بوم‌شناسی کاربردی/ سال یازدهم / شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۱/ صفحات ۶۳ تا ۷۷

ارزیابی پایداری بوم‌نظام های تولید خیار و گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای بر اساس تحلیل امرژی و اقتصادی در منطقه سیستان

سمیه میرشکاری[1*]، محمدرضا اصغری پور[2]، زهرا غفاری‌مقدم[3] و سید ابوالفضل هاشمی[4]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۳)

چکیده

بهره‌گیری از رویکرد امرژی در برآورد پایداری نظام‌های گلخانه‌ای، باعث بکار بردن روش‌های مدیریتی درست جهت افزایش پایداری تولید در این نظام‌ها می‌شود. در این پژوهش، دو نظام تولید خیار و گوجه‌فرنگی در منطقه سیستان، با به‌کارگیری شاخص‌های امرژی، مورد سنجش قرار گرفت. بدین منظور ۱۶۶ گلخانه خیار و ۱۱۱ گلخانه گوجه¬فرنگی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ انتخاب شد. برآیند سنجش ۱۳ شاخص، پایداری نظام تولید خیار را نسبت به نظام گوجه‌فرنگی نمایان ساخت. بیشترین و کمترین مقدار شاخص ضریب تبدیل (Transformity) در نظام‌های گوجه‌فرنگی و خیار، به ترتیب ۲/۷۷×۱۰۳ و ۲/۰۰×۱۰۳ (ام ژول خورشیدی در گرم) بود. خصوصیات فیزیولوژیکی خیار نظیر طول دوره رشد طولانی و بهره‌مندی بیشتر از انرژی‌های تجدیدشونده رایگان، تولید بیشتر و استفاده بهینه‌تر از نیروی کار، موجب پایداری بیشتر این نظام در مقایسه با گوجه فرنگی شد. در نظام تولید گوجه‌فرنگی سهم بالای منابع تجدیدناپذیر خریداری شده علت کاهش پایداری بود. جهت پایداری بیشتر در نظام‌های تولید گلخانه‌ای، لازم است که گیاهانی با ظرفیت بالاتر در استفاده از انرژی‌های رایگان محیطی را برگزید و استفاده کارآمدتر از نیروی انسانی، استفاده از سازه گلخانه با تکنولوژی‌هایی در راستای کاهش ورودی و کم کردن سهم جریان‌های ورودی تجدیدناپذیر خریداری شده را در دستور کار قرار داد.

واژه‌های کلیدی: بار زیست‌محیطی، پایش محیطی، شاخص امرژی، کشاورزی فشرده، نهاده های محیطی

۱. استادیار گروه زراعت، پژوهشکده کشاورزی- پژوهشگاه زابل.

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

۳. استادیار گروه اقتصاد، پژوهشکده کشاورزی، پژوهشگاه زابل.

۴. دانشجوی دکتری آگروتکنولوژی- گرایش فیزیولوژی ، گروه زراعت، دانشگاه زابل.

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Smirshekari@uoz.ac.ir

مقدمه

کمبود آب و زمین‌های زراعی قابل‌کشت و افزایش جمعیت دنیا، محققین را به یافتن روش‌هایی برای بالابردن تولید در واحد سطح سوق داده است تا بتوانند امنیت غذایی را برقرار کنند. یکی از این روش‌ها، استفاده از گلخانه‌ها می‌باشد که هم اکنون تقریباً ۲۰۰۰۰ هکتار گلخانه در ایران ساخته شده است. پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که سطح حال حاضر گلخانه‌ها در افق توسعه‌ای کشور تا سال ۱۴۰۴ به میزان ۵۸۰۰۰ هکتار برسد (۴). مناطقی که در آنها به دلیل نامناسب‌بودن شرایط اقلیمی و دشوار بودن عملیات کشاورزی، امکان کشت و کار وجود ندارد، با استفاده از تکنولوژی گلخانه‌ای امکان فراهم‌شدن فصل رشد و تولید محصول تحقق می‌یابد (۲۷).

قابل‌کشت کشت محصولات در شرایط گلخانه‌ای با توجه به امکان تولید در خارج از فصل متداول در فضای باز و استفاده از کودهای شیمیایی از مصرف بالای انرژی برخوردار است که این امر موجب شده است که در سراسر جهان به عنوان یکی از فشرده‌ترین نظام‌های تولید کشاورزی به شمار می‌رود (۱۶). تحولی که در روش‌های کشاورزی با هدف بالا بردن میزان تولید و تولید محصولات تازه خارج فصل به وجود آمده است، سبب اثرات زیان‌بار زیست‌محیطی فراوانی چون استفاده زیاد منابع انرژی تجدیدناپذیر، از بین رفتن تنوع زیستی، آلوده شدن محیط زیست به‌وسیله کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر و همچنین سموم دفع آفات گردیده است. تولید محصول در نظام‌های گلخانه‌ای وابسته به منابع انرژی تجدیدپذیر محیطی رایگان و نهاده‌های تجدیدپذیر غیررایگان همچون سوخت فسیلی، نیروی الکتریسیته، ماشین‌آلات، انواع کود، سموم و آفت‌کش‌ها می‌باشد (۱۶). ارزیابی امرژی (Emergy) اولین بار توسط Odum در سال ۱۹۸۷ مطرح شد. در ارزیابی امرژی با توجه به اینکه هم نهاده‌های اقتصادی و هم نهاده‌های محیطی در نظر گرفته می‌شوند، نسبت به روش‌های ارزیابی رایج مانند ارزیابی چرخه حیات، ارزیابی ردپای اکولوژیکی و ارزیابی جریان انرژی، روش مناسبی است. در این روش جهت ارزیابی از معادل انرژی خورشیدی مستقیم و غیرمستقیم مورد نیاز برای تولید یک محصول یا خدمت استفاده می‌شود (۴۲). از تحلیل امرژی برای ارزیابی بوم‌نظام‌های کشاورزی بیش از سی سال است که استفاده می‌شود (۶). نکته حائز اهمیت این است که در فرآیند تولید محصولات گلخانه‌ای سهم نهاده‌ای طبیعی تجدیدپذیر رایگان به طور کامل شناخته شده نیست. کل تولید محصولات گلخانه‌ای استان سیستان و بلوچستان بیش از ۶۵ هزار تن است که بخشی از آن به خارج کشور صادر می‌شود. ۹۰ درصد از فضای گلخانه‌ای سیستان و بلوچستان زیر کشت محصولاتی نظیر گوجه‌فرنگی، خیار، بادمجان، توت‌فرنگی، فلفل، کدو و سبزیجات برگی است. ۷۰ درصد تولید محصولات گلخانه‌ای استان سیستان و بلوچستان گوجه‌فرنگی و خیار است. در منطقه سیستان سالانه ۵ هزار تن محصولات گلخانه‌ای که عمدتاً گوجه‌فرنگی و خیار است تولید و روانه بازار مصرف می‌شود (۲).

با استفاده از تحلیل امرژی می‌توان نسبت به مدیریت تولید محصولات گلخانه‌ای رویکرد جدیدی ایجاد و در مورد پایداری اکولوژیکی به اطلاعات مفیدی دست پیدا کرد. در این پژوهش با استفاده از رهیافت امرژی تولید محصولات گلخانه‌ای اصلی منطقه سیستان از لحاظ پایداری اکولوژیکی مورد سنجش قرار می‌گیرند. از جمله اهداف این مطالعه می‌توان به (۱): استفاده از شاخص‌های امرژی جهت سنجش بازده بوم‌نظام‌های گلخانه‌ای و (۲): تحلیل ساختمان سرمایه‌گذاری امرژی اشاره کرد.

مواد و روش‌ها

معرفی محل پژوهش

این مطالعه در دو بوم نظام گلخانه‌ای تولید خیار با نام علمی (*Cucumis sativus L.*) و گوجه‌فرنگی با نام علمی (*Solanum lycopersicum L.*) شهرستان زابل اجرا شد. شهرستان زابل یکی از شهرستان‌های استان سیستان و بلوچستان در جنوب شرقی ایران است. مرکز این شهرستان شهر زابل است. شهرستان زابل دارای اقلیم بیابانی گرم و خشک است.

میانگین بارش سالانه در این شهرستان ۶/۵۹ میلی متر و دمای آن در سال از ۵/۹- تا ۴۹ درجه سانتی‌گراد متغیر است. شهرستان زابل از شمال و شرق به شهرستان هیرمند، از شرق و جنوب به شهرستان هامون و زهک و از غرب به شهرستان نیمروز محدود می‌شود. جمعیت شهرستان زابل ۱۶۵۶۶۶ نفر است. محصولات گلخانه‌ای عمده در این منطقه شامل خیار و گوجه‌فرنگی است (۴۲).

جمع‌آوری داده‌ها

داده‌ها با استفاده از پرسشنامه از تولیدکنندگان جمع‌آوری شد. در ۲۲ روستا که سطح تولیدات محصولات گلخانه‌ای آنها قابل توجه بود این بررسی انجام شد. ۲۷۷ تولیدکننده به صورت تصادفی از روستاها با روش نمونه‌گیری تصادفی ساده انتخاب شدند.

از روش Neyman برای نمونه‌گیری تصادفی از گلخانه‌ها استفاده شد (۴۸):

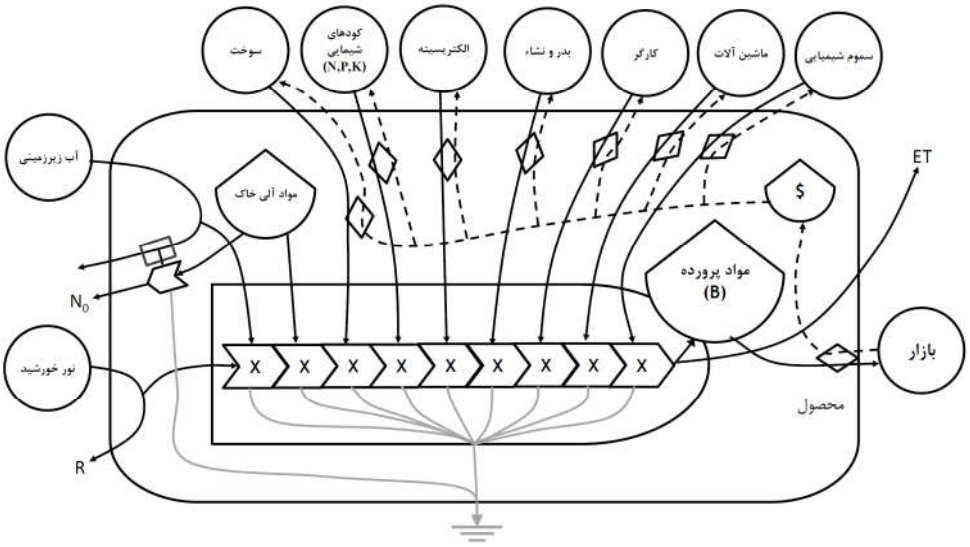
$$n = \frac{\sum N_h S_h}{N^2 D^2 + \sum N_h S_h^2} \qquad (۱)$$

که n اندازه نمونه مورد نیاز، N_h تعداد تولیدکنندگان محصولات گلخانه‌ای در طبقه h، S_h انحراف استاندارد در طبقه h، S_h^2 واریانس طبقه h است. D2 = d2/z2 که در آن d دقت و z ضریب اطمینان (۱/۹۶ که ۹۵٪ قابلیت اطمینان را نشان می‌دهد) است. برای این مطالعه ۱۶۶ نمونه برای خیار و ۱۱۱ نمونه برای گوجه‌فرنگی انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند.

داده‌ها و اطلاعات هواشناسی از ایستگاه هواشناسی زابل تهیه شد. جریان انرژی ورودی سالانه به شکل تأسیسات ساختاری، ساختمان‌ها، ماشین‌آلات و مواد مورد استفاده در نظام‌ها با توجه به طول عمر خدمات آنها برآورد شد (۴۵). با استناد به نتایج (۶)، طول عمر مفید برای پوشش پلاستیکی گلخانه یک دوره تولید ۸ تا ۱۱ ماه ، ماشین‌آلات ۲۵ سال و ساختمان‌ها ۴۰ سال در نظر گرفته شد. در راستای آسان شدن برآورد و مقایسه، نهاده‌ها و خروجی‌ها برای مساحت ۱۰۰۰ متر مربع برای هر بوم‌نظام استاندارد شدند. ضریب انتقال نور خورشید به گلخانه با توجه به پژوهش‌های پیشین، ۰/۸۱۶ تخمین زده شد (۴۵).

روش تحلیل امرژی

پژوهشگران مختلف با تحلیل امرژی تلاش کرده اند رابطه‌ای بین اقتصاد و محیط‌زیست برقرار کنند. به میزان انرژی و یا اگزرژی (Exergy) خورشیدی در دسترس که به صورت مستقیم یا غیرمستقیم در فرآیند تولید محصولات، کالاها و خدمات مصرف می‌شود، اصطلاحا امرژی گفته می‌شود. امرژی معمولاً با واحد امژول خورشیدی (Solar emjoules) بیان می‌شود و در منابع مختلف تحت عناوینی نظیر حافظه انرژی یا انرژی مجسم هم آمده است. با کمک گرفتن از تحلیل امرژی می‌توان پایداری یک نظام را به شکل همه جانبه مورد واکاری قرار داد، برای این منظور در این شیوه تحلیل کلیه جریانات و منابع طبیعی و اقتصادی به واحد ام-ژول خورشیدی تبدیل می‌شوند، تئوری‌های مرتبط با نظام‌های اکولوژیک و انرژی، بنیان‌های نظری و مفهومی رویکرد تحلیل امرژی را تشکیل می‌دهند(۳۹). خصوصیات روند ارزیابی امرژی به‌وسیله تعدادی از پژوهشگران معرفی شده است (۸، ۳۹ و۴۴). قدم اول، تعیین قلمرو دو نظام مورد مطالعه از نظر مکان و زمان و رسم نمودار انرژی جهت دسته‌بندی ورودی نظام‌های تحت بررسی به منابع تجدیدپذیر یا تجدیدناپذیر، محلی یا وارداتی می‌باشد. این امر جهت ارتباط اجزای مهم و روند سودده بوم‌نظام الزامی می‌باشد. از طرفی نشان‌دهنده اساس روابط زیست‌محیطی بوم‌نظام‌ها است. شکل ۱ نمودار زبان مفهومی نظام‌های انرژی عمومی در نظام‌های گلخانه‌ای مورد بررسی را نشان می‌دهد. زبان نظام‌های انرژی یک زبان نمادین برای مدل‌سازی است، این زبان خصوصیات شبکه‌ای نظام‌ها را نشان می‌دهد (۳۹). دومین گام برای تحلیل امرژی، ترسیم جداول ارزیابی امرژی است.



شکل ۱. دیاگرام جریان انرژی نظام‌های تولید گلخانه‌ای در منطقه سیستان

R: نهاده‌های تجدیدپذیر رایگان،N_0: نهاده‌هایی رایگانی که تجدیدپذیرند، اما در شرایطی مصرف می شوند که امکان بازسازی آن‌ها نیست،ET: تلفات آب از طریق تبخیر و تعرق ار نظام کشاورزی

برای ارزیابی بوم‌نظام‌های تولید، منابع در چهار بخش قرار می‌گیرند (۳۲): منابع محیطی تجدیدپذیر (Renewable environmental resources, R) شامل: نور خورشید و تبخیر و تعرق؛ منابع محیطی تجدیدناپذیر (Emergy yield ratio, N) شامل: آب زیرزمینی؛ منابع خریداری شده تجدیدپذیر(Renewable flows from purchased resources, FR) ، شامل: ۸۰٪ کود آلی، ۴۳٪ نشاء، ۱۰٪ نیروی کارگری و ۱٪ الکتریسیته؛ منابع خریداری شده تجدیدناپذیر (Non-renewable purchased flows, FN)، شامل: پلاستیک (نایلون)، ۹۰٪ نیروی کارگری، ماشین‌آلات کشاورزی، سوخت فسیلی، کودها و سموم شیمیایی، ۹۹٪ الکتریسیته، نخ (نایلون)، ۵۷٪ نشاء و ۲۰٪ کود آلی (۸)؛ خروجی بوم‌نظام‌ها شامل محصول تازه‌ی خیار و گوجه‌فرنگی بود. بعد از برآورد همه جریان‌های ورودی(Total emergy input rate, U) و خروجی(Yield, Y)، داده‌های خام برای هر دو بوم‌نظام خیار و گوجه‌فرنگی، بر اساس ژول و گرم در ضرایب تبدیل (Transformities) آن‌ها ضرب شد (۱۵و ۳۲). با نگرش به وضعیت ایران، ضریب تبدیل برای برق، به تحقیق اصغری‌پور و همکاران (۶) استناد شد. جهت سنجش زیست‌محیطی و اقتصادی در تحلیل به روش امرژی از شاخص‌های امرژی بهره می‌برند (۳۱ و ۳۲). در این پژوهش از شاخص‌های ضریب تبدیل(Transformity,Tr)، درصد تجدیدپذیری امرژی(Renewable Emergy Ratio, R%)، نسبت عملکرد امرژی(Emergy yield ratio, EYR) ، نسبت بار محیط زیستی (Environmental Loading Ratio, ELR) و نسخه اصلاح شده(Environmental Loading Ratio, ELR*)، شاخص پایداری محیط زیست(Environmental Sustainability Index, ESI) و نسخه اصلاح شده (Environmental Sustainability Index, ESI*) و نسبت سرمایه‌گذار امرژی (Emergy Investment Ratio, EIR) و نسخه اصلاح شده (Emergy Investment Ratio, EIR*)، استفاده شد. مشخصات و رابطه شاخص‌های امرژی مورداستفاده در این مطالعه در جدول ۱ آمده است.

تحلیل اقتصادی

به‌منظور تحلیل شرایط اقتصادی نظام‌های مورد بررسی، برخی

جدول ۱. مشخصات و فرمول شاخص‌های مبتنی بر امرژی مورد استفاده برای تحلیل پایداری نظام‌های تولیدی

شاخص		خصوصیات
ورودی‌های تجدید پذیر از منابع رایگان	R	جریان‌های محیطی تجدید پذیر
ورودی‌های رایگان محیطی تجدید ناپذیر	N	جریان‌های تجدید ناپذیر از منابع محلی رایگان
ورودی‌های بازاری تجدید پذیر	FR	جریان‌های تجدید پذیر از منابع بازاری
ورودی‌های بازاری تجدید ناپذیر	FN	جریان‌های تجدید ناپذیر از منابع بازاری
ورودی امرژی کل	U=R+N+FR+FN	کل منابع امرژی موردنیاز برای حمایت از نظام تولید
ضریب تبدیل	Tr = U/AE	مقدار امرژی موردنیاز برای تولید یک واحد خروجی برحسب ژول، AE محتوای انرژی محصول است.
تجدید پذیری امرژی	%R= (R+FR/U) ×100	درصد امرژی تجدید پذیر استفاده‌شده توسط نظام
نسبت عملکرد امرژی	EYR=Y/FR+FN	مقیاس استفاده از منابع محیطی با سرمایه‌گذاری در منابع اقتصادی
نسبت سرمایه گزاری امرژی	EIR=(FR+FN)/(R+N)	EIR نسبت منابع انرژی خریداری‌شده از خارج به‌کل انرژی محیطی رایگان در نظام
نسبت بار زیست‌محیطی استاندارد	ELR=(N+FN+ FR)/ R	فشار محیطی ایجادشده توسط یک نظام
نسبت بار زیست‌محیطی اصلاح‌شده	(ELR*= (N+FN)/ FR+ R)	مقیاس اندازه‌گیری پایداری
شاخص پایداری محیط	ESI=EYR/ELR	وابستگی خروجی نظام به محیط، هرچه این مقدار بیشتر باشد، پایداری نظام قوی‌تر است.
شاخص پایداری محیط اصلاح‌شده	ESI*= (EYR/ELR*)	شاخص پایداری متناوب که بر استفاده از منابع تجدید پذیر توأم با حداقل فشار وارده بر محیط‌زیست متمرکز است.

از شاخص‌های اقتصادی شامل درآمد ناخالص، درآمد خالص، کل هزینه‌های تولید، و نسبت سود به هزینه برای دو بوم‌نظام تولید خیار و گوجه فرنگی محاسبه شد (۶).

$$NR = GVP - TCP \quad (۲)$$

$$GVP = CY \times CP \quad (۳)$$

$$TCP = VCP - FCP \quad (۴)$$

$$B\ to\ C = \frac{GVP}{TCP} \quad (۵)$$

که در این روابط درآمد خالص (Net revenue, NR) ، ارزش ناخالص تولید (Gross production value, GVP)، هزینه‌های تولید بر حسب میلیون تومان در هکتار (Total cost production, TCP)، عملکرد محصول زراعی بر حسب کیلوگرم در هکتار (Crop yield, CY)، قیمت محصول برحسب تومان در کیلوگرم (Cost production, CP) و نسبت سود به هزینه (Benefit to cost, B to C) است.

نتایج و بحث

ساختار استفاده از امرژی

جدول ۲ جریان ورودی‌های محیطی رایگان و خریداری‌شده بر اساس واحدهای فیزیکی برای دو بوم‌نظام تولید خیار و گوجه‌فرنگی را نشان می‌دهد. تمام ورودی‌های این جدول با استفاده از ضرب شدن در ضرایب تبدیل اقتباس شده از مطالعات پیشین پس از بررسی قابلیت تعمیم برای شرایط مطالعه، به جریان امرژی تبدیل شد (جدول ۳). ورودی امرژی

جدول ۲. جریان‌های طبیعی و اقتصادی نظام‌های تولید محصولات گلخانه‌ای منطقه سیستان (واحد ۵۴۰ مترمربع)

	واحد	تجدیدپذیری	خیار	گوجه‌فرنگی	ضریب تبدیل	منبع
ورودی محیطی تجدیدپذیر						
انرژی خورشیدی	J	۱	$۲/۶۶\times۱۰^{۱۲}$	$۲/۱۵\times۱۰^{۱۲}$	$۱/۰۰\times۱۰^{۰}$	تعریف امرژی
ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر						
آب‌های زیر زمینی	J		$۴/۹۸\times۱۰^{۹}$	$۲/۹۸\times۱۰^{۹}$	$۱/۹۲\times۱۰^{۵}$	Buenfil, 2001
نهاده‌های خریداری شده						
پوشش پلاستیک	g	۰	$۲/۵۰\times۱۰^{۵}$	$۲/۵۰\times۱۰^{۵}$	$۴/۱۹\times۱۰^{۹}$	Odum, 2002
نیروی کار	J	۰/۱	$۱/۸۰\times۱۰^{۹}$	$۲/۳۵\times۱۰^{۹}$	$۲/۲۲\times۱۰^{۶}$	Lu et al., 2009
ماشین‌آلات	J	۰	$۴/۲۸\times۱۰^{۲}$	$۴/۲۸\times۱۰^{۲}$	$۱/۰۱\times۱۰^{۱۰}$	Campbell et al., 2005
سوخت فسیلی و روغن	g	۰	$۳/۸۸\times۱۰^{۸}$	$۳/۸۸\times۱۰^{۸}$	$۸/۶۰\times۱۰^{۴}$	Odum, 1996
کود نیتروژن	g	۰	$۴/۸۹\times۱۰^{۴}$	$۴/۷۵\times۱۰^{۴}$	$۳/۰۹\times۱۰^{۱۰}$	Brandt-Williams, 2002
کود فسفر	g	۰	$۹/۷۵\times۱۰^{۴}$	$۹/۲۱\times۱۰^{۴}$	$۲/۸۲\times۱۰^{۱۰}$	Brandt-Williams, 2002
کود پتاسیم	g	۰	$۹/۴۶\times۱۰^{۴}$	$۸/۹۰\times۱۰^{۴}$	$۲/۲۳\times۱۰^{۹}$	Brandt-Williams, 2002
کود میکرو	g	۰	$۱/۲۰\times۱۰^{۴}$	$۱/۲۰\times۱۰^{۴}$	$۳/۹۱\times۱۰^{۹}$	Lan et al., 2002
کود دامی	g	۰/۲	$۱/۵۰\times۱۰^{۶}$	$۱/۵۰\times۱۰^{۶}$	$۲/۹۶\times۱۰^{۸}$	Odum, 1996
آفت‌کش و علف کش	g	۰	$۵/۱۰\times۱۰^{۳}$	$۴/۲۰\times۱۰^{۳}$	$۶/۳۰\times۱۰^{۱۰}$	Maccanti et al., (man.)
الکتریسیته	kWh	۰/۰۴	$۴/۳۳\times۱۰^{۸}$	$۴/۰۵\times۱۰^{۸}$	$۲/۳۱\times۱۰^{۵}$	Amiri et al., 2019
نخ	g	۰	$۶/۹۰\times۱۰^{۳}$	$۷/۴۰\times۱۰^{۳}$	$۱/۰۹\times۱۰^{۱۰}$	Odum, 2002
بذر	Rial Iran	۰/۱	$۳/۰۰\times۱۰^{۷}$	$۱/۹۲\times۱۰^{۷}$	$۶/۷۶\times۱۰^{۷}$	Asgharipour et al., 2020
سازه	sej	۰	$۲/۶۱\times۱۰^{۱۵}$	$۲/۶۱\times۱۰^{۱۵}$	۱/۰۰	Asgharipour et al., 2020
خروجی						
عملکرد اقتصادی	g		$۱/۰۱\times۱۰^{۷}$	$۷/۲۰\times۱۰^{۶}$		This study
عملکرد اقتصادی	J		$۸/۰۸\times۱۰^{۱۲}$	$۵/۷۶\times۱۰^{۱۲}$		

کل نظام‌های تولید سبزیجات خیار و گوجه‌فرنگی در این مطالعه به ترتیب $۱/۶۱\times۱۰^{۱۶}$ و $۱/۶۰\times۱۰^{۱۶}$ امژول خورشیدی در هکتار تخمین زده شد (جدول ۳). مقایسه مقادیر ورودی امرژی برای دو بوم‌نظام موردمطالعه نشان داد امرژی کل ورودی به نظام تولید خیار بیشتر از امرژی کل ورودی به نظام تولید گوجه‌فرنگی بود. در این مطالعه مصرف بیشتر امرژی در تولید خیار به دلیل دوره رشد طولانی‌تر آن نسبت به بوم‌نظام تولید گوجه‌فرنگی بود. در پژوهشی بر مبنای تولید انرژی زیستی در سرزمین‌های حاشیه‌ای و تخریب شده هند با استفاده از تحلیل امرژی، جریان ورودی به نظام‌های دانه سویا (*Glycine max L.*) $۰/۹۹\times۱۰^{۱۶}$، راش هندی (*Millettia pinnata L.*) $۱/۰۱\times۱۰^{۱۶}$، جاتروفا (*Jatropha L.*) $۱/۳۳\times۱۰^{۱۶}$ و درخت ساج (*Tectona grandis L.*) $۰/۷۲\times۱۰^{۱۶}$ امژول خورشیدی در هکتار گزارش شد (۲۳).

نهاده‌ی محیطی تجدیدپذیر (R)

نهاده‌ی محیطی تجدیدپذیر (R) در دو بوم‌نظام تولید سبزیجات موردمطالعه شامل نورخورشید بود. جریان R برای بوم‌نظام‌های تولید خیار و گوجه‌فرنگی به ترتیب $۲/۶۶\times۱۰^{۱۲}$و $۲/۱۵\times۱۰^{۱۲}$ امژول خورشیدی در هکتار بود (جدول ۳). مقایسه مقادیر نهاده محیطی تجدیدپذیر (R) حاکی از آن است که بوم‌نظام تولید خیار در بهره‌برداری از نهاده تجدیدپذیر محیطی موفق‌تر بود، که دلیل آن را می‌توان در طولانی بودن دوره رشد گیاه خیار نسبت به گیاه گوجه‌فرنگی دانست که

جدول ۳. امرژی تولید محصولات گلخانه‌ای خیار و گوجه‌فرنگی در سیستان (ام‌ژول خورشیدی در هکتار در سال) و سهم هر نهاده

	گوجه‌فرنگی		خیار	
	درصد	امرژی	درصد	امرژی
ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر				
نور خورشید	۰/۰۱٪	۲/۱۵×۱۰^{۱۲}	۰/۰۲٪	۲/۶۶×۱۰^{۱۲}
ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر				
آب‌های زیرزمینی	۳/۵۸٪	۵/۷۲×۱۰^{۱۴}	۵/۹۳٪	۹/۵۶×۱۰^{۱۴}
نهاده‌های خریداری‌شده				
پوشش پلاستیک	۶/۵۶٪	۱/۰۵×۱۰^{۱۵}	۶/۴۹٪	۱/۰۵×۱۰^{۱۵}
نیروی کار	۳۲/۶۵٪	۵/۲۲×۱۰^{۱۵}	۲۴/۷۶٪	۴/۰۰×۱۰^{۱۵}
ماشین‌آلات	۰/۰۳٪	۴/۳۲×۱۰^{۱۲}	۰/۰۳٪	۴/۳۲×۱۰^{۱۲}
سوخت فسیلی و روغن	۰/۲۱٪	۳/۳۴×۱۰^{۱۳}	۰/۲۱٪	۳/۳۴×۱۰^{۱۳}
کود نیتروژن	۹/۱۹٪	۱/۴۷×۱۰^{۱۵}	۹/۳۶٪	۱/۵۱×۱۰^{۱۵}
کود فسفر	۱۶/۲۶٪	۲/۶۰×۱۰^{۱۵}	۱۷/۰۴٪	۲/۷۵×۱۰^{۱۵}
کود پتاسیم	۱/۲۴٪	۱/۹۸×۱۰^{۱۴}	۱/۳۱٪	۲/۱۱×۱۰^{۱۴}
کود میکرو	۰/۲۹٪	۴/۶۹×۱۰^{۱۳}	۰/۲۹٪	۴/۶۹×۱۰^{۱۳}
کود دامی	۲/۷۸٪	۴/۴۴×۱۰^{۱۴}	۲/۷۵٪	۴/۴۴×۱۰^{۱۴}
آفت‌کش و علف‌کش	۱/۶۶٪	۲/۶۵×۱۰^{۱۴}	۱/۹۹٪	۳/۲۱×۱۰^{۱۴}
الکتریسیته	۰/۵۹٪	۹/۳۶×۱۰^{۱۳}	۰/۶۲٪	۱/۰۰×۱۰^{۱۴}
نخ	۰/۵۰٪	۸/۰۷×۱۰^{۱۳}	۰/۴۷٪	۷/۵۲×۱۰^{۱۳}
بذر	۸/۱۲٪	۱/۳۰×۱۰^{۱۵}	۱۲/۵۷٪	۲/۰۳×۱۰^{۱۵}
سازه	۱۶/۳۴٪	۲/۶۱×۱۰^{۱۵}	۱۶/۱۷٪	۲/۶۱×۱۰^{۱۵}
جمع	۱۰۰/۰۰٪	۱/۶۰×۱۰^{۱۶}	۱۰۰/۰۰٪	۱/۶۱×۱۰^{۱۶}

حاصل آن بهره‌مندی بیشتر این بوم‌نظام از انرژی خورشید دانست. به‌طورکلی، استفاده بوم‌نظام‌های گلخانه‌ای از نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر کمتر از بوم‌نظام‌های تولیدی در زمین‌های کشاورزی است. دلیل این امر را می‌توان در اینکه تولید بوم‌نظام‌های گلخانه‌ای به صورت غیرمتداول از زمان کاشت محصول در زمین‌های کشاورزی و محیط محافظت‌شده نسبت به محیط طبیعی است، جستجو کرد. نظام‌های تولید گلخانه از انرژی‌های رایگان (باد، باران و آب‌های جاری) کمتر برخوردارند. در پژوهشی که به بررسی فراهم نمودن انرژی مورد نیاز بوم‌نظام تولید هلو به صورت گلخانه‌ای و فضای باز انجام شد، مشخص شد بوم‌نظام گلخانه‌ای تولید هلو از نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر به نحو مؤثرتری نسبت به بوم‌نظام فضای باز بهره برده است (۴۷).

نهاده‌ی محیطی تجدیدناپذیر (N)

نهاده‌ی تجدیدناپذیر محیطی (N) در دو بوم‌نظام موردمطالعه، آب زیرزمینی بود (جدول ۳). این شاخص برای بوم‌نظام تولید خیار ۹/۵۶×۱۰^{۱۴} امژول خورشیدی در هکتار به دلیل دوره طولانی‌تر تولید، بیشتر از بوم‌نظام تولید گوجه‌فرنگی (۵/۷۲×۱۰^{۱۴} امژول خورشیدی در هکتار) بود. از کل ورودی

امرژی نظام‌ها، قسمت خیلی کمی به ورودی نهاده امرژی تجدیدناپذیر محیطی بوم‌نظام‌های تحت بررسی اختصاص پیدا کرد. نتایج تحقیقات حاکی از این است که استفاده آب در محیط گلخانه جهت تولید محصول نسبت به محیط باز کمتر است (۴۹). زیرا در این بوم‌نظام‌ها با توجه به محیط کنترل‌شده، تولید از فصول گرم سال به فصل‌های معتدل تا سرد منتقل و با کاهش تبخیر و تعرق نیاز آبی گیاهان کم می‌شود. از طرفی در بوم‌نظام‌های تولید گلخانه‌ای از شیوه‌های جدید آبیاری همچون آبیاری به روش قطره‌ای استفاده می‌شود که خود این امر سبب بالارفتن کارایی استفاده از آب در بسیاری از تولیدات کشاورزی است (۴۱).

نهاده‌های ورودی خریداری شده (FN و FR)

مقدار ورودی‌های خریداری شده در بوم‌نظام‌های تولید خیار و گوجه‌فرنگی به ترتیب $۱/۵۲\times۱۰^{۱۶}$ و $۱/۵۴\times۱۰^{۱۶}$ امژول خورشیدی در هکتار بود (جدول ۳). مقایسه منابع خریداری شده در خصوص دو بوم‌نظام مورد بررسی نشان داد که علی‌رغم تفاوت کم در کل امرژی ورودی‌های خریداری شده میان دو بوم‌نظام، ساختار این ورودی‌ها دارای اختلاف‌هایی به ویژه در امرژی ورودی مربوط به نیروی کارگری، انواع مختلف کودها، حشره‌کش‌ها و آفت کش‌ها و همچنین نخ بود. امرژی ورودی مرتبط با نیروی کارگری در مورد بوم‌نظام تولید محصول گوجه‌فرنگی از بوم‌نظام تولید محصول خیار بالاتر بود. اختلاف اساسی در امرژی ورودی مربوط به نیروی کارگری این نظام‌های کشاورزی به عملیات نخ کشی در بحث تولید گوجه‌فرنگی مرتبط است. دلیل این امر حجم رویشی، شاخه‌زنی و حجم و وزن انشعابات کمتر در گیاهی مثل خیار نسبت به گوجه‌فرنگی است. بر اساس نتایج به دست آمده در فرآیند تولید گوجه‌فرنگی ورودی‌های خریداری شده ۹۶/۴۱ درصد کل ورودی‌ها را به خود اختصاص می‌دهد که در مقایسه با خیار سهم بالاتری از ورودی‌های خریداری شده نسبت به کل ورودی‌ها را به خود اختصاص داده است.

شاخص‌های امرژی

برای بارز نمودن بیشتر تمایز بین دو بوم‌نظام تولید سبزیجات از تحلیل شاخص‌های مبتنی بر امرژی استفاده شد. با استفاده از این متغیرها، خصوصیات کارکردی دو بوم‌نظام مورد بررسی شامل: کارایی استفاده از منابع، اثرات محیط‌زیستی، پایداری اکولوژیکی و میزان رقابتی بودن در بازار با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت. وضعیت تولید هر کدام از بوم‌نظام‌ها، با مقایسه مقادیر شاخص‌های امرژی دو بوم‌نظام قابل‌تحلیل است. مقادیر شاخص‌های مبتنی بر امرژی در جدول ۴ ارائه شده است.

ضریب تبدیل (Tr)

شاخص ضریب تبدیل (Tr) متغیری مهم برای برآورد بازده امرژی محصول تولیدی است (۹). مقدار Tr برای دو بوم‌نظام تولید خیار و گوجه‌فرنگی در مطالعه حاضر به ترتیب $۲/۰۰\times۱۰^{۳}$ و $۲/۷۷\times۱۰^{۳}$ امژول خورشیدی در ژول محاسبه شد. با مقایسه مقادیر بدست آمده Trها در دو بوم‌نظام مورد بررسی مشخص شد بازده امرژی در بوم‌نظام تولید گوجه‌فرنگی در مقایسه با بوم‌نظام تولید خیار کمتر است؛ اصلی‌ترین دلیل کمتر بودن بازده امرژی ورودی در بوم‌نظام گوجه‌فرنگی، پایین‌تر بودن تولید اقتصادی در واحد سطح، در مقابل بوم‌نظام تولید خیار می‌باشد. در مطالعات پیشین در ایران، شاخص ضریب تبدیل (Tr) برای محصولات خرما و پسته به ترتیب $۱/۴۷\times۱۰^{۹}$ و $۱/۷۱\times۱۰^{۹}$ امژول خورشیدی در ژول گزارش شده است (۲۸). میزان شاخص ضریب تبدیل در بوم‌نظام‌های بررسی شده در این پژوهش وضعیت مناسبی از نظر بازده امرژی نشان داد.

درصد تجدیدپذیری امرژی (R%)

به‌طورکلی، نظام‌های تولیدی که بخش بیشتری از امرژی ورودی، از منابع تجدیدپذیر تامین می‌شود یا فرآیندهای مرتبط با تولید در این نظام‌ها، از منابع تجدیدپذیر بیشتری استفاده

جدول ۴. شاخص‌های مبتنی بر امرژی تولید محصولات گلخانه‌ای منطقه سیستان

شاخص	واحد	خیار	گوجه‌فرنگی
ضریب تبدیل (Tr)	sej/J	۲/۰۰×۱۰^{۱۳}	۲/۷۷×۱۰^{۱۳}
درصد تجدیدپذیری امرژی (R)	٪	٪۴/۳۴	٪۴/۶۸
نسبت عملکرد امرژی (EYR)		۱/۰۶	۱/۰۴
نسبت بار محیط‌زیستی استاندارد (ELR)		۶۰۶۵/۵۲	۷۴۳۰/۴۴
نسبت بار محیط‌زیستی اصلاح شده (ELR*)		۲۲/۰۶	۲۰/۳۶
شاخص پایداری محیط‌زیست استاندارد (ESI)		۰/۰۰	۰/۰۰
شاخص پایداری محیط‌زیست اصلاح شده (ESI*)		۰/۰۵	۰/۰۵
نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR)		۱۵/۸۳	۲۶/۸۲
نسبت سرمایه‌گذاری امرژی اصلاح شده (EIR*)		۵۷۰۶/۰۶	۷۱۶۴/۳۲

می‌کنند پایدارتر هستند (۳۰). در مطالعه حاضر درصد تجدیدپذیری امرژی بوم‌نظام‌های تولید خیار و گوجه‌فرنگی به ترتیب ۴/۳۴ و ۴/۶۸ درصد محاسبه شد (جدول ۴). با اینکه درصد تجدیدپذیری در دو بوم‌نظام مورد مطالعه تفاوت زیادی نشان نداد اما همین اختلاف اندک بروزیافته بیشتر ناشی از اختلاف در میان امرژی منابع تجدیدپذیر (شامل امرژی نورخورشید) می‌باشد.

دلیل تفاوت جزئی شاخص R% دو بوم‌نظام موردمطالعه، مقادیر جریان ورودی‌های تجدیدپذیر آنها بود که R% حاصل سهم جریان امرژی‌های تجدیدپذیر از کل امرژی ورودی بوم-نظام‌ها است. در دو بوم‌نظام موردمطالعه به مانند عمده مطالعات مرتبط، درصد بالایی از امرژی غیرقابل تجدید به کود شیمیایی بالاخص منابع نیتروژنی اختصاص دارد (۲۶). در دو بوم‌نظام مورد بررسی، بخش زیادی از امرژی غیرقابل تجدید، به امرژی مرتبط با احداث سازه‌های گلخانه مربوط بود (جدول ۳). لذا بهره‌گیری از نهاده‌ها و فناوری‌هایی که به تقلیل امرژی ورودی، بالاخص تقلیل امرژی منابع غیرقابل تجدید در احداث گلخانه‌ها منتهی شود موجبات پایداری بیشتر بوم‌نظام‌های تولید گلخانه‌ای را فراهم آورده و در ارتقاء R% آنها تأثیر عمده‌ای خواهد داشت. اصغری‌پور و همکاران در سال ۲۰۲۰ میزان امرژی تجدید شونده در بوم‌نظام‌های تولید خیار، گوجه‌فرنگی، فلفل دلمه‌ای و بادمجان را به ترتیب ۲۰/۱، ۱۹/۴، ۱۹/۱ و ۱۷/۹ بیان کردند (۶).

نسبت عملکرد امرژی (EYR)

مقدار EYR بیانگر سهم ورودی‌های رایگان به امرژی کل مصرف شده در بوم‌نظام است (۵۳). سطح بالای EYR نشانگر مصرف بالاتر در مقایسه با امرژی سرمایه‌گذاری شده می‌باشد (۲۰). افزایش این شاخص در یک نظام بیانگر وابستگی شدیدتر آن نظام به منابع محیطی در قیاس با منابع خریداری‌شده می‌باشد. شاخص EYR در نظام تولید خیار و گوجه‌فرنگی به ترتیب ۱/۰۶ و ۱/۰۴ بود (جدول ۴). مقدار EYR در بوم‌نظام تولید خیار به مقدار۰/۰۲ درصد بیشتر از بوم‌نظام تولید گوجه‌فرنگی بود. از آنجا که میزان EYR از نسبت تقسیم میزان امرژی کل خروجی یک بوم‌نظام (خریداری شده+رایگان) بر میزان امرژی منابع ورودی (منابع خریداری شده) بدست می‌آید، استفاده بیشتر از ورودی‌های رایگان در یک نظام نظیر نظام تولید خیار به دو علت طولانی بودن دوره رشد در این نظام (تقریبا ۶۰ روز) و بهره‌گیری بیشتر از نور خورشید و نیز ماهیت فیزیولوژیک خیار در ارتباط با تبخیر و تعرق بالاتر این گیاه در مقایسه با گوجه فرنگی بروز می‌یابد. مقایسه EYR دو نظام مورد مطالعه، وابستگی کمتری، به منابع خرید شده در مقایسه با منابع رایگان محیطی در نظام تولید خیار را نشان داد. از آنجا که عمده منابع رایگان محیطی در این نظام‌ها از منابع تجدیدپذیرند، مقادیر حاصله در مورد شاخص EYR به لحاظ ماهوی به شکل

مؤثرتری پایداری بوم‌نظام‌های مورد بررسی را بیان می‌کنند. در پژوهشی در ایران میزان EYR در نظام تولید خیار، گوجه‌فرنگی، فلفل دلمه ای و بادمجان در شرایط گلخانه‌ای به ترتیب ۱/۰۲۵، ۱/۰۱۵، ۱/۰۱۴ و ۱/۰۱۲ گزارش شد (۶). همچنین در پژوهشی دیگر گندم، پیاز، سیر، رازیانه، زیره و سیاه‌دانه به ترتیب ۳/۸۸۷، ۳/۱۱۰، ۲/۰۹۲، ۲/۲۸۱، ۲/۳۲۲ و ۲/۱۰۵ گزارش شد (۳۶).

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

شاخص‌های نسبت بار محیط زیستی استاندارد (ELR) و نسبت بار محیط زیستی اصلاح شده (ELR^*) بیان‌کننده فشار وارده از طرف بوم‌نظام مورد بررسی به محیط است. میزان شاخص ELR در پژوهش حاضر در مورد دو بوم‌نظام تولید خیار و گوجه‌فرنگی به ترتیب ۶۰۶۵/۵۲ و ۷۴۳۰/۴۴ محاسبه شد. همچنین ELR^* برای دو بوم‌نظام تولید خیار و گوجه‌فرنگی به ترتیب ۲۲/۰۶ و ۲۰/۳۶ بود. با توجه به محاسبات انجام شده و مقادیر حاصله در مورد دو شاخص ELR و ELR^*، بوم‌نظام تولید خیار فشار کمتری را به محیط زیست در مقایسه با نظام تولید گلخانه‌ای گوجه‌فرنگی وارد می‌کند. مهمترین علت تفاوت این دو شاخص در بوم‌نظام‌های مورد بررسی، اختلاف قابل توجه این دو بوم‌نظام از نظر شاخص‌های F_N و R می‌باشد. شایان توجه است که علت اختلاف در میزان F_N این دو بوم‌نظام نیز به دلیل بالاتر بودن امرژی ورودی نیروی انسانی در بوم‌نظام گوجه‌فرنگی می‌باشد. در پژوهشی که در ایران صورت گرفت مقدار شاخص ELR در دو نظام تولید باغی پسته و خرما به ترتیب ۱/۸۲ و ۱/۳۱ محاسبه شد که بیانگر فشار کمتر نظام تولید باغی پسته به محیط‌زیست می‌باشد (۲۸)، همچنین مقدار این شاخص در نظام‌های تولید خیار، گوجه‌فرنگی، فلفل دلمه‌ای و بادمجان گلخانه‌ای به ترتیب ۳/۹۸، ۴/۱۵، ۴/۲۴ و ۴/۶۰ گزارش شد (۶).

بالاترین بخش از امرژی ورودی مربوط به منابع خریداری-شده (F_N و F_R) در تولید گلخانه‌ای گوجه‌فرنگی و خیار مربوط به نیروی کار، هزینه تأسیس گلخانه و کودهای نیتروژنه می‌باشد؛ بنابراین با تقلیل هزینه‌های این سه پارامتر می‌توان انتظار داشت شاخص ELR و ELR^* کاهش یافته که پایداری بیشتر بوم‌نظام‌های مذکور نتیجه آن خواهد بود. در صورتی که در یک نظام تولیدی چاره‌ای جز استفاده زیاد از ورودی‌های خرید شده نباشد، با افزایش نسبت FR در برابر FN می‌توان ضمن تنزل مقدار ELR^* پایداری بیشتر آن نظام تولیدی را رقم زد. نتایج تحقیقات نشان داده با کاهش میزان FN نسبت به FR در نظام‌های تولیدی با مدیریت اکولوژیک، می‌توان کاهش ۶ برابری فشار وارده به محیط‌زیست پیرامونی را نسبت به مزارع فاقد این مدیریت انتظار داشت (۱).

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

اصولاً دو متغیر پایداری زیست‌محیطی استاندارد (ESI) و پایداری محیط‌زیست اصلاح شده (ESI^*) بهره‌گیری حداکثری از منابع ورودی بدون هزینه محیطی و در کنار آن کمترین فشار به محیط زیست پیرامون هستند (۳۹). این پارامترها ضمن منعکس کردن میزان اقتصادی بودن یک نظام تولیدی، پایداری آن نظام را نیز نشان می‌دهند. در مطالعه حاضر، شاخص ESI به ترتیب برای بوم‌نظام‌های تولید خیار و گوجه‌فرنگی ۰/۰۰ و ۰/۰۰ محاسبه شد. همچنین مقادیر ESI^* برای بوم‌نظام‌های تولید خیار و گوجه‌فرنگی به ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۰۵ بود (جدول ۴).

بالابودن فشار نظام‌های مختلف تولید کشاورزی بر محیط-زیست جهانی می‌باشد، به عنوان مثال در چین تولید ذرت ESI، ۰/۴۵ تخمین زده شده است (۵۲)، همچنین مقدار این شاخص برای بوم‌نظام‌های تولید خیار، گوجه‌فرنگی، فلفل دلمه‌ای و بادمجان در شرایط گلخانه‌ای به ترتیب ۰/۲۵۸، ۰/۲۴۵، ۰/۲۳۹ و ۰/۲۲۰ گزارش شد (۶). به عنوان یک اصل کلی هر چقدر نظام تولیدی غیراکولوژیک‌تر (غیرارگانیک‌تر)، فشرده‌تر، کم تنوع‌تر و دارای سهم کمتری از N، FR و R باشد، میزان شاخص پایداری در آن کمتر خواهد بود. از آنجا که نظام‌های تولید گلخانه‌ای در

جدول ۵. تحلیل اقتصادی نظام‌های تولید سبزیجات گلخانه‌ای در منطقه سیستان

محصول	عملکرد (کیلوگرم)	قیمت (تومان)	ارزش ناخالص تولید (میلیون تومان)	هزینه تولید (میلیون تومان)	سود (میلیون تومان)	نسبت فایده به هزینه
خیار	۱۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	۱۵۰	۹۰	۶۰	۱/۶۶
گوجه‌فرنگی	۷۵۰۰	۱۵۰۰۰	۱۱۲/۵	۸۸	۲۴/۵	۱/۲۷

نظام‌های کشاورزی فشرده طبقه‌بندی می‌شوند (۲۷)، طبیعی است که میزان شاخص مذکور در مطالعه حاضر بالا باشد.

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

شاخص نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR) از نسبت ورودی‌های خرید شده به ورودی‌های رایگان به دست می‌آید (۴۶). شاخص EIR در دو بوم‌نظام تولید خیار و گوجه‌فرنگی به ترتیب ۱۵/۸۳ و ۲۶/۸۲ محاسبه شد و مقدار شاخص EIR^* در دو بوم¬نظام تولید خیار و گوجه‌فرنگی به ترتیب ۵۷۰۶/۰۶ و ۷۱۶۴/۳۲ بود (جدول ۴). نظام تولید خیار به واسطه دارا بودن میزان نهاده‌های خریداری-شده کمتر مانند نیروی کار در مقایسه با بوم‌نظام گوجه‌فرنگی، دارای قدرت رقابت و مزیت نسبی بیشتری نسبت به این بوم‌نظام بود. میزان این شاخص در بررسی چهار بوم‌نظام خیار، گوجه‌فرنگی، فلفل دلمه‌ای و بادمجان در شرایط گلخانه به ترتیب ۴۰/۵۳، ۶۵/۳۶، ۶۹/۳۵ و ۴۳/۴۳ گزارش شد (۶)، همچنین در پژوهشی که در ارتباط با مقایسه سه نظام تولید محصولات زراعی، مرغ و ماهی در کشور چین صورت گرفت، شاخص نسبت سرمایه‌گذاری در این سه نظام به ترتیب ۳/۹۸، ۴/۶۳ و ۵/۸۷ بدست آمد، که بیانگر کمتر بودن EIR در بوم‌نظام زراعی در مقابل سیستم پرورش فشرده مرغ و ماهی می‌باشد (۲۱).

تحلیل اقتصادی

مجموع هزینه‌های انجام شده برای یک گلخانه ۵۴۰ مترمربعی (بدون احتساب هزینه ساخت گلخانه) خیار و گوجه‌فرنگی در منطقه سیستان به ترتیب ۹۰ و ۸۸ میلیون تومان می‌باشد. میزان عملکرد گلخانه خیار ۱۰۰۰۰ و گوجه‌فرنگی ۷۵۰۰ کیلوگرم در هر دوره برداشت می‌باشد که با در نظر گرفتن قیمت فروش این محصولات، ارزش ناخالص تولید این دو محصول به ترتیب ۱۵۰ و ۱۱۲/۵ میلیون تومان در سال است. و با توجه به هزینه‌های تولید سود حاصل از کشت این محصولات در گلخانه معادل ۶۰ و ۲۴/۵ میلیون تومان در سال به ترتیب برای خیار و گوجه‌فرنگی خواهد بود. با توجه به نتایج حاصل از محاسبه شاخص نسبت فایده به هزینه از آنجایی که مقدار این شاخص بزرگتر از یک است تولید این محصولات دارای توجیه اقتصادی می‌باشد که مقدار این شاخص برای محصول خیار بیشتر از گوجه‌فرنگی می‌باشد بنابراین توجیه‌پذیری این محصول نسبت به گوجه‌فرنگی بیشتر است (جدول ۵).

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، نتایج حاصل از تحلیل امرژی و محاسبه شاخص‌های ترمودینامیکی، حاکی از پایداری نظام تولید خیار در مقایسه با بوم‌نظام تولید گوجه‌فرنگی بود. نتایج مطالعه حاضر نشان داد بوم‌نظام‌های مورد بررسی وضعیت مناسبی از نظر شاخص Tr در مقایسه با نظام‌های باز تولید مزارع و باغات دارند. بیشترین مقدار شاخص Tr مربوط به بوم‌نظام تولید گوجه‌فرنگی با مقدار $۲/۷۷\times۱۰^{۳}$ امژول خورشیدی در ژول و کمترین مقدار شاخص Tr مربوط به بوم‌نظام تولید خیار به میزان $۲/۰۰\times۱۰^{۳}$ محاسبه شد. بالابودن FN در بوم‌نظام تولید گوجه‌فرنگی که ناشی از امرژی بالای نیروی کارگری در این نظام بود، عمدتاً موجب نمایش افت پایداری بوم‌نظام تولید گوجه فرنگی، نسبت به بوم‌نظام تولید خیار شد. به منظور ارتقای پایداری نظام‌های کشت نظیر نظام‌های مورد بررسی در

این مطالعه، توصیه می‌گردد، نظر به سهم زیاد هزینه ورودی در دو بخش نیروی کار در دو بوم‌نظام به ترتیب (۳۴ و ۲۲ درصد) و هزینه ساخت تأسیسات (۱۶ درصد)، با برنامه ریزی دقیق سعی شود استفاده بهینه‌تری از نیروی کار صورت پذیرد، همچنین با استفاده از تکنولوژی‌های نوین و در صورت امکان استفاده از نهاده‌ی بازیافتی تلاش شود تا میزان امرژی ورودی کمتری مصروف ساخت و راه‌اندازی گلخانه‌ها شود. از سوی دیگر با عنایت به تراکم بالا در بوم‌نظام گلخانه‌ای و نیاز به استفاده از منابع خریداری شده، تلاش شود نسبت FR منابع هزینه بر کمتر از FN آنها باشد و در صورت امکان به جای بهره‌گیری از کودهای شیمیایی از جایگزین‌هایی که منشأ آنها قابلیت تجدیدپذیری بیشتر دارند بهره گرفته شود.

سپاسگزاری

این مقاله با حمایت های مالی پژوهشگاه زابل با کد IR-RIOZ-GR-5504 اجرا گردید.

منابع مورد استفاده

1. Agostinho, F., G. Diniz, R. Siche and E. Ortega. 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.
2. Agricultural Department of Sistan and Baluchistan Province, Plan and Program Management 2017. Report on the continuation of the drought crisis in Sistan and Baluchistan province and the measures taken to deal with it. Zahedan, Iran. (In Persian)
3. Anonymous. Year 2016. Iran annual agricultural statistics. Ministry of Agriculture of Iran. Available at: https://www.maj.ir/. Accessed on 23 May 2022, (In Persian)
4. Anonymous. 2018a. Agricultural Statistics of Iran. Available at: https://www.maj.ir/. Accessed on 23 May 2022. (In Persian)
5. Anonymous. 2018b. Greenhouse structures and equipment's, Part 1: Greenhouse structures. ICS: 65.040.30. Iranian National Standard Organization. I.R. of IRAN. (In Persian).
6. Asgharipour, M. R., Z. Amiri and D. E. Campbell. 2020. Evaluation of the sustainability of four greenhouse vegetable production ecosystems based on an analysis of emergy and social characteristics. *Ecological Modelling* 424: 109021.
7. Bastianoni, S., D. E. Campbell, R. Ridolfi and F. M. Pulselli. 2009. The solar transformity of petroleum fuels. *Ecological Modelling* 220: 40–50.
8. Brown, M. T., S. Brandt-Williams, D. Tilley and S. Ulgiati. 2000. Emergy synthesis: an introduction. In Emergy Synthesis: Theory and Applications of the Emergy Methodology.Proceedings from the First Biennial Emergy Analysis Research Conference. Centre for Environmental Policy, Gainesville, Florida USA, pp. 1-14.
9. Brown, M. T. and S. Ulgiati. 1998. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecological Engineering* 9: 51–69.
10. Brown, M. T. and S. Ulgiati. 2004. Energy quality, emergy, and transformity: H.T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems. *Ecological Modelling* 178: 201–213.
11. Campbell, D. E. 1998. Emergy analysis of human carrying capacity and regional sustainability: an example using the state of Maine. *Environmental Monitoring and Assessment* 51: 531-569.
12. Campbell, D. E., S. L. Brandt-Williams and M. E. Meisch. 2005. Environmental accounting using emergy: Evaluation of the state of West Virginia. Narragansett, USA. US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Atlantic Ecology Division. Virginia, USA.
13. Campbell, D. E. and A. S. Garmestani. 2012. An energy systems view of sustainability: Emergy evaluation of the San Luis Basin, Colorado. *Journal of Environmental Management* 95: 72-97.
14. Campbell, D. E. and A. Ohrt. 2009. Environmental accounting using emergy: evaluation of Minnesota. Narragansett, USA: US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Atlantic Ecology Division. United States Environmental Protection Agency (USEPA) Document 600. R-09/002.
15. Canakci, M. U. R. A. D. and I. Akinci. 2006. Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. *Energy* 31 (8-9): 1243-1256.

16. Cao, K., Y. Xu and J. Wang. 2020. Should firms provide online return service for remanufactured products?. *Journal of Cleaner Production* 272: 122641.
17. Cavalett, O., J. F. Queiroz and E. Ortega. 2006. Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. *Ecological Modelling* 193: 205–224.
18. Chen, G. Q., M. M. Jiang, B. Chen, Z. F. Yang and C. Lin. 2006. Emergy analysis of Chinese agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 115: 161–173.
19. Chen, N. C., T. Kalb, N. S. Talekar, J. F. Wang and C. H. Ma. 2002. Suggested cultural practices for eggplant. The World Vegetable Center. Available at: https://worldveg.tind.io/record/39458/. Accessed on 20 March 2023.
20. Cheng, H., C. Chen, S. Wu, Z. A. Mirza and Z. Liu. 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.
21. De Barros, I., J. M. Blazy, G. S. Rodrigues, R. Tournebize and J. P. Cinna. 2009. Emergy evaluation and economic performance of banana cropping systems in Guadeloupe (French West Indies). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 129 (4): 437-449.
22. Edrisi S. A., S. A. Sahiba, B. Chen and P.C. Abhilash. 2022. Emergy-based sustainability analysis of bioenergy production from marginal and degraded lands of India. *Ecological Modelling* 466: 109903.
23. FAO. 2017. Food outlook, Biannual Report on Global Food Markets. Available at http://www.fao.org. Accessed on 9 May 2018.
24. Ghadim, A. K. A. and D. J. Pannell. 2003. *Risk attitudes and risk perceptions of crop producers in Western Australia*. pp113-133. In: B. A. Babcock, R. W. Fraser, and J.N. Lekakis (eds), Risk Management and the Environment: Agriculture in Perspective, Springer, Dordrecht.
25. Ghaley, B. B. and J. R. Porter. 2013. Emergy synthesis of a combined food and energy production system compared to a conventional wheat (*Triticum aestivum*) production system. *Ecological Indicators* 24: 534-542.
26. Mirshekari, S., M. Dahmradeh, M. R. Asgharipour, A.Ghanbari and E. Seyedabadi. 2021. Sustainability assessment of six crop production systems based on emergy and economic analysis in Hirmand city. *Agroecology* 13 (3): 561-539. (In Persian).
27. Gupta, M. J. and P. Chandra. 2002. Effect of greenhouse design parameters on conservation of energy for greenhouse environmental control. *Energy* 27 (8): 777-794.
28. Jafari, M., M. R. Asgharipour, M. Ramroudi, M. Galavi and G. Hadarbadi. 2018. Sustainability assessment of date and pistachio agricultural systems using energy, emergy and economic approaches. *Journal of Cleaner Production* 193: 642-651.
29. Janoudi, A. K. and I. E. Widders. 1993. Water deficits and fruiting affect carbon assimilation and allocation in cucumber plants. *HortScience* 28 (2): 98-98.
30. La Rosa, A. D., G. Siracusa and R. Cavallaro. 2008. Emergy evaluation of Sicilian red orange production. A comparison between organic and conventional farming. *Journal of Cleaner Production* 16 (17): 1907-1914.
31. Lu, H. F., C. J. Cai, X. S. Zeng, D. E. Campbell, S. H. Fan and G. L. Liu. 2018. Bamboo vs. crops: An integrated emergy and economic evaluation of using bamboo to replace crops in south Sichuan province, China. *Journal of Cleaner Production* 177: 464-473.
32. Lu, H. F., W. L. Kang, D. E. Campbell, H. Ren, Y. W. Tan, R. X. Feng, J. T. Luo and F. P. Chen. 2009. Emergy and economic evaluations of four fruit production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. *Ecological Engineering* 35 (12): 1743-1757.
33. Lu, H. F., Y. W. Tan, W. S. Zhang, Y. C. Qiao, D. E. Campbell, L. Zhou and H. Ren. 2017. Integrated emergy and economic evaluation of lotus-root production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. *Journal of Cleaner Production* 158: 367–379.
34. Lynam, J. K. and R. W. Herdt. 1989. Sense and sustainability: sustainability as an objective in international agricultural research. *Agricultural Economics* 3(4): 381-398.
35. Mandal, K. G., K. P. Saha, P. K. Ghosh, K. M. Hati and K. K. Bandyopadhyay. 2002. Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass and Bioenergy* 23 (5): 337-345.
36. Nemecek, T., D. Dubois, O. Huguenin-Elie and G. Gaillard. 2011a. Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. *Agricultural Systems* 104: 217–232.
37. Nicolosi, E., Medina, R. and G. Feola. 2018. Grassroots innovations for sustainability in the United States: a spatial analysis. *Applied Geography* 91: 55-69.
38. Odum, H. T. 1996. Environmental accounting: EMERGY and environmental decision making. John Wiley, New York.
39. Odum, H. T. 2007. Environment, power, and society for the twenty-first century: the hierarchy of energy. Columbia University Press, New York.
40. Ramalan, A. A. and C. U. Nwokeocha. 2000. Effects of furrow irrigation methods, mulching and soil water suction

on the growth, yield and water use efficiency of tomato in the Nigerian Savanna. *Agricultural Water Management* 45 (3): 317-330.
41. Salari Sardi, F. and A. F. Kiyani. 2009. Investigation of the effect of climate on the stability of the physical environment of Zabol city, Conference on Geography and Sustainable Urban Development, Islamic Azad University, Shirvan Branch, Iran. (In Persian)
42. Su, Y., S. He, K. Wang, A. R. Shahtahmassebi, L. Zhang, J. Zhang, M. Zhang and M. Gan. 2020. Quantifying the sustainability of three types of agricultural production in China: an emergy analysis with the integration of environmental pollution. *Journal of Cleaner Production* 252: 119650.
43. Ulgiati, S., H. T. Odum and S. Bastianoni. 1993. Emergy analysis of Italian agricultural system. The role of energy quality and environmental inputs. *Trends in ecological physical chemistry* 187-215.
44. Vassallo, P., S. Bastianoni, I. Beiso, R. Ridolfi and M. Fabiano. 2007. Emergy analysis for the environmental sustainability of an inshore fish farming system. *Ecological Indicators* 7 (2): 290-298.
45. Wang, X., Y. Chen, P. Sui, W. Gao, F. Qin, J. Zhang and X. Wu. 2014. Emergy analysis of grain production systems on large-scale farms in the North China Plain based on LCA. *Agricultural Systems* 128: 66-78.
46. Wei, X. M., B. Chen, Y. H. Qu, C. Lin and G. Q. Chen. 2009. Emergy analysis for four in one peach production system in Beijing. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 14 (3): 946-958.
47. Yamane, T. 1967. Elementary sampling theory. Englewood Cliffs, New Jerse, PrenticeHall.
48. Yildizhan, H. and M. Taki. 2018. Assessment of tomato production process by cumulative exergy consumption approach in greenhouse and open field conditions: case study of Turkey. *Energy* 156: 401-408.
49. Zhang, D. Y., F. L. Ling, L. F. Zhang, S. Q. Yang, X. T. Liu and W. S. Gao. 2005. Emergy analysis of planting system at Gongzhuling County in the main grain production region in Northeast China Plain. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 21 (6): 12-17.
50. Zhang, G. and W. Long. 2010. A key review on emergy analysis and assessment of biomass resources for a sustainable future. *Energy Policy* 38 (6): 2948-2955.
51. Zhang, L. X., B. Song and B. Chen. 2012. Emergy-based analysis of four farming systems: insight into agricultural diversification in rural China. *Journal of Cleaner Production* 28: 33-44.
52. Zhang, L. X., S. Ulgiati, Z. F. Yang and B. Chen. 2011. Emergy evaluation and economic analysis of three wetland fish farming systems in Nansi Lake area, China. *Journal of Environmental Management* 92 (3): 683-694.
53. Zhang, L. X., Z. F. Yang and G. Q. Chen. 2007. Emergy analysis of cropping–grazing system in Inner Mongolia Autonomous Region, China. *Energy Policy* 35 (7): 3843-3855.

Sustainability Assessment of Greenhouse Cucumber and Tomato Production Agroecosystems Based on Emergy and Economic Analysis in Sistan Region

S. Mirshekari[1*], M. R. Asgharipour[2], Z. Ghaffari-Moghadam[3] and S. A. Hashemi[4]

(Received: January 23-2023; Accepted: June 13-2023)

Abstract

Taking the advantage of the emergy approach in estimating the stability of greenhouse systems leads to the use of correct management methods to increase the stability of production in these systems. In this research, two production systems of cucumber and tomato in Sistan region were assessed, using emergy indices. For this purpose, 166 cucumber and 111 tomato greenhouses were selected. The result of measuring 13 indicators showed the relative stability of the cucumber production system to the tomato system. The highest and lowest values of transformity index in tomato and cucumber systems were 2.77×10^3 and 2.00×10^3 (solar MJ per gram), respectively. Physiological characteristics of cucumber such as longer growth period and the greater use of free renewable energies, more production and the effective use of labor, made this system more sustainable, compared to the tomato one. In the tomato production system, the high proportion of purchased non-renewable resources was responsible for unsustainability. In order to increase the sustainability in greenhouse production systems, it is necessary to select plants with a higher capacity in using free environmental energies, capability of a more efficient labor use, and to use of greenhouse structures with the technologies aimed at reducing the inputs and the purchased non-renewable inputs.

Keywords: Environmental load, Environmental monitoring, Energy index, Intensive agriculture, Environmental inputs.

1. Assist. Prof., Department of Agronomy and Plant Breeding, Agriculture Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Iran
2. Prof., Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
3. Assist. Prof. Department of Agricultural Economics, Agriculture Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Iran
4. PhD Student of Agrotechnology-Physiology, Department of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Iran

*: Corresponding Author, Email: Smirshekari@uoz.ac.ir