد (شا و همکاران ۲۰۱۵). پیامدهای استفاده فشرده از مواد شیمیایی و نهاده‌های صنعتی شامل تخلیه شدید و گسترده آب‌های زیرزمینی، فرسایش خاک، کاهش باروری خاک، آلودگی به وسیله آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی، از دست رفتن تنوع زیستی و گرم شدن کره زمین است، که ممکن است تولید آتی نظام‌های کشاورزی را تحت تأثیر قرار دهد (هال و همکاران ۲۰۰۵). در حال حاضر پایداری زیست محیطی نظام‌های کشاورزی با توجه به الگوی فعلی کاربرد نهاده‌ها مورد سوال است، بنابراین یک رویکرد یکپارچه برای اندازه گیری منابع زیست محیطی و ورودی‌های اقتصادی بسیار ضروری است (چنگ و همکاران ۲۰۱۷).

گندم محصولی استراتژیک و نیز یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی در دنیا و ایران به شمار می‌رود به‌طوری که هر ساله بیش از ۵۰ درصد از کل زمین‌های قابل کشت در کشور به زراعت گندم اختصاص داده می‌شود (اصغری پور و همکاران ۲۰۱٦). کل سطح زیر کشت گندم در منطقه سیستان در سال زراعی ۹۵-۱۳۹٤ معادل ٤۹۲۵۰ هکتار بود (سازمان جهاد کشاورزی، مکاتبات شخصی).در سال‌های اخیر سطح زیر کشت گندم در منطقه سیستان ۱۷ درصد کاهش داشته است، در حالیکه سطح زیر کشت سبزی‌های ریشه‌ای پیاز (*Alium cepa* L.) و سیر (*Allium sativum* L.) افزایش چشم گیری پیدا کرده است (آمارنامه استان سیستان و بلوچستان ۲۰۱۵). دلیل جایگزینی محصول گندم با سبزیجاتی نظیر پیاز و سیر مزایای اقتصادی بالاتر حاصل از پرورش آن‌ها است.

اکوسیستم‌های کشاورزی به نهاده‌های غیر رایگان مانند سوخت، برق، تجهیزات مکانیکی، کود، آفت کش‌ها و سایر محصولات صنعتی و ورودی‌های محیطی رایگان مانند نور خورشید، آب، خاک، باد و مواد آلی خاک وابسته می‌باشند (چنگ و همکاران ۲۰۱۷، اصغری پور و همکاران ۲۰۱۹). با این حال، رویکرد تحلیل سنتی نظام‌های کشاورزی به درستی ورودی‌ها یا محصولات رایگان محلی را در نظر نمی‌گیرد (دی باروس و همکاران ۲۰۰۹). اگر نقش نهاده‌های زیست محیطی نسبت به منابع اقتصادی کم در نظر گرفته شود، استراتژی‌های مدیریت براساس تجزیه و تحلیل‌های ناقص انجام خواهد گرفت و تخصیص بهینه منابع برای سیستم‌های کشاورزی امکان پذیر نخواهد بود (اولجیاتی و براون ۲۰۰۲). در این راستا، استفاده از روش‌های بیوفیزیکی مبتنی بر قوانین ترمودینامیکی، مانند تجزیه و تحلیل انرژی، ارزیابی اگزرژی، تحلیل امرژی و ارزیابی چرخه حیات با در نظر گرفتن سهم نهاده‌ها و خدمات محیطی در نظام تولیدی بر مبنای واحد معادل مفید می‌باشند (لو و همکاران ۲۰۱۰). در این زمینه، رهیافت ارزیابی امرژی توسعه یافته توسط ادوم (ادوم ۲۰۰۰)، ابزاری مناسب برای ارزیابی نهاده‌های خارجی غیر رایگان و همچنین نهاده‌ها و خدمات تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر محیطی است که به طور معمول به عنوان ورودی "رایگان" در نظر گرفته می‌شوند (براون و همکاران ۲۰۰۰).

امرژی، انرژی در دسترسی است که به طور مستقیم و غیر مستقیم برای تولید یک کالا یا خدمت مورد نیاز است (ادوم ۲۰۰۰). در تحلیل امرژی، با ضرب کردن انواع جریان انرژی و مواد در ضرایب تبدیل مناسب می‌توان آن‌ها را بر مبنای واحد معادل (ام ژول خورشیدی یا sej) بیان کرد (وو و همکاران ۲۰۱۳). بنابراین تحلیل امرژی توسط برخی محققان به عنوان پلی میان دانش بوم شناسی و اقتصاد پیشنهاد شده است (لن و همکاران ۲۰۰۲). در طول دو دهه گذشته، تحلیل امرژی در ترکیب با شاخص‌ها و نسبت‌های مختلف به طور گسترده ای برای برآورد پایداری سیستم‌های تولید کشاورزی در انواع و مقیاس‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (دی باروس و همکاران ۲۰۰۹، جعفری و همکاران ۲۰۱۸، امیری و همکاران ۲۰۱۹). با این حال، ارتباط میان محاسبه امرژی و ارزیابی اقتصادی هنوز به طور کامل روشن نشده است (لو و همکاران ۲۰۱۰). مطالعات پیشین نشان داده‌اند که عملکرد محیط زیستی بهتر یک نظام تولیدی با سودمندی اقتصادی کمتر همراه است (دی باروس و همکاران ۲۰۰۹). نتایج بررسی اصغری‌پور و همکاران (۲۰۱۹) روی مصرف سطوح مختلف از نهاده‌ها در تولید لوبیا با استفاده از تحلیل امرژی و اقتصادی نشان داد گرچه نظام‌های دارای ورودی‌های شیمیایی بیشتر، توأم با سود اقتصادی بالاتر است اما سطح پایداری در نظام‌ها با توجه به کاربرد ورودی‌های تجدیدناپذیر، کمتر از نظام ارگانیک است. جعفری و همکاران (۲۰۱۸) در ایران با ارزیابی انرژی، تحلیل امرژی و اقتصادی، به بررسی و پیش‌بینی روند پایداری در باغات تغییر کاربری شده از محصول خرما به پسته، پرداختند. نتایج بررسی اقتصادی نشان

داد، عمده انگیزه باغداران در تغییر باغات از خرما به پسته، سود اقتصادی بیشتر حاصل از تولید در باغات پسته است. البته نتایج تحلیل امرژی، حاکی از پایداری کمتر سیستم تولید پسته نسبت به خرما در بلندمدت است. همچنین بازده مصرف انرژی در این مطالعه، کارآمدی بیشتر بوم نظام خرما را نسبت به سیستم پسته نشان داد. امیری و همکاران (۲۰۱۹ و ۲۰۲۰) در بررسی خود روی دو نظام تولید معیشتی و تجاری کلزا گزارش کردند می‌توان پایداری زیست محیطی سیستم تولید کلزا تجاری را از طریق بهبود ماده آلی خاک و جلوگیری از بین رفتن آن افزایش داد. چهار نظام تولید خیار، گوجه‌فرنگی، فلفل و بادمجان گلخانه‌ای در سطح شهرستان جیرفت، با استفاده از شاخص‌های امرژی از نظر پایداری، مقایسه شدند و نتایج نشان داد، ارزش واحد امرژی محصول اقتصادی (UEVE) در نظام‌های بادمجان و خیار بیشترین و کمترین بود (اصغری پور و همکاران ۲۰۲۰). در این مطالعه صحت این فرضیه میان سه نظام گندم، پیاز و سیر ارزیابی می‌شود. رهیافت تحلیل امرژی برای ارزیابی و مقایسه دو نظام مورد استفاده قرار می‌گیرد. افزون بر این تجزیه و تحلیل اقتصادی به صورت مختصر برای ترسیم تصویری کامل تر از طریق ارائه دیدگاه‌های کاملتر در مورد این موضوع گنجانده شده است.

مواد و روش‌ها

توصیف منطقه اجرای مطالعه

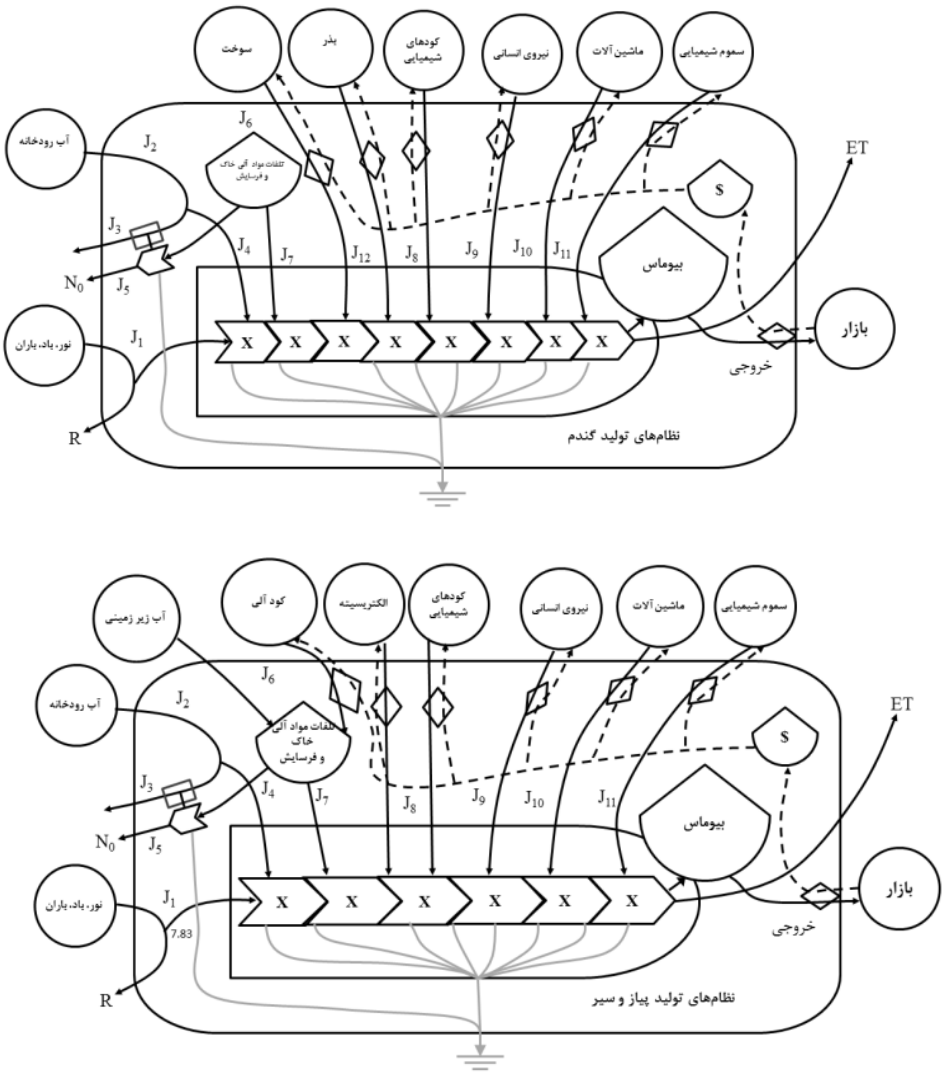
منطقه سیستان با وسعت تقریبی ۱۵۱۹۷ کیلومتر مربع دشت پست و هموار در ۳۰ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه پهنای شمالی و ٦۱ درجه و ۱۰ دقیقه تا ٦۱ درجه و ۵۰ دقیقه در ازای شرقی است. این ناحیه در شمال استان سیستان و بلوچستان واقع شده است و از شمال به استان خراسان جنوبی، از جنوب تا نزدیکی خاش، از شرق به کشور افغانستان و از غرب به کویر کرمان محدود است (ضیاء توانا ۱۹۹۲). اقلیم حاکم بر سیستان در تمام طبقه بندی‌های اقلیمی از نوع گرم و خشک می‌باشد. میانگین دمای سالانه ۲۱ درجه‌ی سانتیگراد، میانگین رطوبت نسبی هوا ۳۸ درصد، و تبخیر و تعرق بالقوه براساس روش‌های مختلف محاسبه حدود ٤۱۹٦ میلی متر (نگارش و خسروی ۲۰۰۰) تا ۵۷۰۰ میلی متر محاسبه شده است. بادهای ۱۲۰ روزه که از آن به عنوان شاخص ترین پدیده‌ی جوی منطقه با جهت شمال غرب-جنوب شرق یاد می‌شود، از ۲۰ اردیبهشت تا ۲۰ شهریور به مدت تقریبی ۱۳۱ روز تسلط کامل داشته و زندگی ساکنین آن را سخت و طاقت فرسا می‌نماید. اراضی زیر کشت محصولات زراعی شهرستان زابل بالغ بر ۷۲٤۳ هکتار می‌باشد که عمدتا شامل گندم، جو، زیره، بامیه، پیاز، سیر، صیفی جات، یونجه، ذرت علوفه‌ای، انگور یاقوتی سیستان و محصولات گلخانه‌ای می‌باشد (لواسانی و همکاران ۲۰۱۵).

این پژوهش برای ارزیابی سه نظام تولید گندم، سیر و پیاز منطقه سیستان اجرا شد. به منظور یکسانی شرایط طبیعی و محیطی مکان‌های تحقیقاتی، همگی در اراضی دو روستای کریم کشته و صفرزائی در ۳۰ کیلومتری شرق شهر زابل، که قطب کشاورزی و دامداری منطقه سیستان بود انتخاب شدند. سه مکان تحقیقاتی برای هر کدام از سه نظام گندم، سیر و پیاز برای نشان دادن میانگین وضعیت مدیریت نظام‌های مورد مطالعه گزینش شد. نمونه‌های خاک از ۹ مکان 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 چهار گوشه هر مزرعه با استفاده از یک اوگر برداشته شده و برای تشکیل یک نمونه مرکب روی هم ریخته شد. نمونه‌های خاک پس از آماده سازی و حذف قطعات سنگ و ریشه‌های قابل مشاهده در معرض هوا خشک شده و از غربال یک میلی‌متری عبور داده شدند. کربن آلی نمونه‌های خاک با استفاده از روش والکی و بلک (زرینکفش ۱۹۹٤) اندازه گیری شد. همچنین عملکرد محصول اقتصادی و

بیولوژیک هر نه مکان تحقیقاتی اندازه گیری شد. تعداد دفعات نمونه برداری در این مطالعه برای تعیین میزان نوسانات مواد آلی خاک در طول سال کافی نبود، با این حال این اندازه گیری‌ها معیاری از تغییرات ماده آلی خاک در طول سال زراعی را نشان می‌دهد. همچنین بدون اندازه‌گیری موازنه ترکیبات آلی خاک و میزان ریزش شاخ و برگ امکان تعیین میزان تجزیه میکروبی مواد آلی وجود ندارد. این عوامل می‌تواند در محاسبه میزان امرژی ترکیبات آلی خام خطایی وارد کند.

تجزیه و تحلیل امرژی

فرآیند تحیل امرژی بر مبنای مطالعات ادوم (۲۰۰۰) و براون و اولجیاتی (a,b۲۰۰۰) بنا نهاده شده است. اولین گام برای تحلیل امرژی تعریف محدوده مکانی و زمانی نظام و ترسیم دیاگرام امرژی نمادهای جریان انرژی توصیف شده توسط ادوم (۲۰۰۰) برای تشخیص مولفه‌های اصلی سیستم، روابط آن‌ها، جریان انرژی و مواد و نهاده‌های اقتصادی است. شکل ۱ دیاگرام تجمعی جریان امرژی برای سه نظام گندم، پیاز و سیر را نمایش می‌دهد. نهاده‌های محرک نظام‌های کشاورزی از دو منبع نشأت می‌گیرد: نهاده‌های محیطی و نهاده‌های به دست آمده از بازار. جعبه مستطیلی مرزهای نظام را نشان می‌دهد، در سمت چپ شکل، ورودی‌های طبیعی نشان داده شده است؛ در قسمت بالای شکل، ورودی‌های بازاری فهرست شده است، و در نهایت در سمت راست شکل عملکرد مفید نظام‌های تولیدی نشان داده شده است. برای تجزیه و تحلیل سیستم‌های تولید و محاسبه شاخص‌ها، ورودی‌ها به چهار نوع تقسیم شدند (ادوم ۲۰۰۰): نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدپذیر (R)، مانند آفتاب، باران و باد؛ نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدناپذیر (N)، مانند فرسایش خاک و منابع مورد استفاده برای فرآیند ساخت و ساز خاک؛ نهاده‌های تجدیدپذیر غیر رایگان (FR) مانند آب، بذر، کود آلی که از خارج از سیستم خریداری شده‌اند؛ و نهاده‌های تجدیدناپذیر غیر رایگان (FN) نظیر کود، آفت کش‌ها، ماشین آلات، سوخت و برق. در این مطالعه تلفات مواد آلی خاک به عنوان نهاده N در نظر گرفته شد.



شکل ۱- دیاگرام جریان امرژی نظام‌های تولید گندم، سیر و پیاز در منطقه سیستان

در تطابق با مطالعات پیشین (اولجیاتی و براون ۲۰۰۲، اصغری پور و همکاران ۲۰۱۹) ۹۰ درصد از نیروی کارگر از منابع غیر قابل تجدید حاصل می‌شود و در N قرار می‌گیرد، در حالیکه ۱۰ درصد از منابع طبیعی تجدید پذیر به دست می‌آید و R می‌باشد. منابع طبیعی تجدیدپذیر (خورشید، باد و باران) با هم پیوند خورده‌اند و محصول مشترک زیست زمین سپهر می‌باشند، بنابراین برای جلوگیری از شمارش مضاعف، تنها بزرگترین مقدار برای برآورد کل R در نظر گرفته شد (ادوم ۲۰۰۰).

پس از محاسبه همه جریان‌های ورودی و خروجی انرژی و مواد برای هر نظام تولیدی، این مقادیر از طریق ضرب کردن در ضرایب مربوط، به واحد امرژی (sej) تبدیل می‌شود. این ضرایب تبدیل برای هر جزء و محصول از مطالعات قبلی اقتباس شده است (ادوم و پترسن ۱۹۹۶، ادوم ۲۰۰۰، لن و همکاران ۲۰۰۲، براون و اولجیاتی ۲۰۰۴، کوهن و همکاران ۲۰۰۶، جعفری و همکاران ۲۰۱۸، امیری و همکاران ۲۰۱۹، اصغری پور و همکاران ۲۰۱۹). 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 شماره ۱ ارائه شده است.

شاخص‌های مبتنی بر امرژی متعددی برای ارزیابی وضعیت محیطی، اکولوژیکی و اقتصادی نظام‌ها به کار رفته است (ادوم ۲۰۰۰، براون و اولجیاتی ۲۰۰۴). در این مطالعه، چگالی امرژی[1](ED)، نسبت تبدیل امرژی[2] (Tr)، نسبت عملکرد امرژی[3](EYR)، نسبت سرمایه گذاری امرژی[4](EIR)، نسبت بارگذاری محیطی[5](ELR) و شاخص پایداری امرژی[6] (ESI) و کسر تجدیدپذیری[7](%R) که به طور گسترده ای به عنوان قابل اعتماد ترین شاخص‌ها برای ارزیابی امرژی اکوسیستم شناخته شده‌اند (چنگ و همکاران ۲۰۱۷)، برای مقایسه سه نظام گندم، سیر و پیاز به کار گرفته شد. فرمول و روش محاسبه این شاخص‌ها که برای ارزیابی رفتار نظام‌های مورد مطالعه به کار رفتند در جدول ۱ توصیف شده است.

جدول ۱- مشخصات و فرمول شاخص‌های مورد استفاده در مطالعه برای ارزیابی نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر

شاخص	فرمول	مشخصات
نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدپذیر	**R**	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع محلی رایگان
نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدناپذیر	**N**	جریان‌های تجدیدناپذیر از منابع محلی رایگان
نهاده‌های غیررایگان تجدیدپذیر	**FR**	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع غیر رایگان
نهاده‌های غیررایگان تجدیدناپذیر	**FN**	جریان‌های تجدیدناپذیر از منابع غیر رایگان
کل امرژی مورد استفاده	**U= R+ N +FR+ FN**	کل منابع امرژی مورد نیاز برای پشتیبانی نظام تولید
امرژی خروجی	**Y**	مجموع امرژی محصولات نظام
چگالی امرژی	**ED=U/area**	جریان کل انرژی مورد نیاز برای حمایت از یک نظام تولید. شدت انرژی سرمایه گذاری شده در واحد سطح
ضریب تبدیل	**Tr=U/AE**	مقدار امرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد خروجی بر حسب ژول، یا بهره وری نظام. AE انرژی در دسترس محصول است.
امرژی ویژه	**SE= U/PW**	مقدار امرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد خروجی بر حسب گرم، PW انرژی در دسترس محصول است.
کسر تجدیدپذیری امرژی	**%R=(R+ N)/ (FR+FN)**	درصد انرژی تجدیدپذیر مورد استفاده نظام
نسبت عملکرد امرژی	**EYR=Y/R+N**	توانایی یک فرایند برای استفاده از منابع تجدیدپذیر و غیر قابل تجدید محیطی با سرمایه منابع اقتصادی
نسبت سرمایه گذاری امرژی	**EIR=(FR+FN) /(R+N)**	
نسبت بار زیست محیطی	ELR=(N+FN) /(R+FR)	ELR اندازه گیری اختلالات احتمالی محلی از منابع بیرونی است .مقدار کمتر این شاخص به معنی استرس کمتر برای محیط زیست است.
شاخص پایداری محیط	ESI=EYR/ELR	این شاخص نشان دهنده فشار محیطی تولید شده در اثر یک فرایند است. نظام با ESI بالاتر پایداری بالاتری دارد.

تجزیه و تحلیل شاخص‌های اقتصادی

ورودی‌ها و خروجی‌های نظام‌های تولید گندم، سیر و پیاز با استفاده از روش‌های تحلیل اقتصادی متعارف از تحقیقات میدانی مورد ارزیابی قرار گرفت. به دلیل اینکه یک سال به عنوان مقیاس زمانی برای ارزیابی سیستم‌های در نظر گرفته شد، ورودی‌ها و خروجی‌ها در این سیستم‌ها به شکل سالیانه بیان شد. جریان سالانه ورودی‌ها و خروجی‌ها بر مبنای قیمت‌های بازار محلی محاسبه شد. به منظور تحلیل شرایط اقتصادی مزارع در منطقه مورد مطالعه، برخی از شاخص‌های اقتصادی

[1]Emergy Density
[2]Transformity
[3]Emergy Yield Ratio
[4]Emergy Investment Ratio
[5]Environmental Loading Ratio
[6]Emergy Sustainability Index
[7]Renewable Fraction

شامل درآمد ناخالص، ارزش ناخالص تولید، درآمد خالص، کل هزینه‌های تولید، نسبت سود به هزینه و بهره وری برای تولید گندم، سیر و پیاز محاسبه شد (اصغری پور و همکاران ۲۰۱۲)؛

$$NR = GVP - TCP \quad (۱)$$

$$GVP = CY \times CP \quad (۲)$$

$$TCP = VCP - FCP \quad (۳)$$

$$\text{B to C} = \frac{GVP}{TCP} \quad (٤)$$

$$Productivity = \frac{CY}{TCP} \quad (٥)$$

که NR، درآمد خالص (هزار ریال در هکتار)، GVP، ارزش ناخالص تولید (هزار ریال در هکتار)، TCP، هزینه‌های تولید (هزار ریال در هکتار)، CY، عملکرد محصول زراعی (کیلوگرم در هکتار)، CP، قیمت محصول (هزار ریال در هکتار)، B to C، نسبت سود به هزینه و Productivity، بهره وری است.

منابع اطلاعات

تمام اطلاعات مربوط به مقدار ورودی‌ها و خروجی‌های نظام‌های تولید گندم، سیر و پیاز با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی و مشاهدات نویسندگان در طول سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ گردآوری شد. داده‌های خام منابع طبیعی تجدیدپذیر، از جمله تابش خورشید، بارش و باد، از ایستگاه هواشناسی زهک واقع در ۲۵ کیلومتری نظام‌های مورد مطالعه به دست آمد. مقدار مؤثر کودهای شیمیایی از چن (۲۰۱۱) به دست آمد و عناصر کود آلی به طور مستقیم اندازه گیری شد. تمام ساختمان‌ها، ماشین آلات و مواد مورد استفاده در سیستم‌ها به جریان سالانه بر اساس طول عمر پیش بینی شده خود تبدیل شدند. طول عمر ماشین آلات ۱۰ سال و برای ساختمان‌ها ٤۰ سال (اصغری پور و همکاران، ۲۰۱۹) تخمین زده شد. معادل انرژی نهاده‌ها بر اساس ضرایب مربوط تخمین زده شد، که از منابع به دست آمد (مور ۲۰۱۰، سماواتیان و همکاران ۲۰۱۱، اصغری پور و همکاران ۲۰۱٦). محتوای انرژی خروجی‌ها با استفاده از روش توصیف شده ایزو ۱۹۲۸ (ISO, 1928) توسط سوزاندن در بمب کالریمتری تعیین شد.

به دنبال هر آبیاری و هر بارش در طول سال مقدار روان آب خروجی از هر پلات اندازه گیری شد. برای تعیین مقدار فرسایش آبی، رسوبات همراه روان آب، آب خروجی از پلات‌های منتخب در طول فصل جمع آوری و در مخازن نگهداری شد. برای تعیین رسوب انباشته شده در مخزن روان آب هر قطعه ۵۰۰ میلی لیتر از هر مخزن بعد از ۵ دقیقه تکان داده شدن برداشته شد. مواد معلق با استفاده از فیلتر کاغذی واتمن ٤۲ جداسازی و برای تعیین خاک تلف شده به مدت ۳٦ ساعت در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد خشک شد.

نتایج و بحث

تحلیل امرژی و ساختار نهاده‌های امرژی

جریان منابع طبیعی و نهاده‌های بازاری با اهمیت برای نظام‌های گندم، پیاز و سیر در جدول ۲ ارائه شده است. تمام ورودی‌های ارائه شده در این جدول از طریق ضرب در ضرایب مربوط به امرژی خورشیدی تبدیل شدند. نهاده‌های ورودی بر حسب کسرهای تجدید پذیری به دو بخش نهاده‌های تجدید پذیر و غیر قابل تجدید تقسیم شدند. مقادیر امرژی ورودی و خروجی نظام به ام ژول خورشیدی در هکتار در سال تبدیل شد که معادل چگالی توان امرژی[1] نظام تولیدی می‌باشد. کل امرژی حمایت کننده نظام‌های تولید گندم، سیر و پیاز به‌ترتیب $۲/٤٥\times۱۰^{۱٦}$، $۳/۱۲\times۱۰^{۱٦}$ و $٤/۷۳\times۱۰^{۱٦}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال بود. بدین ترتیب در نظام‌های تولید سیر تقریبا ۹۰ درصد بیشتر از نظام‌های تولید گندم و ۵۰ درصد بیشتر از نظام‌های تولید پیاز امرژی مصرف شده است. از عوامل مؤثر در مصرف بیشتر امرژی در

[1] Empower density

نظام تولید سیر نیاز بیشتر به نیروی انسانی، مصرف بیشتر کودهای آلی و انرژی زیاد برای تولید بذر سیر نسبت به نظام‌های تولید پیاز و گندم بود.

نهاده‌های امرژی در نظام‌های تولید گندم، سیر و پیاز به نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدپذیر (R)، نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدناپذیر (N)؛ نهاده‌های تجدیدپذیر غیر رایگان (FR) و نهاده‌های تجدیدناپذیر غیر رایگان (FN) تقسیم بندی شدند.

نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدپذیر (R)

در میان نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر هر سه نظام انرژی جنبشی باد بیشترین مقدار را دارا بود. برای اجتناب از شمارش مضاعف انرژی باد به اضافه انرژی خورشید مورد استفاده در فتوسنتز به عنوان کل امرژی رایگان محیطی تجدیدپذیردر نظر گرفته شد. مقدار نهاده‌های محیطی تجدیدپذیربرای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر به ترتیب ٤/٤٥، ٤/٣٦ و ٢/٩١ درصد کل امرژی‌های ورودی بود (جدول ۳).

جدول ۲- ورودی‌های رایگان و غیر رایگان و ضرایب تبدیل آن‌ها در نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیرمنطقه سیستان

آیتم‌های امرژی	واحد	گندم	پیاز	سیر	ضرایب تبدیل ($sej\ unit^{-1}$)
نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدپذیر					
انرژی تابشی خورشید	J	۲/۷۷×۱۰^{۱۳}	۳/٦۲×۱۰^{۱۳}	۳/٦٦×۱۰^{۱۳}	۱
انرژی جنبشی باد	J	۸/٥۱×۱۰^{۱۱}	۱/۰٦×۱۰^{۱۲}	۱/۰۷×۱۰^{۱۲}	۱/۲٥×۱۰^{۳}
انرژی شیمیایی باران	J	٤/۱۸×۱۰^{۱۰}	٤/۳۱×۱۰^{۱۰}	٤/۳۱×۱۰^{۱۰}	۲/۲٥×۱۰^{٤}
انرژی پتانسیل زمین شناسی باران	J	۳/۹٥×۱۰^{۷}	٤/۲۱×۱۰^{۷}	٤/۲۱×۱۰^{۷}	۲/۸۸×۱۰^{٤}
آب رودخانه	J	۲/٥۰×۱۰^{۱۰}	۲/۲٥×۱۰^{۱۰}	۲/۸٤×۱۰^{۱۰}	۳/٦۱×۱۰^{٤}
تبخیر و تعرق آب رودخانه	J	۱/٦٥×۱۰^{۱۰}	۱/٥۰×۱۰^{۱۰}	۱/۸۸×۱۰^{۱۰}	۲/۸۸×۱۰^{٤}
نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدناپذیر					
آب زیرزمینی	J	۰/۰۰×۰۰	۳/۹۲×۱۰^{۹}	٤/۱۷×۱۰^{۹}	۱/۹۲×۱۰^{٥}
تبخیر و تعرق آب زیر زمینی	J	۰/۰۰×۰۰	۳/۰۳×۱۰^{۹}	۲/۹٤×۱۰^{۹}	۲/۸۸×۱۰^{٤}
تلفات ماده آلی خاک	J	٥/۷۰×۱۰^{۱۰}	۸/٥٤×۱۰^{۱۰}	۱/۰٤×۱۰^{۱۱}	۹/۳٦×۱۰^{٤}
فرسایش خاک	g	۳/٤۲×۱۰^{٦}	۳/٤۲×۱۰^{٦}	۳/٤۲×۱۰^{٦}	۱/۲۷×۱۰^{۹}
نهاده‌های غیر رایگان		۳/۸۳×۱۰^{۹}	۲/۹۲×۱۰^{۹}	۲/۰۷×۱۰^{۹}	۸/٦۰×۱۰^{٤}
نیروی انسانی	J	۲/۳٥×۱۰^{۸}	۱/۲۷×۱۰^{۹}	۲/۲۷×۱۰^{۹}	۲/۲۲×۱۰^{٦}
ماشین آلات	g	۲/۹۸×۱۰^{٥}	۲/۹۲×۱۰^{٥}	۲/٤۳×۱۰^{٥}	۳/۰۹×۱۰^{۱۰}
کود نیتروژن	g	۹/۲۰×۱۰^{٤}	٤/٥٥×۱۰^{٤}	٤/۲٥×۱۰^{٤}	۲/۸۲×۱۰^{۱۰}
کود فسفر	g	۳/۲۰×۱۰^{٤}	۷/٥۰×۱۰^{٤}	۷/٥۰×۱۰^{٤}	۲/۲۳×۱۰^{۹}
کود پتاسیم	g	۲/٥۰×۱۰^{٤}	۲/٥۰×۱۰^{٤}	۲/٥۰×۱۰^{٤}	۳/۹۱×۱۰^{۹}
کودهای میکرو	g	۱/۰۰×۱۰^{۳}	۰/۰۰×۰۰	۰/۰۰×۰۰	۲/۹٦×۱۰^{۸}
کود آلی	g	۰/۰۰×۰۰	۸/۰۰×۱۰^{٦}	۱/۰۰×۱۰^{۷}	۲/۹٦×۱۰^{۸}
علف کش	g	۱/۲٥×۱۰^{۳}	۰/۰۰×۰۰	۰/۰۰×۰۰	٦/۳۰×۱۰^{۱۰}
قارچ کس	g	٥/۰۰×۱۰^{۲}	۰/۰۰×۰۰	۰/۰۰×۰۰	٦/۳۰×۱۰^{۱۰}
حشره کش	g	۲/٥۰×۱۰^{۲}	۰/۰۰×۰۰	۰/۰۰×۰۰	٦/۳۰×۱۰^{۱۰}
الکتریسیته	J	۰/۰۰×۰۰	۲/٥۲×۱۰^{۸}	۲/۷۰×۱۰^{۸}	۲/۳۱×۱۰^{٥}
بذر/پیاز سیر	ریال	۳/۰۲×۱۰^{٦}	۲/٤۰×۱۰^{٦}	٥/٥۰×۱۰^{۷}	۲/٥۰×۱۰^{۸}
سوخت فسیلی	J	۳/۸۳×۱۰^{۹}	۲/۹۲×۱۰^{۹}	۲/۰۷×۱۰^{۹}	۸/٦۰×۱۰^{٤}
خروجی‌ها					
عملکرد اقتصادی	g	۲/۸۰×۱۰^{٦}	٤/٦٥×۱۰^{٦}	٤/۱٥×۱۰^{٦}	
عملکرد اقتصادی	J	۳/٦٤×۱۰^{۷}	۷/٤٤×۱۰^{۹}	٦/٦٤×۱۰^{۹}	
عملکرد کاه و کلش	g	۳/۱۰×۱۰^{٦}			
عملکرد کاه و کلش	J	۳/۸۷×۱۰^{۷}			

جدول ۳- نتایج تحلیل امرژی نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیرمنطقه سیستان ($sej\ ha^{-1}$)

آیتم‌های امرژی	گندم		پیاز		سیر	
نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدپذیر	امرژی ($sej.ha^{-1}$)	درصد از کل	امرژی ($sej.ha^{-1}$)	درصد از کل	امرژی ($sej.ha^{-1}$)	درصد از کل
انرژی تابشی خورشید	۲/۷۷×۱۰^{۱۳}	۰/۱۱	۳/۶۲×۱۰^{۱۳}	۰/۱۲	۳/۶۶×۱۰^{۱۳}	۰/۰۸
انرژی جنبشی باد	۱/۰۶×۱۰^{۱۵}	۴/۳۴	۱/۳۳×۱۰^{۱۵}	۴/۲۵	۱/۳۴×۱۰^{۱۵}	۲/۸۳
انرژی شیمیایی باران	۹/۴۱×۱۰^{۱۴}	۳/۸۴	۹/۷۰×۱۰^{۱۴}	۳/۱۱	۹/۷۰×۱۰^{۱۴}	۲/۰۵
انرژی پتانسیل زمین شناسی باران	۱/۱۴×۱۰^{۱۲}	۰/۰۰	۱/۲۱×۱۰^{۱۲}	۰/۰۰	۱/۲۱×۱۰^{۱۲}	۰/۰۰
آب رودخانه	۹/۰۳×۱۰^{۱۴}	۱/۹۴	۸/۱۲×۱۰^{۱۴}	۱/۳۸	۱/۰۳×۱۰^{۱۵}	۲/۱۷
تبخیر و تعرق آب رودخانه	۴/۷۵×۱۰^{۱۴}	۱/۹۴	۴/۳۲×۱۰^{۱۴}	۱/۳۸	۵/۴۱×۱۰^{۱۴}	۱/۱۴
جمع	۱/۰۹×۱۰^{۱۵}	۴/۴۵	۱/۳۶×۱۰^{۱۵}	۴/۳۶	۱/۳۷×۱۰^{۱۵}	۲/۹۱
نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدناپذیر						
آب زیرزمینی	۰/۰۰×۰۰	۰/۰۰	۷/۵۳×۱۰^{۱۴}	۲/۴۱	۸/۰۱×۱۰^{۱۴}	۱/۶۹
تبخیر و تعرق آب زیر زمینی	۰/۰۰×۰۰	۰/۰۰	۸/۷۳×۱۰^{۱۳}	۰/۲۸	۸/۴۷×۱۰^{۱۳}	۰/۱۸
تلفات ماده آلی خاک	۵/۳۴×۱۰^{۱۵}	۲۱/۷۸	۷/۹۹×۱۰^{۱۵}	۲۵/۶۲	۹/۷۳×۱۰^{۱۵}	۲۰/۵۸
فرسایش خاک	۴/۳۴×۱۰^{۱۵}	۱۷/۷۳	۴/۳۴×۱۰^{۱۵}	۱۳/۹۲	۴/۳۴×۱۰^{۱۵}	۹/۱۸
جمع	۹/۶۸×۱۰^{۱۵}	۳۹/۵۰	۱/۳۲×۱۰^{۱۶}	۴۲/۲۳	۱/۵۰×۱۰^{۱۶}	۳۱/۶۳
نهاده‌های غیر رایگان						
نیروی انسانی	۵/۲۲×۱۰^{۱۴}	۲/۱۳	۲/۸۲×۱۰^{۱۵}	۹/۰۴	۵/۰۴×۱۰^{۱۵}	۱۰/۶۵
ماشین آلات	۹/۲۱×۱۰^{۱۵}	۳۷/۵۸	۹/۰۲×۱۰^{۱۵}	۲۸/۹۲	۷/۵۱×۱۰^{۱۵}	۱۵/۸۷
کود نیتروژن	۲/۵۹×۱۰^{۱۵}	۱۰/۵۹	۱/۲۸×۱۰^{۱۵}	۴/۱۱	۱/۲۰×۱۰^{۱۵}	۲/۵۳
کود فسفر	۷/۱۴×۱۰^{۱۳}	۰/۲۹	۱/۶۷×۱۰^{۱۴}	۰/۵۴	۱/۶۷×۱۰^{۱۴}	۰/۳۵
کود پتاسیم	۹/۷۸×۱۰^{۱۳}	۰/۴۰	۹/۷۸×۱۰^{۱۳}	۰/۳۱	۹/۷۸×۱۰^{۱۳}	۰/۲۱
کودهای میکرو	۲/۹۶×۱۰^{۱۱}	۰/۰۰	۰/۰۰×۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰×۰۰	۰/۰۰
کود آلی	۰/۰۰×۰۰	۰/۰۰	۲/۳۷×۱۰^{۱۵}	۷/۵۹	۲/۹۶×۱۰^{۱۵}	۶/۲۶
علف کش	۷/۸۸×۱۰^{۱۳}	۰/۳۲	۰/۰۰×۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰×۰۰	۰/۰۰
قارچ کس	۳/۱۵×۱۰^{۱۳}	۰/۱۳	۰/۰۰×۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰×۰۰	۰/۰۰
حشره کش	۱/۵۸×۱۰^{۱۳}	۰/۰۶	۰/۰۰×۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰×۰۰	۰/۰۰
الکتریسیته	۰/۰۰×۰۰	۰/۰۰	۵/۸۲×۱۰^{۱۳}	۰/۱۹	۶/۲۴×۱۰^{۱۳}	۰/۱۳
بذر/پیاز سیر	۷/۵۵×۱۰^{۱۴}	۳/۰۸	۶/۰۰×۱۰^{۱۴}	۱/۹۲	۱/۳۸×۱۰^{۱۶}	۲۹/۰۷
سوخت فسیلی	۳/۲۹×۱۰^{۱۴}	۱/۳۴	۲/۵۱×۱۰^{۱۴}	۰/۸۰	۱/۷۸×۱۰^{۱۴}	۰/۳۸
جمع	۱/۳۷×۱۰^{۱۶}	۵۵/۹۴	۱/۶۷×۱۰^{۱۶}	۵۳/۴۲	۳/۱۰×۱۰^{۱۶}	۶۵/۴۶
جمع کل	۲/۴۵×۱۰^{۱۶}	۱۰۰/۰۰	۳/۱۲×۱۰^{۱۶}	۱۰۰/۰۰	۴/۷۳×۱۰^{۱۶}	۱۰۰/۰۰
خروجی‌ها						
عملکرد اقتصادی (g)	۸/۷۴×۱۰^{۹}		۶/۷۱×۱۰^{۹}		۱/۱۴×۱۰^{۱۰}	
عملکرد اقتصادی (J)	۶/۷۳×۱۰^{۸}		۴/۱۹×۱۰^{۶}		۷/۱۲×۱۰^{۶}	
عملکرد کاه و کلش (g)	۷/۹۱×۱۰^{۹}					
عملکرد کاه و کلش (J)	۶/۳۲×۱۰^{۸}					

نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدناپذیر (N)

مصرف منابع آب زیر زمینی، تبخیر و تعرق آب‌های زیر زمینی، فرسایش و تلفات مواد آلی خاک، دو جزء اصلی نهاده‌های رایگان تجدیدناپذیر را تشکیل دادند که سهم آن‌ها از کل امرژی‌های ورودی برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر به ترتیب ۳۹/۵۰، ۴۲/۲۳ و ۳۱/۶۳ درصد بود (جدول ۳). باستیانونی و همکاران (۲۰۰۱) مقدار امرژی تلف شده از طریق فرسایش خاک را در منطقه چیانتی ایتالیا ۲/۲۵×۱۰^{۱۳} ام ژول خورشیدی در هکتار در سال تخمین زدند، و مارتین و همکاران (۲۰۰۶) در یک مزرعه ذرت در کانزاس آمریکا جریان امرژی غیر قابل تجدید محیطی را ۲/۱۶×۱۰^{۱۳} ام ژول خورشیدی در هکتار در سال گزارش کردند. سهم نهاده‌های محیطی تجدید ناپذیر در اثر بالا بودن میزان فرسایش خاک و

تلفات منابع مواد آلی خاک بالا بود. سهم زیاد این نهاده‌ها نشان دهنده ماهیت شکننده نظام‌های مورد مطالعه و هزینه‌های جدی محیط زیستی تولید محصولات زراعی در مناطق خشک ایران مانند سیستان است.

نهاده‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر غیر رایگان (FR و FN)

در هر سه نظام منابع غیر رایگان بیشترین سهم را از کل نهاده‌های امرژی به خود اختصاص دادند (به ترتیب ٥٥/٩٤، ٥٣/٤٢ و ٦٥/٤٦ درصد برای سه نظام تولید گندم، پیاز و سیر). همچنین تفاوت اصلی میان نظام‌های گندم، پیاز و سیر در استفاده از نهاده‌های غیر رایگان بود، که برای نظام‌های تولید سیر تقریبا ١٢٦ بیشتر از نظام‌های تولید گندم و ٨٥ درصد بیشتر از نظام‌های تولید پیاز بود (جدول ٣). این تفاوت نشان دهنده سطح بالاتر مصرف نهاده‌ها در نظام تولید سیر است. سهم زیاد نهاده‌های غیر رایگان که معمولا از خارج نظام وارد می‌شود نشان می‌دهد که هر سه نظام موردمطالعه، نظام‌هایی باز می‌باشند که به شدت تحت تاثیر ورودی‌های خریداری شده از اقتصاد قرار می‌گیرند.

از کل نهاده‌های غیر رایگان، سهم منابع امرژی تجدیدپذیر در نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر به ترتیب ٠/٥، ١٤/٠ و ١٤/٩ درصد و امرژی تجدیدناپذیر ٩٩/٥، ٨٦/٠ و ٨٥/١ درصد بود. بنابراین سهم امرژی‌های تجدیدناپذیر در هر سه نظام بسیار بیشتر از امرژی‌های تجدیدپذیر بود. ترکیب نهاده‌های امرژی غیر رایگان برای سه نظام گندم، پیاز و سیر تا حد زیادی با هم تفاوت داشت. در بین نهاده‌های خریداری شده در نظام تولید گندم، ماشین آلات بیشترین سهم (٣٧/٦) را داشت و پس از آن کود نیتروژن (١٠/٦ درصد)، بذر (٣/١ درصد)، نیروی انسانی (٢/١ درصد) و سوخت (١/٣ درصد) بیشترین سهم را داشتند. در نظام تولید پیاز نیز بیشترین سهم امرژی مصرفی مربوط به ماشین آلات (٢٨/٩ درصد)، و پس از آن نیروی انسانی (٩/٠ درصد)، کود آلی (٧/٦ درصد)، کود نیتروژن (٤/١ درصد) و بذر (١/٩ درصد) بالاترین سهم را داشتند. در نظام تولید سیر، سیرچه بذری (٢٩/١ درصد) بیشترین سهم را داشت و پس از آن ماشین آلات (١٥/٩ درصد)، نیروی انسانی (١٠/٧ درصد)، کود آلی (٦/٣ درصد) و نیتروژن (٢/٥ درصد) بیشترین سهم را داشتند. کود فسفر، کود پتاسیم، کودهای میکرو، سموم و الکتریسیته در هر سه نظام سهم بسیار ناچیزی در میان نهاده‌های امرژی داشتند (کمتر از ١ درصد).

تجزیه و تحلیل شاخص‌های مبتنی بر امرژی

مقایسه شاخص‌های امرژی بین دو نظام تولید گندم، پیاز و سیر می‌تواند در شناسایی تأثیرات کمی آنها و تمایز در تاثیرات محیطی و فراهم کردن مزایای اقتصاد، همچنین برای تعیین بهترین عملیات مدیریتی برای حرکت به سمت کشاورزی پایدار سودمند باشد. این شاخص‌ها در ایجاد تأثیرات زیست محیطی و به دست آوردن سود اقتصادی اکولوژیک، و همچنین ارائه بهترین شیوه‌های مدیریتی برای تولید گندم، پیاز و سیر، برای دستیابی به هدف کشاورزی پایدار باشد. مقادیر شاخص‌های مبتی بر امرژی برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در جدول ٤ ارائه شده است.

عملکرد و ضرایب تبدیل

بنابر اطلاعات گرد آوری شده عملکرد گندم، پیاز و سیر (وزن تازه میوه) در این منطقه به ترتیب به طور میانگین ٢٨٠٠، ٤٦٥٠ و ٤١٥٠ کیلوگرم در هکتار است. با تقسیم کل امرژی نهاده‌های ورودی هر نظام بر محتوای انرژی نهاده‌ها بر حسب ژول یا بر حسب گرم، ضریب تبدیل ($sej.J^{-1}$) یا امرژی ویژه هر محصول ($sej.\ g^{-1}$)، که معیاری از کارآیی فرآیند تولید است محاسبه می‌شود. مقدار ضریب تبدیل یا امرژی ویژه بالاتر به مفهوم کارآیی پایین تر فرآیند تولید در محیط و رقابت اقتصادی در دوره‌های زمانی طولانی است (ادوم ١٩٩٦).

جدول ۴- شاخص‌های مبتنی بر امرژی نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیرمنطقه سیستان

شاخص	گندم	پیاز	سیر
UEV_E (sej. g^{-1})	۸/۷٤×۱۰^{۹}	٦/۷۱×۱۰^{۹}	۱/۱٤×۱۰^{۱۰}
UEV_E = U/E (sej. J^{-1})	٦/۷۳×۱۰^{۸}	٤/۱۹×۱۰^{٦}	۷/۱۲×۱۰^{٦}
UEV_B (sej. g^{-1})	۳/۱۰×۱۰^{٦}		
UEV_B (sej. J^{-1})	۳/۸۷×۱۰^{۷}		
R (%)	۴/۸۰	۱۱/۵۷	۱۲/۴۷
EYR	۱/۷۹	۱/۸۷	۱/۵۳
EIR	۱/۲۷	۱/۱۵	۱/۹۰
ELR	۲۱/۴۲	۲۱/۹۳	۳۳/۴۲
ESI	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۵

معادل ضریب تبدیل برای سه نظام گندم، پیاز و سیر به ترتیب ۱۰^{۸}×٦/۷۳، ۱۰^{٦}×٤/۱۹ و ۱۰^{٦}×۷/۱۲ ام ژول خورشیدی در ژول انرژی محصول است. همچنین امرژی ویژه برای سه نظام گندم، پیاز و سیر به ترتیب ۱۰^{۹}×۸/۷٤، ۱۰^{۹}×٦/۷۱ و ۱۰^{۱۰}×۱/۱٤ ام ژول خورشیدی در گرم محصول بود. کارآیی پایین تر نظام تولید سیر با ضریب تبدیل پایین‌تر نسبت به نظام تولید گندم و پیاز نشان داده شد. مقادیر ضریب تبدیل به دست آمده در این مطالعه نسبت به مقادیر به دست آمده برای تولید انگور در چیانتی ایتالیا بالاتر (۱۰^{۵}×۱/۱۱ ام ژول خورشیدی در ژول) و پایین تر از نظام‌های تولید سبزیجاتی مانند فلفل دلمه‌ای، کلم، خیار، کاهو، گوجه فرنگی، لوبیا سبز و ذرت شیرین در فلوریدا آمریکا (از ۱۰^{۱۰}×۹/۸٤ تا ۱۰^{۱۰}×۹/۹۸ ام ژول خورشیدی در ژول (باستیانونی و همکاران ۲۰۰۱، برندت-ویلیام ۲۰۰۲) پایین‌تر بود.

کسر تجدیدپذیری امرژی (R%)

این کسر از تقسیم منابع ورودی تجدید پذیر امرژی به بخش‌های غیر قابل تجدید محاسبه می‌شود (ادوم ۲۰۰۰، براون و اولجیاتی ۲۰۰٤). به طور کلی نظام‌های تولیدی یا فرایندهایی با بخش بزرگتری از منابع امرژی تجدید پذیر احتمالا پایدارترند و در رقابت اقتصادی نسبت به آن‌هایی که از منابع غیر قابل تجدید امرژی استفاده می‌کنند موفق‌تر می‌باشند (براون و اولجیاتی ۲۰۰٤). وابستگی سه نظام تولید گندم، پیاز و سیر به نهاده‌های امرژی‌های تجدیدپذیر به ترتیب ٤/۸، ۱۱/٦ و ۱۲/۵ درصد بود. به عبارت دیگر به ترتیب ٤/۸، ۱۱/٦ و ۱۲/۵ درصد از کل نهاده‌های امرژی از منابع تجدیدپذیر به دست می‌آید. دو نظام تولید پیاز و سیر به دلیل مصرف مقادیر زیاد کودهای آلی برای تامین نیازهای غذایی در مقایسه با سایر مطالعات وابستگی کمتری به نهاده‌های امرژی تجدیدناپذیر داشتند. بین دو نظام مورد مطالعه نیز نظام گندم با مصرف کمتر نهاده‌های امرژی تجدیدپذیر ناپایدارتر بود. پذیرش تکنیک‌های پایدارتر توسط کشاورزان می‌تواند پایدار بودن سیستم را بهبود بخشد. افزایش یکپارچگی سیستم‌های تولید، از اولین گام‌هایی است که باید در راستای پایداری انجام شود.

نسبت عملکرد امرژی (EYR)

این شاخص به شکل نسبت کل عملکرد امرژی به امرژی خریداری شده از بازار تعریف می‌شود و به طور گسترده‌ای به عنوان معیاری برای نشان دادن توانایی یک فرایند برای جذب منابع تجدیدپذیر و غیر قابل تجدید محلی با سرمایه گذاری روی منابع اقتصادی استفاده می‌شود (ادوم ۲۰۰۰). برای EYR بالاتر، نسبت بالاتری از منابع رایگان امرژی در فرآیند استفاده می‌شود (ادوم ۲۰۰۰، براون و اولجیاتی ۲۰۰٤). حداقل مقدار قابل دستیابی EYR یک می‌باشد، که نشان دهنده سهم صفر منابع محلی در فرآیند تولید و اتکای کامل به منابع خریداری شده از بازار دارد. شاخص EYR برای سه نظام تولید گندم، پیاز و سیر ۱/۷۹، ۱/۸۷ و ۱/۵۳ محاسبه

شد، که به روشنی با وجود تلفات زیاد مواد آلی خاک و فرسایش خاک که هر دو در طبقه نهاده‌های غیر بازاری دسته بندی می‌شوند مقدار وابستگی پایین این سه نظام به منابع رایگان محیطی را نشان می‌دهد. نظام‌های تولید پیاز و گندم به دلیل مصرف کمتر نهاده‌های بازاری مقدار EYR بالاتری داشتند. این موضوع نشان می‌دهد لزوما بهره برداری یک نظام از منابع دردسترس محلی موجود نمی تواند بیانگر کارآمدی نظام باشد. در واقع، در مقایسه با سیستم‌های صنعتی، سیستم‌های کشاورزی سنتی توانایی خوبی برای بهره برداری از منابع رایگان محلی دارند، اما معمولا با بهره وری تولید کم و بالعکس.

نسبت سرمایه گذاری امرژی (EIR)

شاخص EIR نسبت نهاده امرژی غیر رایگان دریافتی به امرژی سرمایه گذاری شده رایگان از طریق بهره برداری از منابع طبیعی یا محیط زیست است. به عبارت دیگر، این شاخص نشان دهنده درجه وابستگی نظام کشاورزی به محیط زیست و سطح توسعه اقتصاد دارد (ادوم ۲۰۰۰). بنابراین دو شاخص EIR و EYRشاخص‌های مشابه می‌باشند که میزان بهره برداری از منابع رایگان را به روش‌های مختلفی بیان می‌کنند. با این وجود، مقدار کمتر EIR نشان دهنده وابستگی شدید نظام به منابع محیطی و سطح کم هزینه‌های اقتصادی است (ادوم ۲۰۰۰، لن و همکاران ۲۰۰۲).

مقدار EIR برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر به ترتیب ۱/۲۷، ۱/۱۵ و ۱/۹۰ به دست آمد، که نشان می‌دهد منابع غیر رایگان برای دو نظام به ترتیب ۱/۲۷، ۱/۱۵ و ۱/۹۰ برابر نهاده‌های غیر رایگان مصرف شده‌اند. مقادیر به دست آمد بیانگر مقدار بیشتر وابستگی به نهاده‌های غیر رایگان بازاری در نظام تولید پیاز و گندم و بهره برداری بیشتر نظام‌های تولید سیر از منابع رایگان است. مقادیر EIR به دست آمده در این مطالعه برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در دامنه مقادیر گزارش شده این شاخص برای گندم ۱/۲، برنج ۲/۷ و نیشکر ۲/۲ (ادوم ۱۹۹۶) بود.

نسبت بار زیست محیطی (ELR)

شاخص ELR نسبت امرژی از تمام منابع امرژی تجدیدناپذیر به امرژی از تمام منابع تجدید پذیر را نشان می‌دهد. این شاخصی از فشار محیطی به دلیل فعالیت‌های تولید اقتصادی است و می‌تواند به عنوان معیاری از فشار بالقوه انسانی ناشی از یک فرآیند به محیط اطرافش در نظر گرفته شود (ادوم ۲۰۰۰). مقادیر بالاتر این شاخص نشان دهنده فشار محیطی بیشتر بر اکوسیستم‌های محلی به علت استفاده از منابع غیر قابل تجدید است (ادوم ۱۹۹۶). مفهوم ELR به روشنی تفاوت میان نهاده‌های غیر قابل تجدید و تجدید پذیر را نشان می‌دهد، بنابراین می‌تواند اطلاعات ارائه شده ضریب تغییر شکل را تکمیل کند (ادوم ۲۰۰۰، براون و اولجیاتی ۲۰۰٤).

نظام‌های تولید سیر به ترتیب دارای ٥٦ و ٥٣ درصد ELR بیشتری در مقایسه با نظام تولید گندم و پیاز بودند. این شرایط در نتیجه مصرف بیشتر نهاده‌های امرژی تجدیدناپذیر به خصوص نیروی انسان، سیرچه و تلفات مواد آلی خاک در این نظام‌ها در مقایسه با نظام‌های تولید گندم و پیاز بود. مقادیر شاخص ELR برای نظام‌های تولید موز، ومپی، پاپایا و گواو در گوادلوپ به ترتیب ۱۰/۰، ٦/٦، ٤/۱ و ۳/۲ گزارش شد (لو و همکاران ۲۰۰۹)، که بسیار کمتر از مقادیر به دست آمده این شاخص در مطالعه حاضر بود. مقادیر بالای شاخص ELR در این مطالعه به دلیل مصرف مقادیر زیاد کود آلی و هزینه زیاد خرید بذر و اتلاف نهاده‌های امرژی تجدیدناپذیر مانند نهاده‌های شیمیایی و منابع رایگان محیطی است، که سبب اعمال فشار زیادی بر محیط زیست می‌شود. مصرف نهاده‌های تجدیدناپذیر امرژی تنها در صورتی قابل قبول می‌باشند که مقدارشان نزدیک به منابع تجدیدپذیر محلی باشد.

مقدار شاخص ELR مستقیما با کسر نهاده‌های تجدیدپذیر مرتبط است و می‌تواند به عنوان معیاری از فشار محیطی اعمال شده بر بوم نظام در اثر تولید در نظر گرفته شود (اولجیاتی و براون ۱۹۹۸). چنین فشاری لزوما در سطح منطقه ای اعمال نمی شود، بلکه می‌تواند در مقیاس‌های مکانی وسیع تری که منابع از آن‌ها به دست می‌آید اعمال شود. به طور کلی، مقادیر ELR کمتر از دو نشان دهنده فشار محیطی کم، مقادیر بین سه و ده نشان دهنده فشار محیطی متوسط و مقادیر ELR بیشتر از ده فشار محیطی زیاد را نشان می‌دهد (براون و اولجیاتی ۲۰۰٤). فشار زیاد محیطی می‌تواند به دلیل مصرف مقادیر زیاد نهاده‌های تجدیدناپذیر در مقیاس مکانی کوچکی باشد که نمی‌تواند تاثیرش را رقیق کند (کاوالت و همکاران ۲۰۰٦).

شاخص پایداری محیطی (ESI)

شاخص ESI یک شاخص مرکب است که از تقسیم شاخص EYR به ELR به دست می‌آید. این شاخص مزایای به دست آمده یک سیستم در واحد سطح را اندازه گیری می‌کند (براون و اولجیاتی ۱۹۹۷). به عبارت دیگر، این شاخص مزیت نظام نسبت به هزینه‌های آن را می‌سنجد. بنابراین، شاخص ESI هر دو جنبه ی اقتصاد و محیط زیست را در نظر می‌گیرد. مقدار بالاتر این شاخص نشان دهنده پایداری بیشتر نظام مورد مطالعه است. مقدار این شاخص بین صفر تا بی نهایت تغییر می‌کند. بر اساس اولجیاتی و براون (۱۹۹۸) مقادیر بیش از ۱۰ نظام‌های پایدار با حداقل فشار، مقادیر بین ۱ و ۱۰ پتانسیل خوب، در حالیکه مقادیر کمتر از ۱ نشان دهنده نظام پر مصرف است که منابع سیستم را تخلیه کرده و تاثیرات محیطی زیاد دارد و برای بقا نیاز به مصرف زیاد انرژی دارد.

در این مطالعه مقادیر ESI هر دو نظام بسیار شبیه به هم و کمتر از ۰/۱ بود، که نشان می‌دهد این نظام‌ها از سطح پایداری مطلوبی برخوردار نیستند و فشار محیطی زیادی اعمال می‌کنند (ژانگ و همکاران ۲۰۱۳). مقدار شاخص ESI نزدیک سه نظام گندم، پیاز و سیر نشان داد که تمام نظام دارای امرژی خروجی پایین و تقاضای نسبتا بالا برای منابع تجدیدناپذیر دارند. مقادیر ESI به دست آمده در این مطالعه بسیار کمتر از مقادیر گزارش شده توسط لو و همکاران (۲۰۰۹) برای نظام‌های تولید موز، وامپی و گوا بود. شاخص ESI می‌تواند به عنوان معیاری از پایداری بوم نظام‌های کشاورزی استفاده شود. این شاخص می‌تواند در شناسایی اکوسیستم‌های زراعتی که کمتر به محیط زیست نیاز دارند و برای تولید به منابع تجدیدپذیر محلی وابسته هستند کمک کند.

تحلیل اقتصادی

در نظام‌های تولید گندم هزینه‌های ماشین آلات، بذر و سوخت و در نظام‌های تولید پیاز هزینه‌های نیروی انسانی، کود آلی و الکتریسیته و در نظام‌های تولید سیر بذر، نیروی انسانی و کود دامی بیشترین هزینه را به خود اختصاص دادند. با توجه به جدول ٥، مجموع هزینه‌های انجام شده برای یک هکتار گندم ۱۲/۵۷ میلیون ریال بود. ارزش ناخالص تولید به دست آمده برابر با ٦۸/۳٥ میلیون ریال شد که در نتیجه در آمد خالصی برابر با ٥٥/۷۸ میلیون ریال به دست آمد. نسبت سود به هزینه و بهره وری برای هر هکتار گندم نیز به ترتیب برابر با ٤/٤٤ و ۰/۲۲ کیلوگرم بر هزار ریال به دست آمد. در سیستم‌های تولید پیاز کل هزینه‌های تولید معادل ۳۰/٥٤ میلیون ریال بود و ارزش ناخالص تولید برای هر هکتار پیاز ۱٤٤/۱٥ میلیون ریال به دست آمد. در نتیجه در آمد خالصی برابر با ۱۱۳/٦۱ میلیون ریال عاید پیازکاران شده است. برای هر هکتار پیاز نسبت سود به هزینه برابر با ۳/۷۲ و بهره وری نیز معادل ۰/۱٥ محاسبه شد. در نظام‌های تولید سیر مجموع هزینه‌های انجام شده برای یک هکتار ۷۱/٤۲ میلیون ریال بود. ارزش ناخالص تولید به دست آمده برابر با ٤۰۲/٥٥ میلیون ریال شد که در

نتیجه در آمد خالصی برابر با ۳۳۱/۱۳ میلیون ریال به دست آمد. نسبت سود به هزینه و بهره وری برای هر سیر نیز به ترتیب برابر با ٤/٦٤ و ۰/۰٦ کیلوگرم بر هزار ریال به دست آمد. با توجه به این نتایج، درآمد خالص به دست آمده برای هر هکتار سیر ۵/۹ برابر تولید گندم و ۲/۹ برابر تولید پیاز بود.

جدول ۵- تجزیه و تحلیل اقتصادی نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیرسیستان

پارامتر	گندم	پیاز	سیر
عملکرد اقتصادی (کیلوگرم در هکتار)	۲۸۰۰	٤٦٥۰	٤۱۵۰
عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	۳۱۰۰	-	-
قیمت فروش محصول اقتصادی (هزار ریال به ازای کیلوگرم)	۱۵		
قیمت فروش محصول جانبی (هزار ریال به ازای کیلوگرم)	۸/۵	۳۱	۹۷
ارزش ناخالص تولید (میلیون ریال در هکتار)	٦۸/۳۵	۱٤٤/۱۵	٤۰۲/۵۵
کل هزینه‌های تولید (میلیون ریال در هکتار)	۱۲/۵۷	۳۰/۵٤	۷۱/٤۲
در آمد خالص (میلیون ریال در هکتار)	۵۵/۷۸	۱۱۳/٦۱	۳۳۱/۱۳
نسبت سود به هزینه (میلیون ریال در هکتار)	٤/٤٤	۳/۷۲	٤/٦٤
بهره وری عملکرد اقتصادی (کیلوگرم بر هزار ریال)	۰/۲۲	۰/۱۵	۰/۰٦

تلفیق نتایج تحلیل امرژی و اقتصادی

به طور کلی، مهم ترین نیروی انگیزشی برای فعالیت‌ها در نظام‌های کشاورزی کسب پول و حضور موفق در فرایند تولید است. بنابراین، تحلیل‌های اقتصادی برای محاسبه میزان سود دهی نظام‌های کشاورزی و شناخت اجزای اصلی آن به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. با این حال، سهم نهاده‌های رایگان محیطی در تولیدات اقتصادی، مانند بهره‌وری زمین، خاک و آب شیرین که به طور مستقیم و غیر مستقیم برای تولید غذا حیاتی است، در اکثر تحلیل‌های اقتصادی در نظر گرفته نمی‌شود. در نتیجه، تخریب و کاهش کیفیت خاک، آب و منابع بیولوژیکی حیاتی برای کشاورزی، ادامه پیدا کرده و محدودیت‌های بیشتری برای تولیدات کشاورزی ایجاد می‌شود. تحلیل امرژی به روشنی این شکاف را با استفاده از یک روش تحلیل یکپارچه و در نظر گرفتن سهم نهاده‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر رایگان محیطی در ارزیابی پر می‌کند. بنابراین معمولا تحلیل‌های امرژی و اقتصادی نتایجی متفاوت به دنبال دارد. شاخص‌های مبتنی بر امرژی مانند نسبت عملکرد امرژی، نسبت سرمایه گذاری امرژی، نسبت بار زیست محیطی و شاخص پایداری محیطی به ما کمک می‌کند تا دلایل محیطی- اقتصادی ایجاد کننده نتایج به دست آمده از نسبت‌های اقتصادی ورودی به خروجی را بفهمیم.

نتایج تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی نشان داد بر اساس حداکثر کردن نسبت درآمد به هزینه و ارزش تولید خالص، نظام تولید سیر انتخاب مناسب‌تری از نظام تولید پیاز یا گندم است. با این حال، تحلیل امرژی نشان داد نظام‌های تولید گندم و در مرحله بعد پیاز برای حفظ پایداری در دوره‌های طولانی مدت گزینه مناسبتری بودند. به نظر می‌رسد دلیل کسب نتایج متناقض برای تحلیل امرژی نسبت به تحلیل اقتصادی در نظر گرفتن سهم نهاده‌های رایگان محیطی در ارزیابی بود، که در تحلیل‌های اقتصادی رایگان در نظر گرفته می‌شوند. به عبارت دیگر هر سه نظام تولید گندم، پیاز و سیر منابع تجدیدناپذیر محیطی را با کاهش ماده آلی خاک، فرسایش آب و تلفات و مصرف بی رویه آب کاهش دادند، اما فایده اقتصادی نظام تولید سیر به دلیل تخریب بیشتر منابع بود.

ارزیابی‌های اقتصادی و امرژی، روش‌هایی تکمیل کننده هم می‌باشند، با این تفاوت که تحلیل امرژی تاکید

بیشتری بر روشن شدن نقش منابع محیطی در تولید و اثرات زیست محیطی نظام‌های تولید دارد که در قیمت بازار در نظر گرفته نمی‌شود در حالیکه در تحلیل‌های اقتصادی تمرکز بر تاثیرات قیمت‌ها بر تولید محصولات است.

نتیجه گیری

ارزیابی امرژی نشان داد که تولید گندم نظام برتر برای دستیابی به پایداری نسبت به تولید سیر و پیاز است. با این حال، تحلیل اقتصادی نتایجی عکس نشان داد و در آن نظام تولید سیر سودآورتر بود. افزون بر این نظام تولید گندم و پیاز دارای ESI بالاتر و هزینه‌های کمتری نسبت به نظام‌های تولید سیر بود. چنانچه هزینه‌های زیست محیطی تولید نهاده‌ها، همچنین بهای تخریب خاک و تلفات آب در محاسبات لحاظ شود سودآوری سیر کاهش خواهد یافت. سیستم‌های تولید کشاورزی فعلی در ایران می‌توانند مزایای امرژی را از طریق بهره بردن از تجارب انباشته شده از طریق شیوه‌های کشاورزی زیست محیطی، به حداکثر برسانند. علاوه بر این، بهبود بهره‌وری از کودهای شیمیایی، کاهش تلفات خاک و مصرف آب در کشاورزی نیاز به بررسی بیشتر برای بهینه سازی شیوه‌های کشاورزی فعلی بر اساس بهره وری امرژی، انرژی و اقتصادی دارد.

این مطالعه نشان داد که دو روش تحلیل امرژی و اقتصادی طبقات مختلف، گرچه مکمل هم، از جریان نهاده‌های ورودی به نظام را در نظر می‌گیرند، فاکتورهای تبدیل مختلفی استفاده می‌کنند و سوالات و نگرانی‌های مختلف را پاسخ می‌دهند. تحلیل امرژی از چارچوب‌های مکانی و زمانی گسترده‌تر بهره می‌برد و سهم نهاده‌های طبیعی و اقتصادی را با واحدی برابر، ام ژول خورشیدی را حساب می‌کند. هدف نهایی‌اش بهبود پایداری محیطی و اقتصادی است. این تحلیل با تمرکز بر اقتصاد انرژی قادر است توسعه به سمت استفاده کارامدتر از انرژی تجاری را هدایت کند. تحلیل اقتصادی بر کاهش هزینه‌های اقتصادی و بهبود خروجی اقتصادی متمرکز است، و هدف نهایی اش بهبود بهره وری اقتصادی (خروجی/ ورودی) است. استفاده ترکیبی از دو روش مورد بررسی در اینجا می‌تواند راه را برای تصمیم گیری‌های موثرتر مدیریت برای همه سیستم‌ها و به سوی توسعه پایدار برای محیط زیست و اقتصاد به عنوان یک مجموعه نشان دهد. به عنوان یک نتیجه کلی، این تحلیل‌ها نشان داد که عملکرد محیطی مطلوبتر در نتیجه کنترل‌های بیشتر بر استفاده از نهاده‌های محیطی و مصنوعی با عملکرد اقتصادی ضعیف‌تر همراه است.

منابع مورد استفاده

Amiri Z, Asgharipour MR, Campbell DE and Aghapoor 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, 120891

Amiri Z, Asgharipour MR, Campbell DE 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.

Asgharipour MR, Amiri Z, Asgharipour MR and Campbell DE. 2020. Evaluation of the sustainability of four greenhouse vegetable production ecosystems based on an analysis of emergy and social characteristics. Ecological Modelling, 424: 109021.

Asgharipour MR, Mondani F and Riahinia Sh. 2012. Energy use efficiency and economic analysis of sugar beet production system in Iran: A case study in Khorasan Razavi province. Energy, 44: 1078-1084.

Asgharipour MR, Salehi F and Ahmadpour M. 2016. Energy Consumption Pattern and Sensitivity Analysis of Irrigated Wheat Production Farms in Kermanshah. Environmental Sciences, 14(1): 9-18. (in Persian).

Asgharipour MR, Shahgholi H, Campbell DE, Khamari I and Ghadiri A. 2019. Comparison of the sustainability of bean production systems based on emergy and economic analyses. Environmental Monitoring and Assessment, 191(1): 2.

Bastianoni S, Marchettini N, Panzieri M and Tiezzi E. 2001. Sustainability assessment of a farm in the Chianti area (Italy). Journal of Cleaner Production, 9: 365–373.

Brandt-Williams SL. 2002. Handbook of Emergy Evaluation: Folio #4—Emergy of Florida Agriculture. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, FL, USA.

Brown MT and Ulgiati S. 2004a. Energy quality, emergy, and transformity: H.T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems. Ecological Modelling, 178: 201–213.

Brown MT and Ulgiati S. 2004b. Emergy analysis and environmental accounting. Encyclopedia Energy 2, 329–354.

Brown MT, Brandt-Williams S, Tilley D and Ulgiati S. 2000. Emergy synthesis: an introduction. In: Brown M.T. (Ed.), Emergy Synthesis: Theory and Applications of the Emergy Methodology, Proceedings from the First Biennial Emergy Analysis Research Conference. Centre for Environmental Policy, Gainesville, FL, pp. 1-14.

Cavalett O, Queiroz JF 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, 205–224.

Chen F. 2011. Agricultural Ecology, second ed. China Agricultural University Press, Beijing.

Cheng H, Chen C, Wu S, Mirza ZA and Liu Z. 2017. Emergy evaluation of cropping, poultry rearing, and fish raising systems in the drawdown zone of Three Gorges Reservoir of China. Journal of Cleaner Production, 144: 559-571.

Cohen MJ, Brown MT and Shepherd KD. 2006. Estimating the environmental costs of soil erosion at multiple scales in Kenya using emergy synthesis. Agriculture, Ecosystem and Environment, 114: 249–269.

Cuadra M and Rydberg T. 2006. Emergy evaluation on the production, processing and export of coffee in Nicaragua. Ecological Modelling, 196: 421–433.

de Barros JM, Blazy GS, Rodrigues R and Tournebize JP. 2009. Emergy evaluation and economic performance of banana cropping systems in Guadeloupe (French West Indies). Agriculture, Ecosystems and Environment, 129: 437–449.

Foley JA, Ramankutty N, Brauman KA, Cassidy ES, Gerber JS, Johnston M, Mueller ND, O'Connell C, Ray DK, West PC, Balzer C, Bennett EM, Carpenter SR, Hill J, Monfreda C, Polasky S, Rockstrom J, Sheehan J, Siebert S, Tilman D and Zaks DPM. 2011. Solutions for a cultivated planet. Nature, 478: 337–342.

Hole DG, Perkins AJ, Wilson JD, Alexander IH, Grice PV and Evans AD. 2005. Does organic farming benefit biodiversity? Biological Conservation, 122: 113-130.

ISO, 1928, 1995. Solid mineral fuels. Determination of gross calorific value by the bomb calorimetric method, and calculation of net calorific value. International Organization for Standardization.

Jafari M, Asgharipour MR, Ramroudi M, Galavi M and Hadarbadi G. 2018. Sustainability assessment of date and pistachio agricultural systems using energy, emergy and economic approaches. Journal of Cleaner Production, 193: 642-651.

Lan SF, Qin P and Lu HF. 2002. Emergy Assessment of Ecological Systems. Chemical Industry Press, Beijing, China, 75, 76, 406, 412.

Lavasani A, Ghanbari A and Asgharipour MR. 2015. Quantifying of Ecological Sustainability of Greenhouse Production Systems in Sistan. Agricultural Sciences and Sustainable Production, 25(3): 31-41. (in Persian).

Lu H, Bai Y, Ren H, Campbell DE. 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.

Lu HF, Kang WL, Campbell DE, Ren H, Tan YW, Feng RX, Luo JT and Chen FP. 2009. Emergy and economic evaluations of four fruit production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. Ecological Engineering, 35: 1743–1757.

Martin JF, Diemont SAW, Powell E, Stanton M and Levy-Tacher S. 2006. Emergy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management. Agriculture, Ecosystem and Environment, 115: 128–140.

Moore SR. 2010. Energy efficiency in small-scale biointensive organic onion production in Pennsylvania, USA. Renewable Agriculture and Food Systems, 25(3): 181-188.

Negaresh H and Khosravi M. 2000. Agricultural Climate Survey of Sistan and Baluchestan Province. Vice chancellor for research, Sistan and Baluchestan University. Zahedan. (in Persian).

Odum HT and Peterson N. 1996. Simulation and evaluation with energy systems blocks. Ecological Modelling, 93: 155–173.

Odum HT. 1996. Environmental accounting: emergy and environmental decision making. New York, NY, USA: Wiley.

Odum HT. 2000. Handbook of Emergy Evaluation. A Compendium of Data for Emergy Computation. Folio #2 Emergy global processes. Center of Environmental Policy, University of Florida, Gainesville.

Publisher: Statistical Centre of Iran, p. 355 (in Persian).

Samavatean N, Rafiee S, Mobli H and Mohammadi A. 2011. An analysis of energy use and relation between energy inputs and yield, costs and income of garlic production in Iran. Renewable Energy, 36: 1808-1813.

Sha Z, Guan F, Wang J, Zhang Y and Liu H. 2015. Evaluation of raising geese in cornfields based on emergy analysis: A case study in southeastern Tibet, China. Ecological Engineering, 84: 485–491.

Siatan and Baluchistan Province Statistical Yearbook 1394 (Iranian Year) [2015-2016], 2016.

Tilman D, Balzer C, Hill J and Befort BL. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 108: 20260–20264.

Ulgiati S and Brown MT. 1998. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. Ecological Modelling, 108: 23-36.

Ulgiati S and Brown MT. 2002. Quantifying the environmental support for dilution and abatement of process emissions. The case of electricity production. Journal of Cleaner Production, 10: 335–348.

Wu XH, Wu FQ, Tong XG and Jiang B. 2013. Emergy-based sustainability assessment of an integrated production system of cattle, biogas, and greenhouse vegetables: Insight into the comprehensive utilization of wastes on a large-scale farm in Northwest China. Ecological Engineering, 61,: 335–344.

Zarrinkafsh M. 1994. Applied Soil Evaluation and Quantitative Analysis of Soil-Water-Plant. Tehran University Press. 342 pages (In Persian).

Zia-Tavana MH. 1992. Characteristics of the natural environment of Sistan basin. Geographical Articles Letter from Dr. Mohammad Hassan Ganji. Tehran. Geological Publishing. (In Persian).

Appendix:

Garlic systems

1- Solar energy (J): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (during growth season, 4.58E+09 J m^{-2}) × (1-albedo, 0.8) = 3.66E+13 J ha^{-1}

2- Wind, kinetic energy (J): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (air density, 1.3 kg m^{-3}) × (drag coefficient, 0.002) × (wind velocity, 11.22 m s^{-1})^3 × (growth season, 2.91E+7 s) = 1.07E+12 J ha^{-1}

3- Rain, chemical potential energy (J ha^{-1}): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (evapotranspiration, 0.910 m yr^{-1}) (density, 1,000 kg m^{-3}) (Gibbs free energy, 4,740 J kg^{-1}) = 4.31E+10 J ha^{-1}

4- Rain, geopotential energy (J): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (rainfall, 0.032 m) × (runoff rate, 0.028) ×(average elevation, 480 m) × (density, 1000 kgm^3) × (gravity, 9.8 m s^{-2}) = 4.21E+07 J ha^{-1}

7- River water energy (J): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (average quantity, 0.580 m) × (conversion, 1000 kg m^{-3}) × (Gibbs free energy, 4900 J kg^{-1}) = 2.84E+10 J ha^{-1}

6- River water evapotranspiration energy (J): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (transpiration, 0.397 m yr^{-1}) × (density, 1,000 kg m^{-3}) × (Gibbs free energy, 4,740 J kg^{-1}) = 1.88E+10 J ha^{-1}

7- Groundwater energy (J): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (average quantity, 0.085 m) × (conversion, 1000 kg m^{-3}) × (Gibbs free energy, 4900 J kg^{-1}) = 4.17E+09 J ha^{-1}

8- Groundwater evapotranspiration energy (J): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (transpiration, 0.062 m yr^{-1}) × (density, 1,000 kg m^{-3}) × (Gibbs free energy, 4,740 J kg^{-1}) = 2.94E+09 J ha^{-1}

9- SOM change: -0.11%

SOM reduction weight = (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (0.3 m, soil layer) × (1400 kg.m^{-3}, Soil bulk density) × (0.11%) = 4620 kg

SOM reduction energy: (4620 kg ha^{-1}, SOM reduction weight) × (5400 kcal kg^{-1}) × (4186 J kcal^{-1}) = 1.04E+11 J ha^{-1}

10- Soil erosion (gr ha^{-1}):

Average soil loss from water erosion calculated by USLE model (Vaezi et al., 2008; Ostovari et al., 2016) to be 3.42 E+06 gr ha^{-1}

11- Agricultural Machinery steel (gr ha^{-1}): 3.42E+06 gr (tractor) + 7.0E+05 gr (mouldboard plow) + 6.0E+05 gr (disc plow) + 8.0E+05 gr (leveler) = 5.53E+06 gr ha^{-1}

Assume an economic life of 25 years, yearly work hours 540 h and hours ha^{-1} of 5 h.

Agricultural Machinery (g) = Σ (steel/economic life/yearly work hours) × hours ha^{-1} = 2.43E+05 gr ha^{-1}

12- Fuel for machinery (J): (area, 1 ha) × (average quantity, 44.4 kg ha^{-1}) × (conversion, 4.67E+07 J kg^{-1}) = 2.07E+09 J

13- Garlic cloves (IR Rials ha^{-1}): (garlic cloves quantity: 500 kg ha^{-1}) × (garlic cloves price, 1.10E+05) = 5.50E+07 IR Rials ha^{-1}

14- Human labor (J ha^{-1}): (human labour working hour, 1160 h ha^{-1}) × (energy equivalent, 1.96E+06 J h^{-1}) = 2.27E+09 sej ha^{-1}

15- Electricity (J ha^{-1}): (average quantity, 75 kWh ha^{-1}) × (conversion, 3.6E+06 J kWh^{-1}) = 2.70E+08 J ha^{-1}

Onion systems

1- Solar energy (J): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (during growth season, 4.52E+09 J m^{-2}) × (1-albedo, 0.8) = 3.62E+13 J ha^{-1}

2- Wind, kinetic energy (J): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (air density, 1.3 kg m^{-3}) × (drag coefficient, 0.002) × (wind velocity, 11.21 m s^{-1})^3 × (growth season, 2.89E+7 s) = 1.06E+12 J ha^{-1}

3- Rain, chemical potential energy (J ha^{-1}): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (evapotranspiration, 0.910 m yr^{-1}) (density, 1,000 kg m^{-3}) (Gibbs free energy, 4,740 J kg^{-1}) = 4.31E+10 J ha^{-1}

4- Rain, geopotential energy (J)= (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (rainfall, 0.032 m) × (runoff rate, 0.028) ×(average elevation, 480 m) × (density, 1000 kgm^3) × (gravity, 9.8 m s^{-2}) = 4.21E+07 J ha^{-1}

5- River water energy (J): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (average quantity, 0.460 m) × (conversion, 1000 kg m^{-3}) × (Gibbs free energy, 4900 J kg^{-1}) = 2.25E+10 J ha^{-1}

6- River evapotranspiration energy (J): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (transpiration, 0.317 m yr^{-1}) × (density, 1,000 kg m^{-3}) × (Gibbs free energy, 4,740 J kg^{-1}) = 1.50E+10 J ha^{-1}

7- Groundwater energy (J): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (average quantity, 0.080 m) × (conversion, 1000 kg m^{-3}) × (Gibbs free energy, 4900 J kg^{-1}) = 3.92E+09 J ha^{-1}

8- Groundwater evapotranspiration energy (J): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (transpiration, 0.064 m yr^{-1}) × (density, 1,000 kg m^{-3}) × (Gibbs free energy, 4,740 J kg^{-1}) = 3.03E+09 J ha^{-1}

8- SOM change: -0.09%

SOM reduction weight = (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (0.3 m, soil layer) × (1400 kg.m^{-3}, Soil bulk density) × (0.09%) = 3,780 kg

SOM reduction energy: (3780 kg ha^{-1}, SOM reduction weight) × (5400 kcal kg^{-1}) × (4186 J kcal^{-1}) = 8.54E+10 J ha^{-1}

9- Soil erosion (J):

Average soil loss from water erosion calculated by USLE model (Vaezi et al., 2008; Ostovari et al., 2016) to be 3.42 E+06 gr ha^{-1}

10- Agricultural Machinery steel (gr ha^{-1}): 3.42E+06 gr (tractor) + 7.0E+05 gr (mouldboard plow) + 6.0E+05 gr (disc plow) + 8.0E+05 gr (leveler) + 1.1E+06 (drill planter) = 6.63E+06 gr ha^{-1}

Assume an economic life of 25 years, yearly work hours 540 h and hours ha^{-1} of 5 h.

Agricultural Machinery (gr) = Σ (steel/economic life/yearly work hours) × hours ha^{-1} = 2.92E+05 gr ha^{-1}

11- Fuel for machinery (J): (area, 1 ha) × (average quantity, 62.6 kg ha^{-1}) × (conversion, 4.67E+07 J kg^{-1}) = 2.92E+09 J ha^{-1}

12- Onion seeds (gr ha^{-1}): (Seed quantity: 2.0 kg ha^{-1}) × (seed price, 1.20E+06) = 2.40E+06 IR Rials ha^{-1}

13- Human labor (J ha^{-1}): (human labour working hour, 650 h 1000 m^{-2}) × (energy equivalent, 1.96E+06 J h^{-1}) = 1.27E+09 J ha^{-1}

14- Electricity (J ha^{-1}): (area, 13.5 ha) × (average quantity, 70 kWh ha^{-1}) × (conversion, 3.6E+06 J kWh^{-1}) = 2.52E+08 J ha^{-1}

Wheat system

1- Solar energy (J): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (during growth season, 3.46E+09 J m^{-2}) × (1-albedo, 0.8) = 2.77E+13 J ha^{-1}

2- Wind, kinetic energy (J): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (air density, 1.3 kg m^{-3}) × (drag coefficient, 0.002) × (12.83 m s^{-1})^3 × (growth season, 1.55E+7s) = 8.51E+11 J ha^{-1}

3- Rain, chemical potential energy (J ha^{-1}): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (evapotranspiration, 0.882 m yr^{-1}) (density, 1,000 kg m^{-3}) (Gibbs free energy, 4,740 J kg^{-1}) = 4.18E+10 J ha^{-1}

4- Rain, geopotential energy (J)= (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (rainfall, 0.03 m) × (runoff rate, 0.028) × (average elevation, 480 m) × (density, 1000 kgm^3) × (gravity, 9.8 m s^{-2}) = 3.95E+07 J ha^{-1}

6- River water energy (J): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (average quantity, 0.51 m) × (conversion, 1000 kg m^{-3}) × (Gibbs free energy, 4900 J kg^{-1}) = 2.50E+10 J ha^{-1}

5- River water evapotranspiration energy (J): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (transpiration, 0.349 m yr^{-1}) × (density, 1,000 kg m^{-3}) × (Gibbs free energy, 4,740 J kg^{-1}) = 1.65E+10 J ha^{-1}

7- SOM change: -0.06%

SOM reduction weight = (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (0.3 m, soil layer) × (1400 $kg.m^{-3}$, Soil bulk density) × (0.06%) = 2,520 kg ha^{-1}

SOM reduction energy: (2520 kg ha^{-1}, SOM reduction weight) × (5400 kcal kg^{-1}) × (4186 J $kcal^{-1}$) = 5.70E+10 J ha^{-1}

8- Soil erosion (J):

Average soil loss from water erosion calculated by USLE model (Vaezi et al., 2008; Ostovari et al., 2016) to be 3.42 E+06 gr ha^{-1}

9- Agricultural Machinery steel (gr ha^{-1}): 3.42E+06 gr (tractor) + 7.0E+05 gr (mouldboard plow) + 6.0E+05 gr (disc plow) + 8.0E+05 gr (leveler) + 1.1E+06 (drill planter) + 5.0E+05 gr (harrow) + 4.2E+06 gr (combine harvester) = 1.13E+07 gr ha^{-1}

Assume an economic life of 25 years, yearly work hours 540 h and hours ha^{-1} of 5 h.

Agricultural Machinery (g) = (area, 1 ha) × Σ (steel/economic life/yearly work hours) × hours ha^{-1} = 2.98E+05 gr ha^{-1}

10- Human labor (J ha^{-1}): (human labour working hour, 120 h 1000 m^{-2}) × (energy equivalent, 1.96E+06 J h^{-1}) = 2.35E+08 J ha^{-1}

11- Fuel for machinery (J): (area, 1 ha) × (average quantity, 82.0 kg ha^{-1}) × (conversion, 4.67E+07 J kg^{-1}) = 3.83E+09 J ha^{-1}