تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره دوم، پاییز ۱۴۰۲، ص ۴۱۱-۳۹۵

مقاله پژوهشی

ارزیابی اثر اندازه مزرعه بر کارایی مصرف منابع و پایداری تولید سیب زمینی با استفاده از تحلیل امرژی (مطالعه موردی: شهرستان فریمان)

مهسا مصطفوی بابوکانی[۱]، یوسف هاشمی نژاد[۲]، محمد آرمین[۳*]، حمید مروی[۳]، کورش شجاعی نوفرست[۴]

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

۲- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی و علوم دامی سبزوار، سبزوار، ایران

۳- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

۴- بخش تحقیقات علوم زراعی- باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

* مسئول مکاتبه: moh.armin@iau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲ /۰۳/۰۶ **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.376465.1302**

چکیده

با هدف تبیین وضعیت پایداری در مزارع سیب زمینی با سطح زیر کشت مختلف، مطالعه‌ای با استفاده از تحلیل امرژی در شهرستان فریمان در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ انجام شد. جمع‌آوری اطلاعات در نظام‌های مختلف تولید سیب‌زمینی از مزارع کوچک، متوسط و بزرگ (به ترتیب ۳۰، ۱۵ و ۵ مزرعه بر اساس فرمول کوکران) با استفاده از پرسش‌نامه‌ها صورت گرفت. برای محاسبه شاخص‌های امرژی، نهاده‌های مورد استفاده در نظام‌های مورد بررسی به چهار دسته نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر رایگان، نهاده‌های محیطی تجدیدناپذیر رایگان، نهاده‌های غیر رایگان تجدیدپذیر و نهاده‌های غیر رایگان تجدیدناپذیر تقسیم شد و از داده‌های جمع‌آوری شده برای محاسبات شاخص‌های امرژی استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که نظام‌های مختلف تولید سیب‌زمینی تأثیر متفاوتی بر سهم منابع مختلف از امرژی کل دارند. کشت در مزارع کوچک بر عکس مزارع بزرگ کمترین میزان امرژی را برای تولید محصول نیاز داشت. به‌علاوه، کشت در مزارع بزرگ از نظر منابع خریداری‌شده به کشت در مزارع متوسط شباهت بیشتری داشت. از سوی دیگر، مزارع بزرگ بر اساس شاخص نسبت بارگذاری محیطی دارای پایداری تولید بالایی در مقایسه با مزارع کوچک بودند و اختلاف قابل توجه‌ای با مزارع متوسط نداشتند. از آن‌جا که عملکرد اقتصادی مزارع بزرگ بسیار بیشتر از عملکرد اقتصادی مزارع متوسط و کوچک بود، سایر شاخص‌های امرژی به جز تجدیدپذیری در مزارع بزرگ نیز بالاتر از مزارع متوسط و کوچک بود. بر این اساس، کشت در مزارع بزرگ با استفاده از مکانیزاسیون بیشتر در این منطقه سبب بهبود عملکرد به‌همراه حفظ پایداری سیستم تولید شده است.

واژه‌های کلیدی: پایداری زیست‌محیطی، تحلیل سیستم، مساحت مزرعه، منابع طبیعی

مقدمه

ارتباط نزدیکی بین رشد جمعیت و توسعه سریع اقتصادی و استفاده بیش از حد از منابع طبیعی وجود دارد. یکی از اصلی‌ترین مشکلات جوامع بشری در سال‌های آینده مدیریت مصرف انرژی است (Molajou *et al.*, 2021). در بوم‌نظام‌های کشاورزی وابستگی شدیدی به نهاده‌های غیر رایگان مانند تجهیزات مکانیکی، برق، آفت‌کش‌ها، سوخت، کود و ورودی‌های محیطی رایگان مانند نور خورشید، آب، خاک و باد و مواد آلی خاک وجود دارد و در نظام‌های مختلف تولید، برای افزایش پایداری از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود (Fallahinejad and Armin, 2022). برای تجزیه و تحلیل مناسب سیستم‌های کشاورزی باید سهم نهاده‌های زیست‌محیطی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در تولید در نظر گرفته شود. امروزه از تجزیه و تحلیل انرژی، تحلیل امرژی، تحلیل اگزرژی و ارزیابی چرخه حیات که مبتنی بر قوانین ترمودینامیکی می‌باشند و سهم نهاده‌ها و خدمات محیطی در نظام تولیدی بر مبنای واحد معادل را تعریف می‌کنند برای ارزیابی پایداری در اکوسیستم‌های کشاورزی استفاده می‌شود (Hercher-Pasteur *et al.*, 2020). از بین روش‌های مختلف ارزیابی پایداری، تجزیه و تحلیل امرژی که توسط (Odum, 2000) توسعه داده شده مد نظر بسیاری از محققان در سالیان اخیر قرار گرفته است (Amiri *et al.*, 2019; Fallahinejad *et al.*, 2021; Moonilall *et al.*,

2020; Yasini *et al.*, 2020; Zhao *et al.*, 2019). با استفاده از تحلیل امرژی یک بوم نظام، می‌توان تمام ورودی‌های تجدید پذیر و تجدید ناپذیر رایگان، انرژی‌های خریداری‌شده و خدمات را مورد ارزیابی قرارداد و پایداری بوم نظام تولیدی را ازلحاظ مصرف انرژی تبیین کرد، علاوه بر این می‌توان تأثیر محیطزیست و سرمایه‌های طبیعی را از طریق محاسبه ارزش منابع طبیعی و اقتصادی ممکن ساخت. هم‌چنین با کمک تکنیک امرزی می‌توان پایداری سیستم‌ها را کمی سازی نمود (Amiri *et al.*, 2019).

مطالعات متعددی توسط محققان در سراسر جهان با هدف ارزیابی عملکرد سیستم‌های تولید کشاورزی با استفاده از تحلیل امرژی انجام شده است. در بررسی پایداری نظام‌های تولید سیب‌زمینی گزارش شده است برای بوم نظام‌های بهاره سیب‌زمینی ورودی امرژی کل از بوم نظام پاییزه بیشتر است. بیشترین وابستگی به ورودهای محیطی در بوم نظام بهاره مشاهده شده اما در نظام پاییزه سهم ورودی‌های خریداری شده از ورودی‌های محیطی بیشتر بوده است. نظام تولید بهاره پایداری بیشتری از بوم نظام تولید پاییزه سیب‌زمینی داشته است که علت آن استفاده زیاد بوم نظام پاییزه از ورودی‌های خارجی مانند بذر و سوخت‌های فسیلی بود. اما بر اساس شاخص نسبت عملکرد امرژی و نسبت سرمایه‌گذاری امرژی، برتری سطح توسعه اقتصادی در بوم نظام پاییزه از بهاره بیشتر بوده است (Shahhoseini *et al.*, 2020). اگرچه کارایی استفاده از منابع اقتصادی در بوم نظام بهاره بالاتر بود. در بررسی اثر مکانیزاسیون بر پایداری تولید چغندر قند در منطقه جوین سبزوار گزارش شده است با افزایش مکانیزاسیون سهم منابع تجدیدپذیر از امرژی کل کاهش و سهم منابع خریداری شده در کشت چغندرقند افزایش می‌یابد. شاخص پایداری امرژی کشت مکانیزه، در مقایسه با کشت سنتی ۸/۰۲ درصد و در مقایسه با کشت نیمه مکانیزه ۳۸/۷ درصد کاهش می‌یابد. اگرچه با وجود افزایش سهم منابع خریداری‌شده کارایی امرژی در مزارع مکانیزه افزایش و شاخص بارگذاری محیطزیست کاهش می‌یابد اما مکانیزاسیون باعث حفظ بیشتر محیطزیست در مقایسه با کشت سنتی خواهد شد (Fallahinejad and Armin, 2022) . در ارزیابی پایداری مبتنی بر امرژی در پنج بوم‌نظام عمده کشاورزی هیرمند در استان سیستان و بلوچستان پایداری بوم‌شناختی نظام تولید یونجه بیشتر از گندم، جو، هندوانه و خربزه گزارش شده است (Mirshekari *et al.*, 2023). تغییر شاخص‌های امرژی با تغییر الگوی کاشت در منطقه خوشاب سبزوار گزارش شده است. در این بررسی، بوم‌نظام زعفران و چغندرقند بالاترین شاخص پایداری محیطزیست را داشتند(Fallahinejad *et al.*, 2021). در ارزیابی دو سیستم کشت معیشتی و تجاری کلزا در شهرستان خرم‌آباد استان لرستان گزارش شده است که می‌توان پایداری زیست‌محیطی سیستم تولید کلزای تجاری را از طریق بهبود ماده آلی خاک و جلوگیری از تخریب آن افزایش داد (Amiri *et al.*, 2019). در بررسی پایداری نظام‌های تولید سیر، پیاز و گندم در سیستان با استفاده از تکنیک امرژی، گزارش شده است که در تولید سیر کل امرژی حمایت‌کننده بیشتر از پیاز و در پیاز بیشتر از گندم است. در مقایسه با سایر نظام‌ها، در نظام تولید سیر از منابع غیر رایگان بیشتری استفاده شده بود. عملکرد امرژی در تولید گندم ۱۰/۴۳ درصد بیشتر از سیستم تولیدی پیاز و ۳۳/۱۵ درصد کمتر از سیستم تولیدی سیر بود (Yasini *et al.*, 2020). در تحلیل امرژی نظام‌های تولید محصولات زراعی و تلفیقی روستای بلند سیستان نشان داده شده است ادغام محصولات زراعی و دام ضمن کاهش ریسک اقتصادی و افزایش سودآوری، مزایای زیادی برای حفاظت از منابع خاک و آب و بهره‌وری از چرخه مواد مغذی را ایجاد می‌کند و نظام تولید یکپارچه محصولات زراعی-دامی به‌عنوان گزینه مناسب برای تولیدکنندگان جهت تنوع بخشیدن به عملیات کشاورزی جهت جلوگیری از مخاطرات، بهبود تولید اکولوژیکی محصولات و جلوگیری از آسیب‌های محیطی ناشی از فرسایش خاک و ازبین‌رفتن مواد مغذی می‌باشد (Golshani *et al.*, 2022).

سیب‌زمینی با نام علمی (*Solanum tuberosum* L) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی در دنیاست که در سال ۲۰۲۱ پنجمین رتبه تولید بعد از نیشکر، ذرت، برنج، گندم و نخل روغنی را دارا می‌باشد. بر اساس آمار سازمان خواربار جهانی، ایران از لحاظ سطح زیر کشت سیب‌زمینی با حدود ۱۳۱۰۰۰ هکتار هجدهمین کشور دنیا و با تولید حدود ۴۵ میلیون تن نود و چهارمین کشور تولید کننده سیب‌زمینی در سطح جهان است. در همین حال بیست و چهارمین کشور آسیایی از لحاظ تولید و از لحاظ سطح زیر کشت جزو چند کشور اول آسیا است

(Anonymous, 2022). خراسان رضوی سومین تولیدکننده کل محصولات زراعی کشور است، ولی از لحاظ سطح زیر کشت سیب‌زمینی با ۴۴۷۶ هکتار، دوازدهمین استان کشور و از لحاظ میزان تولید با ۱۴۷ هزار تن سیزدهمین استان تولیدکننده سیب‌زمینی کشور می‌باشد. میزان عملکرد سیب‌زمینی در واحد سطح در استان خراسان رضوی حدود ۳۲۷۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد که در مقایسه با میانگین کشوری که حدود ۳۶۹۰۰ کیلوگرم در هکتار است، به‌طور چشم‌گیری کمتر است (Anonymous, 2021). مهم‌ترین دلایل کاهش عملکرد سیب زمینی، عدم استفاده از بذر گواهی شده، تنش خشکی، بافت نامناسب خاک، خاک‌دهی نا مناسب پای بوته و تراکم کم بوته می‌باشد. در تحقیقات انجام شده در بررسی پایداری سیستم‌های تولید با استفاده از تحلیل امرژی تاکنون در مورد تأثیر اندازه مزرعه بر پایداری تولید سیب زمینی مطالعه‌ای انجام نشده است. از این‌رو، در مطالعه حاضر، تأثیر اندازه مزرعه بر پایداری تولید سیب زمینی با استفاده از رویکرد امرژی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش برای ارزیابی اثر اندازه مزرعه بر پایداری تولید سیب‌زمینی با استفاده از تحلیل امرژی اجرا شد. شهرستان فریمان در شرق استان خراسان رضوی با عرض جغرافیایی ´۵۱ °۵۹ و طول جغرافیایی ´۴۲ °۳۵ واقع گردیده است. میانگین درجه حرارت سالیانه در منطقه فریمان ۱۴/۷ درجه سانتی‌گراد، میانگین سالیانه سرعت باد ۳/۲ متر بر ثانیه و مجموع بارش سالانه در حدود ۱۰۰-۱۵۰ میلی‌متر است.

داده‌های مورد نیاز برای این مطالعه با استفاده از پرسش‌نامه چهره‌به‌چهره از کشاورزان جمع‌آوری شد. برای تعیین تعداد نمونه از فرمول کوکران بر اساس رابطه‌های ۱ و ۲ استفاده شد (Ahmad and Halim, 2017).

$$n = \frac{N(s\times t)^2}{(N-1)d^2+(s\times t)^2} \quad (۱)$$

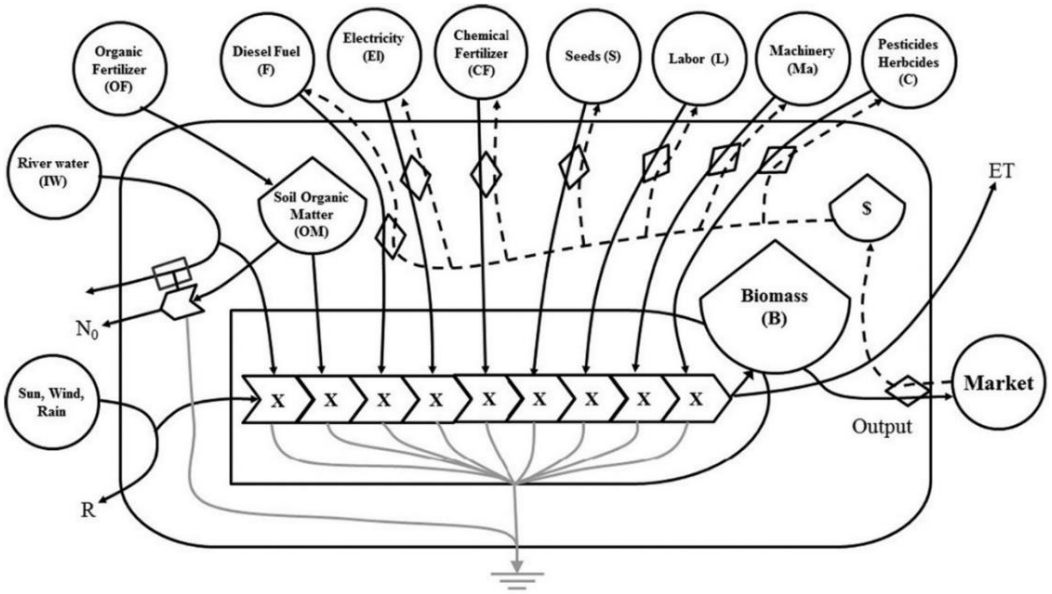
$$d = \frac{t\times s}{\sqrt{n}} \quad (۲)$$

در این معادلات t: ۱/۹۶ (در سطح اطمینان ۹۵ درصد)، s: پیش برآورد انحراف معیار جامعه، d: دقت احتمالی مطلوب، N: حجم جامعه، و n: حجم نمونه است. تعداد مزارع کوچک، متوسط و بزرگ در این مطالعه به ترتیب ۳۰، ۱۵ و ۵ مزرعه بود. نمونه‌های خاک از مکان‌های مورد مطالعه برای ارزیابی نحوه تغییرات کربن آلی برداشت شد. در هر مکان نمونه‌های خاک در مرکز و چهارگوشه هر مزرعه با استفاده از یک اوگر برداشته شده و برای تشکیل یک نمونه مرکب روی هم ریخته شد. نمونه‌های خاک پس از آماده‌سازی 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 اندازه‌گیری شد (Jha *et al.*, 2014). هم‌چنین عملکرد اقتصادی (غده) در هر مزرعه تحقیقاتی اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل امرژی

برای محاسبه شاخص‌های امرژی، ابتدا نهاده‌های محیطی رایگان تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر و نهاده‌های غیر رایگان برای هر نظام تعیین و برای سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اندازه‌گیری و برآورد گردید. از داده‌های جمع‌آوری شده در این دوره زمانی برای محاسبات ساختار امرژی ورودی و محاسبه شاخص‌های امرژی استفاده شد. نهاده‌های مورد استفاده در نظام‌های مورد بررسی به سه دسته نهاده‌های رایگان تجدیدپذیر، نهاده‌های رایگان تجدیدناپذیر و نهاده‌های غیر رایگان تقسیم بندی شد. داده‌های مورد نیاز از پایگاه اطلاعات جهاد کشاورزی، مصاحبه چهره‌به‌چهره با استفاده از پرسش‌نامه و اندازه‌گیری‌های میدانی و مشاهدات محقق در طول دوره مطالعه به‌دست آمد (Amiri *et al.*, 2019; Asgharipour *et al.*, 2018; Fallahinejad and Armin, 2022; Fallahinejad *et al.*, 2021; Shahhoseini *et al.*, 2020; Yasini *et al.*, 2020).

تعریف محدوده مکانی و زمانی نظام، اولین گام برای تحلیل امرژی به حساب می‌آید؛ در ادامه برای تشخیص مؤلفه‌های اصلی نظام، روابط آن‌ها، جریان انرژی و مواد و نهاده‌های اقتصادی، دیاگرام امرژی نمادهای جریان انرژی ترسیم می‌شود. شکل ۱ دیاگرام تجمعی جریان امرژی برای نظام‌های تولیدی را نمایش می‌دهد. این کار برای مدیریت روابط بین اجزای اصلی و فرایندهای سودآور سیستم ضروری است و هم‌چنین پایه‌های زیست‌محیطی اکوسیستم و ارتباط آن‌ها را نمایش می‌دهد.



شکل ۱- دیاگرام جریان امرژی نظام‌های تولید سیب‌زمینی در منطقه فریمان

Figure 1- Emergy flow diagram of potato production systems in Fariman region

مرزهای نظام توسط جعبه مستطیلی شکل، ورودی‌های طبیعی در سمت چپ شکل، ورودی‌های بازاری در قسمت بالای شکل و عملکرد مفید نظام‌های تولیدی در سمت راست شکل نشان داده شده است. برای تجزیه و تحلیل امرژی در نظام‌های تولید و محاسبه شاخص‌های امرژی، ورودی‌ها به چهار نوع تقسیم شدند: نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر رایگان (R)[1]، مانند آفتاب، باران و باد؛ نهاده‌های محیطی تجدیدناپذیر رایگان (N)[2]، مانند فرسایش خاک و منابع مورد استفاده برای فرایند ساخت و ساز خاک؛ نهاده‌های غیر رایگان تجدیدپذیر (FR)[3] مانند آب، بذر، کود آلی که از خارج از نظام خریداری شده‌اند؛ و نهاده‌های غیر رایگان تجدیدناپذیر (FN)[4] نظیر ماشین آلات، کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و سوخت و برق. سایر مطالعات نشان دادند که ۹۰ درصد از نیروی کارگری از منابع غیرقابل‌تجدید حاصل می‌شود و در N قرار می‌گیرد، و ۱۰ درصد از نیروی کارگری از منابع طبیعی تجدیدپذیر به‌دست می‌آید و R می‌باشد(Amiri *et al.*, 2019; Fallahinejad *et al.*, 2022; Fallahinejad *et al.*, 2021; Yasini *et al.*, 2020). برای جلوگیری از شمارش مضاعف، تنها بزرگ‌ترین مقدار منابع طبیعی تجدیدپذیر (خورشید، باد و باران) که با هم پیوند خورده‌اند و محصول مشترک زیست زمین سپهر می‌باشند، برای برآورد کل R در نظر گرفته شدند. داده‌های خام منابع طبیعی تجدیدپذیر، از جمله تابش خورشید، بارش و باد، از ایستگاه هواشناسی فریمان واقع در ۲۵ کیلومتری نظام‌های مورد مطالعه به‌دست آمد. تمام ساختمان‌ها، ماشین‌آلات و مواد مورد استفاده در سیستم‌ها به جریان سالانه بر اساس طول عمر پیش‌بینی شده خود تبدیل شدند. طول عمر ماشین‌آلات ۱۰ سال و برای ساختمان‌ها ۴۰ سال تخمین زده شد (Asgharipour *et al.*, 2018). معادل انرژی نهاده‌ها بر اساس ضرایب تبدیل مربوط تخمین‌زده شد، که از منابع به‌دست آمد (Shahhoseini *et al.*, 2020) محتوای انرژی خروجی‌ها با استفاده از روش توصیف شده ایزو ۱۹۲۸ توسط سوزاندن در بمب کالریمتری تعیین شد.

همه جریان‌های ورودی و خروجی انرژی و مواد برای هر نظام تولیدی محاسبه و این مقادیر با ضرب‌کردن در ضرایب مربوط، به واحد امرژی خورشیدی (sej) تبدیل شدند. ضرایب مربوطه از مطالعات قبلی برآورد شد (Amiri *et al.*, 2019; Asgharipour *et al.*, 2018; Brown and Ulgiati, 2005; Fallahinejad and Armin, 2022; Fallahinejad *et al.*, 2022; Fallahinejad *et al.*, 2021; Lefroy and Rydberg, 2003; Yasini *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2012).

1- Renewable environmental inputs
2- Non-renewable environmental inputs
3- Renewable purchased inputs
4- Non-renewable purchased inputs

جدول ۱- مشخصات و فرمول‌های شاخص‌های امرژی مورد استفاده در ارزیابی سیستم‌های تولید

Table 1- Specifications and formulae of the emergy-based indices used in the evaluation production systems

شاخص‌ها Indices	روابط Formula	مشخصات Specifications
ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental inputs	R	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع محلی رایگان Renewable flows from free local resources
نهاده‌های زیست‌محیطی تجدیدناپذیر Non-renewable environmental inputs	N	جریان‌های بالقوه تجدیدپذیر محلی از منابع محلی آزاد به روشی غیر قابل تجدید استفاده می‌شوند. Local potentially renewable flows from free local resources that are being used in a non-renewable manner
ورودی‌های خریداری شده قابل تجدید Renewable purchased inputs	F_R	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع خریداری شده Renewable flows from purchased resources
ورودی‌های خریداری شده غیر قابل تجدید Non-renewable purchased inputs	F_N	جریان‌های تجدیدناپذیر از منابع خریداری شده Non-renewable flows from purchased resources
عملکرد اقتصادی Economic yield	E	عملکرد غده Tuber yield.
کل ورودی امرژی Total emergy input	$U = R+ N+F_R+F_N$	کل منابع انرژی مورد نیاز برای حمایت از سیستم تولید Total emergy resources required to support the production system
کل خروجی امرژی Total emergy output	$Y = R+N_0+F$	انرژی کل محصولات سیستم Total emergy of system products
ارزش واحد امرژی برای بازده اقتصادی Unit emergy value for economic yield	$UEV_E = U / E$ (sej J^{-1})	مقدار امرژی مورد نیاز برای تولید یک خروجی اقتصادی بر حسب ژول، معیاری برای کارایی سیستم. Amount of emergy required to produce an economic output in joules, a measure of system efficiency.
امرژی ویژه Specific emergy	$SE = U / W$	مقدار امرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد خروجی بر حسب گرم اندازه‌گیری می‌شود. W وزن قابل دسترس محصول است. Amount of emergy required to produce an output unit measured in grams. W is the accessible weight of the product.
تجدیدپذیری امرژی Emergy renewability	$\%R = (R+F_R) / U$	درصد امرژی تجدیدپذیر استفاده شده توسط سیستم Percentage of renewable emergy used by the system
نسبت عملکرد امرژی Emergy yield ratio	$EYR = U / F_R+F_N$	توانایی یک فرایند برای استفاده از منابع محلی تجدیدپذیر و غیر قابل‌تجدید زمانی که منابع اقتصادی از خارج به‌عنوان ورودی سرمایه در سیستم سرمایه‌گذاری می‌شود. Ability of a process to use local renewable and non-renewable resources when economic resources from outside are invested in the system as a capital input.
نسبت بار زیست‌محیطی Environmental loading ratio	$ELR = (N+F_R+F_N) / R$	نسبت امرژی خریداری شده و تجدیدناپذیر مورد استفاده به نهاده‌های تجدیدپذیر از یک منطقه تولید معادل در محیط محلی. این شاخص معیاری برای بارگذاری تولید در محیط محلی است. The ratio of purchased and non-renewable emergy used to the renewable inputs from an equivalent production area in the local environment. This index is a measure of production loading on the local environment.
نسبت بار زیست‌محیطی اصلاح شده Modified environmental loading ratio	$ELR^* = (N+F_N) / (R+F_R)$	نسبت انرژی‌های تجدیدناپذیر به انرژی‌های تجدیدپذیر مورد استفاده در سیستم. *ELR معیار معکوس پایداری سیستم است. The ratio of non-renewable emergy to renewable emergy used by the system. ELR* is an inverse measure of the sustainability of the system.
شاخص پایداری امرژی استاندارد Emergy sustainability ratio	$ESI = EYR / ELR$	نسبت بازده سیستم به ازای واحد ورودی خریداری شده به کل بارگذاری در سیستم محلی. سیستم‌هایی با بازده بالاتر و نهاده ورودی کمتر پایدارتر هستند. The ratio of system yield per unit of purchased input to the total loading on the local system. Systems with higher yields and lower loadings are more sustainable.
شاخص پایداری امرژی اصلاح شده Modified emergy sustainability ratio	$ESI^* = EYR / ELR^*$	این شاخص بازده سیستم را در رابطه با معیار معکوس پایداری سیستم (*ELR)، نشان می‌دهد. سیستمی با *ESI بالاتر پایدارتر است. This index shows the system yield in relation to an inverse measure of system sustainability, ELR*. A system with a higher ESI* is more sustainable.
نسبت سرمایه‌گذاری امرژی Emergy investment ratio	$EIR = (F_N+F_R) / (R+N)$	نسبت سرمایه‌گذاری امرژی خریداری‌شده به آزاد نشان‌دهنده شدت سرمایه‌گذاری اقتصادی و تطبیق آن با منابع رایگان تجدیدپذیر و غیر قابل تجدید محیط محلی است. The ratio of purchased to free emergy indicates the intensity of economic investment and its matching to the free renewable and non-renewable resources of the local environment.
نسبت سرمایه‌گذاری امرژی اصلاح شده Modified emergy investment ratio	$EIR^* = (FN + FR) / R$	نسبت منابع خریداری‌شده به منابع زیست‌محیطی تجدیدپذیر. The ratio of purchased resources to renewable environmental resources, alone.

شاخص‌های مبتنی بر امرژی متعددی برای ارزیابی وضعیت محیطی، بوم‌شناختی و اقتصادی نظام‌ها به کار رفته است (Brown and Ulgiati, 2005; Odum *et al.*, 2000; Odum, 1996) در این مطالعه، چگالی امرژی[1](ED)، نسبت تبدیل امرژی[2] (Tr)، نسبت عملکرد امرژی[3](EYR)، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی[4](EIR)، نسبت بارگذاری محیطی[5](ELR) و شاخص پایداری امرژی[6] (ESI) و کسر تجدیدپذیری[7](R%) که به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان قابل اعتمادترین شاخص‌ها برای ارزیابی امرژی اکوسیستم شناخته شده‌اند برای مقایسه سه نظام به کار گرفته شد (Nadalini *et al.*, 2021). فرمول و روش محاسبه این شاخص‌ها که برای ارزیابی رفتار نظام‌های مورد مطالعه به کار رفته‌اند در جدول ۱ توصیف شده است.

نتایج و بحث

تحلیل امرژی و ساختار نهاده‌های امرژی

کل امرژی حمایت کننده نظام‌های تولید در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب $۴/۲۱\times۱۰^{۱۶}$، $۵/۳۱\times۱۰^{۱۶}$ و $۵/۷۸\times۱۰^{۱۶}$ ام ژول خورشیدی در هکتار در سال بود. بدین ترتیب در مزارع بزرگ تقریباً ۳۷/۲ درصد بیشتر از مزارع کوچک و ۸/۹۲ درصد بیشتر از مزارع متوسط امرژی مصرف شده است. از عوامل مؤثر در مصرف بیشتر امرژی در نظام تولید در مزارع بزرگ نیاز بیشتر به استفاده از ماشین‌آلات، مصرف بیشتر کودهای آلی و مصرف سوخت نسبت به نظام‌های تولید در مزارع کوچک و متوسط بود.

نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدپذیر (R)

در میان نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر در هر سه نظام امرژی باران بیشترین مقدار را دارا بود. برای اجتناب از شمارش مضاعف امرژی باران به اضافه انرژی خورشید مورد استفاده در فتوسنتز به‌عنوان کل امرژی رایگان محیطی تجدیدپذیر در نظر گرفته شد. مقدار نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر برای نظام‌های تولید در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب ۱/۴۲، ۱/۱۳ و ۱/۰۴ درصد از کل امرژی‌های ورودی بود (جدول ۲). سهم کمتر منابع خریداری شده در سیستم کشت سنتی در مقایسه با دو سیستم کشت مکانیزه و نیمه‌مکانیزه چغندر قند در منطقه جوین سبزوار به دلیل بیشتر بودن سهم منابع قابل تجدید محیطی بوده است (Fallahinejad *et al.*, 2021). در پنج سیستم مختلف تغذیه‌ای ذرت نشان داده شد که منابع قابل تجدید محیطی مورد استفاده در همه سیستم‌های کشت تقریباً مشابه بود. اگرچه در سیستم‌های تغذیه‌ای که در آن‌ها بیوچار استفاده شده بود به‌دلیل استفاده از نیروی انسانی بیشتر و مواد تجدیدپذیری که در تولید بیوچار استفاده می‌شود سهم منابع قابل تجدید محیطی مورد استفاده بیشتر بود (Moonilall *et al.*, 2020). اعتقاد بر این است انجام فعالیت‌های به‌زراعی مناسب مانند استفاده از ارقام با طول فصل رشد بیشتر و انتخاب تاریخ کاشت مناسب سبب می‌شود که حداکثر استفاده از منابع محیطی انجام شود (Fatima *et al.*, 2020).

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 ۶۰/۲۵، ۸۰/۸۳ و ۷۱/۲۷ درصد برای سه نظام تولید در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ). هم‌چنین تفاوت اصلی میان نظام‌های تولید در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ در استفاده از نهاده‌های غیر رایگان بود که برای نظام‌های تولید در مزارع متوسط ۶۸/۹۹ بیشتر از نظام‌های تولید در مزارع کوچک و تنها ۴/۱۲ درصد بیشتر از نظام‌های تولید در مزارع بزرگ بود (جدول ۳). این تفاوت نشان‌دهنده سطح بالاتر مصرف نهاده‌ها در نظام تولید در مزارع متوسط و بزرگ است. سهم زیاد نهاده‌های غیر رایگان که معمولاً از خارج نظام وارد می‌شود، نشان می‌دهد که هر سه نظام مورد مطالعه، نظام‌هایی باز می‌باشند که به شدت تحت تأثیر ورودی‌های خریداری شده از اقتصاد قرار می‌گیرند.

در بین نهاده‌های خریداری شده در نظام تولید در مزارع کوچک، کود آلی بیشترین سهم (۲۹/۹۶ درصد) را داشت و پس از آن کود فسفر (۱۰/۴ درصد)، کود پتاس (۶/۶۹ درصد)، کود نیتروژن (۵/۱۵ درصد) و بذر (۴/۱۴ درصد) بیشترین سهم را داشتند.

1- Emergy density
2- Transformity
3- Emergy yield ratio
4- Emergy Investment Ratio
5- Environmental Loading Ratio
6- Emergy Sustainability Index
7- Renewable fraction

جدول ۲- جریان‌های طبیعی و اقتصادی سیب زمینی در سیستم‌های مختلف تولید (واحد در هکتار).

واحد، ضریب تجدیدپذیری (کسر انرژی تجدیدپذیر) و نمادهای کلیدی مقادیر در این جدول، در شکل ۱ نیز آورده شده است.

Table 2- Natural and economic flows of the potato at different production systems (units ha^{-1}). The unit and the renewability factor (fraction renewable energy) and the symbols keying the values in this table to Figure 1 are also given.

	Unit	ضریب تجدیدپذیری renewability factor	مقیاس کوچک Small-scale	مقیاس متوسط medium-scale	مقیاس بزرگ Large-scale
ورودی‌های زیست‌محیطی تجدیدپذیر Renewable Environmental Input					
انرژی خورشیدی Solar energy	J	1	4.41E+13	4.41E+13	4.41E+13
باد، انرژی جنبشی Wind, kinetic energy	J	1	4.89E+10	4.08E+10	4.08E+10
باران، شیمیایی Rain, chemical	J	1	2.47E+10	2.47E+10	2.47E+10
باران، ژئوپتانسیل Rain, geopotential	J	1	5.40E+07	5.40E+07	5.40E+07
ورودی‌های زیست‌محیطی تجدید ناپذیر Non-renewable Environmental Input					
آبیاری Irrigation		1	3.87E+10	3.07E+10	2.87E+10
کاهش ماده آلی خاک SOM reduction	J	0	5.65E+10	6.65E+10	7.65E+10
فرسایش خاک Soil erosion	g	0	2.35E+06	2.35E+06	2.35E+06
ورودی‌های خریداری شده Purchased inputs					
کار انسانی Human labour	J	0.1	4.76E+08	4.34E+08	3.84E+08
دستگاه Machinery	g		4.12E+03	5.21E+03	5.71E+03
کود ارگانیک Orhanic Fertilizer	g	0.8	1.25E+06	2.50E+06	2.00E+06
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	g	0	6.98E+04	1.01E+05	1.35E+05
کود فسفر Phosphorus fertilizer	g	0	1.50E+05	1.50E+05	1.75E+05
کود پتاس Potash fertilizer	g	0	1.00E+05	2.25E+05	2.25E+05
کود میکرو Micro fertilizer	g or Li	0	1.00E+04	4.00E+04	5.00E+04
آفت‌کش Pesticide	g or Li	0	3.00E+03	4.50E+03	8.00E+03
علف‌کش Herbicide	g or Li	0	2.00E+03	1.00E+03	3.00E+03
برق Electricity	J	0.01	5.70E+03	5.00E+03	5.10E+03
بذر Seed	IRR	0.43	2.50E+07	2.00E+07	2.00E+07
نصب سیستم آبیاری Installation of irrigation system	IRR	0	0.00E+00	5.00E+06	5.00E+06
سوخت فسیلی و روان‌کننده Fossil fuel and lubricant	g	0	9.34E+09	3.83E+09	1.87E+10
خروجی Output					
بازده اقتصادی Economic yield	gr		2.95E+07	2.99E+07	4.87E+07
بازده اقتصادی Economic yield	J		7.77E+12	7.89E+12	1.29E+13

جدول ۳- تلفیق امرژی و ساختار ورودی سیب زمینی در سیستم‌های مختلف تولید ($sej\ ha^{-1}$)

Table 3- Emergy synthesis and input structure of the potato at different production systems ($sej\ ha^{-1}$)

		واحد Unit	ضریب تبدیل امرژی Transformity	مقیاس کوچک Small-scale		مقیاس متوسط medium-scale		مقیاس بزرگ Large-scale	
				-	%	-	%	-	%
Renewable Environmental Input	**ورودی‌های زیست‌محیطی تجدیدپذیر**								
Solar energy	انرژی خورشیدی	J	1.00E+00	4.41E+13	0.10%	4.41E+13	0.08%	4.41E+13	0.08%
Wind, kinetic energy	باد، انرژی جنبشی	J	1.25E+03	6.11E+13	0.15%	5.10E+13	0.10%	5.10E+13	0.09%
Rain, chemical	باران، شیمیایی	J	2.25E+04	5.55E+14	1.32%	5.55E+14	1.05%	5.55E+14	0.96%
Rain, geopotential	باران، ژئوپتانسیل	J	1.34E+04	7.24E+11	0.00%	7.24E+11	0.00%	7.24E+11	0.00%
Subtotal	جمع فرعی			5.99E+14	1.42%	5.99E+14	1.13%	5.99E+14	1.04%
Non-renewable Environmental Input	**ورودی‌های زیست‌محیطی تجدید ناپذیر**								
Irrigation	آبیاری		1.92E+05	7.43E+15	17.64%	0.00E+00	0.00%	5.51E+15	9.53%
SOM reduction	کاهش ماده آلی خاک	J	9.36E+04	5.29E+15	12.55%	6.22E+15	11.73%	7.16E+15	12.39%
Soil erosion	فرسایش خاک	g	1.27E+09	2.99E+15	7.09%	2.99E+15	5.63%	2.99E+15	5.16%
Subtotal	جمع فرعی			1.57E+16	37.27%	9.21E+15	17.35%	1.57E+16	27.08%
Purchased inputs	**ورودی‌های خریداری شده**								
Human labour	کار انسانی	J	2.22E+06	1.06E+15	2.51%	9.63E+14	1.81%	8.52E+14	1.47%
Machinery	دستگاه	g	1.01E+10	4.16E+13	0.10%	5.26E+13	0.10%	5.77E+13	0.10%
Orhanic Fertilizer	کود ارگانیک	g	2.96E+08	1.26E+16	29.97%	2.53E+16	47.58%	2.02E+16	34.95%
Nitrogen fertilizer	کود نیتروژن	g	3.09E+10	2.16E+15	5.12%	3.13E+15	5.90%	4.17E+15	7.22%
Phosphorus fertilizer	کود فسفر	g	2.82E+10	4.23E+15	10.04%	4.23E+15	7.97%	4.94E+15	8.54%
Potash fertilizer	کود پتاس	g	2.23E+09	2.82E+15	6.69%	6.35E+15	11.96%	6.35E+15	10.98%
Micro fertilizer	کود میکرو	g or Li	2.96E+08	2.82E+14	0.67%	1.13E+15	2.13%	1.41E+15	2.44%
Pesticide	آفت‌کش	g or Li	1.90E+10	8.46E+13	0.20%	1.27E+14	0.24%	2.26E+14	0.39%
Herbicide	علف‌کش	g or Li	1.90E+10	3.80E+13	0.09%	1.90E+13	0.04%	5.70E+13	0.10%
Electricity	برق	J	2.31E+05	1.32E+09	0.00%	1.16E+09	0.00%	1.18E+09	0.00%
Seed	بذر	IRR	6.76E+07	1.69E+15	4.01%	1.35E+15	2.55%	1.35E+15	2.34%
Installation of irrigation system	نصب سیستم آبیاری	IRR	2.50E+08	0.00E+00	0.00%	3.38E+14	0.64%	3.38E+14	0.58%
Fossil fuel and lubricant	سوخت فسیلی و روان‌کننده	g	8.60E+04	8.03E+14	1.91%	3.29E+14	0.62%	1.61E+15	2.78%
Renewable purchased inputs (FR)	نهاده‌های غیر رایگان تجدیدپذیر			4.44E+14	1.05%	3.67E+14	0.69%	3.56E+14	0.62%
Non-renewable purchased inputs (FN)	نهاده‌های غیر رایگان تجدیدناپذیر			2.54E+16	60.25%	4.29E+16	80.83%	4.12E+16	71.27%
Subtotal	جمع فرعی			2.58E+16	61.30%	4.33E+16	81.52%	4.16E+16	71.88%
Total	**جمع کل**			**4.21E+16**	**100%**	**5.31E+16**	**100%**	**5.78E+16**	**100%**

در نظام تولید در مزارع متوسط بیشترین سهم امرژی مصرفی مربوط به کود آلی (۴۷/۵۸ درصد) بود و پس از آن کود پتاس (۱۱/۹۶ درصد)، کود فسفر (۷/۹۷ درصد)، کود نیتروژن (۵/۹۰ درصد) و بذر (۲/۵۵ درصد) بالاترین سهم را داشتند. در نظام تولید در مزارع بزرگ، کود آلی (۳۴/۹۵ درصد) بیشترین سهم را داشت و پس از آن کود پتاس (۱۰/۹ درصد)، کود فسفر (۸/۵۴ درصد)، کود نیتروژن (۷/۲۲ درصد) و سوخت (۲/۷۸ درصد) بیشترین سهم را داشتند. علف‌کش، الکتریسیته، ماشین‌آلات و آفت‌کش در هر سه نظام سهم بسیار ناچیزی در میان نهاده‌های امرژی داشتند (کمتر از ۱ درصد). در اکوسیستم‌های زراعی کلزا، وابستگی به نهاده‌های بازار و غیر قابل تجدید بسیار بیشتر از نهاده‌های زیست‌محیطی و تجدیدپذیر گزارش شده است و سوخت‌های فسیلی با ۵۹/۹۴ درصد از کل نهاده امرژی بالاترین سهم جریان امرژی را در اکوسیستم‌های زراعی کلزا، به خود اختصاص دادند (Shahhoseini and Kazemi, 2022).

تجزیه و تحلیل شاخص‌های مبتنی بر امرژی

برای نمایش تفاوت بین نظام‌های مورد مطالعه از نظر کارایی استفاده از منابع، اثرات محیطی و مزایای اقتصادی و هم‌چنین برای تعیین مناسب‌ترین عملیات مدیریتی جهت حرکت به سمت کشاورزی پایدار محاسبه و مقایسه شاخص‌های امرژی سودمند می‌باشد. مقادیر شاخص‌های مبتنی بر امرژی برای نظام‌های تولید در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- مقادیر شاخص‌های مبتنی بر امرژی برای نظام‌های تولید در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ

Table 4- Emergy indices for potato production systems in small, medium and large farms

	مقیاس کوچک Small-scale	مقیاس متوسط medium-scale	مقیاس بزرگ Large-scale
ضریب تبدیل Transformity	5.42E+03	6.73E+03	4.50E+03
امرژی ویژه Specific emergy	1.43E+09	1.78E+09	1.19E+09
کسر تجدیدپذیری امرژی R%	2.48%	1.82%	1.65%
نسبت عملکرد امرژی EYR	0.613	0.815	0.719
نسبت سرمایه‌گذاری امرژی EIR	1.58E+00	4.41E+00	2.56E+00
نسبت سرمایه‌گذاری امرژی اصلاح شده EIR*	4.31E+01	7.22E+01	6.93E+01
نسبت بار زیست‌محیطی ELR	6.93E+01	8.76E+01	9.55E+01
نسبت بار زیست‌محیطی اصلاح شده ELR*	2.54E-02	1.85E-02	1.68E-02
شاخص پایداری محیط‌زیست استاندارد ESI	8.85E-03	9.31E-03	7.53E-03
شاخص پایداری محیط‌زیست اصلاح شده ESI*	2.42E+01	4.40E+01	4.28E+01

عملکرد و ضرایب تبدیل

بنا بر اطلاعات گردآوری شده عملکرد غده در این منطقه به ترتیب به طور میانگین ۲۹/۴۵، ۲۹/۸۷ و ۴۸/۷ تن 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 کارایی فرایند تولید است، محاسبه می‌شود. مقدار ضریب تبدیل یا امرژی ویژه بالاتر به مفهوم کارایی پایین‌تر فرایند تولید در محیط و رقابت اقتصادی در دوره‌های زمانی طولانی است (Odum, 1996).

معادل ضریب تبدیل برای سه نظام در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب $۵/۴۲\times۱۰^{۳}$، $۶/۷۳\times۱۰^{۳}$ و $۴/۰۵\times۱۰^{۳}$ام ژول خورشیدی در ژول انرژی محصول است. هم‌چنین امرژی ویژه برای سه نظام در مزارع کوچک، متوسط و

بزرگ به ترتیب $۱/۴۳\times۱۰^{۹}$، $۱/۷۸\times۱۰^{۹}$ و $۱/۱۹\times۱۰^{۹}$ام ژول خورشیدی در گرم محصول بود. در مقایسه ضریب تبدیل در سیستم‌های مختلف کشت سیب‌زمینی در استان گلستان نشان داده شده است که جریان خروجی ورودی برای تولید هر واحد، در سیستم کاشت مستقیم پاییزه نسبت به سیستم‌های کاشت مستقیم بهاره و تابستانه کمتر است. در سیستم کاشت مستقیم پاییزه، مقادیر نهاده‌های محیطی آزاد با ضریب تبدیل کمتر، از دو سیستم دیگر بیشتر بوده است، در حالی که نرخ جریان آزاد ورودی‌های زیست‌محیطی تجدیدناپذیر مانند آب‌های زیرزمینی و نهاده‌های بازار، مانند سموم شیمیایی که دارای ضریب تبدیل بالاتری هستند، کمتر بوده است (Shahhoseini *et al.*, 2020).

کسر تجدیدپذیری امرژی (R%)

این کسر از تقسیم منابع ورودی تجدید پذیر امرژی به ورودی امرژی کل محاسبه می‌شود. به‌طورکلی نظام‌های تولیدی یا فرایندهایی با بخش بزرگتری از منابع امرژی تجدید پذیر احتمالاً پایدارترند و در رقابت اقتصادی نسبت به آن‌هایی که از منابع غیر قابل تجدید امرژی استفاده می‌کنند، موفق‌تر می‌باشند (Brown and Ulgiati, 2005). وابستگی سه نظام تولید در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ به نهاده‌های امرژی‌های تجدیدپذیر به ترتیب ۲/۴۸، ۱/۸۲ و ۱/۶۵ درصد بود. به عبارت دیگر به ترتیب ۲/۴۸، ۱/۸۲ و ۱/۶۵ درصد از کل نهاده‌های امرژی از منابع تجدیدپذیر به‌دست می‌آید. دو نظام تولید در مزارع متوسط و بزرگ به‌دلیل مصرف مقادیر زیاد کودهای شیمیایی برای تأمین نیازهای غذایی در مقایسه با سایر مطالعات وابستگی بیشتری به نهاده‌های امرژی تجدیدناپذیر داشتند. در بررسی اندازه مزرعه در تولید گندم در منطقه جوین سبزوار بر کارایی امرژی در مساحت‌های مختلف گزارش شده است R با افزایش اندازه مزرعه کاهش می‌یابد و از ۱۶/۴۳ درصد در مزارع کوچک به ۸/۱۱ درصد در مزارع بزرگ در تولید گندم می‌رسد. اتکای بیشتر به نیروی انسانی و استفاده کمتر از نهاده‌های شیمیایی در مزارع در مقیاس کوچک منجر به R٪ بالاتری می‌شود. در مقابل، سهم نهاده‌های خریداری‌شده یا منابع تجدیدناپذیر در مزارع بزرگ یا متوسط بیشتر است که منجر به کاهش R٪ می‌شود (Fallahinejad *et al.*, 2022). ضریب تجدیدپذیری در کشت تجاری کلزا ۷۳/۳۶ درصد کمتر از کشت معیشتی گزارش شده است. استفاده از کودهای زیستی به همراه مدیریت مناسب عملیات زراعی سبب افزایش کیفیت خاک می‌گردد و سبب کاهش مقدار انرژی تجدیدناپذیر ورودی به نظام تولید می‌شود که این امر سبب کاهش مقدار فرسایش و تجزیه خاک، کاهش میزان مصرف کودهای شیمیایی و افزایش ظرفیت نگهداری آب و ذخیره کربن می شود؛ که در نتیجه موجب شد وابستگی سیستم تولید به منابع خریداری شده غیرقابل تجدید کمتری شده و از منابع قابل تجدید محیطی یا خریداری شده بیشتراستفاده کند (Amiri *et al.*, 2019).

نسبت عملکرد امرژی (EYR)

این شاخص به شکل نسبت کل عملکرد امرژی به امرژی خریداری شده از بازار تعریف می‌شود و به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان معیاری برای نشان‌دادن توانایی یک فرایند برای جذب منابع تجدیدپذیر و غیر قابل تجدید محلی با سرمایه‌گذاری روی منابع اقتصادی استفاده می‌شود. برای EYR بالاتر، نسبت بالاتری از منابع رایگان امرژی در فرایند استفاده می‌شود (Brown and Ulgiati, 2005). حداقل مقدار قابل دست‌یابی EYR یک می‌باشد که نشان‌دهنده سهم صفر منابع محلی در فرایند تولید و اتکای کامل به منابع خریداری شده از بازار است (Amiri *et al.*, 2019). شاخص EYR برای سه نظام تولید در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ ۰/۶۱، ۰/۸۱ و ۰/۷۲ محاسبه شد که به روشنی با وجود تلفات زیاد مواد آلی خاک و فرسایش خاک که هر دو در طبقه نهاده‌های غیر بازاری دسته‌بندی می‌شوند، مقدار وابستگی پایین این سه نظام به منابع رایگان محیطی را نشان می‌دهد. این موضوع نشان می‌دهد لزوماً بهره‌برداری یک نظام از منابع دردسترس محلی موجود نمی‌تواند بیانگر کارآمدی نظام باشد. در واقع، در مقایسه با سیستم‌های صنعتی، سیستم‌های کشاورزی سنتی توانایی خوبی برای بهره‌برداری از منابع رایگان محلی دارند، اما معمولاً با بهره‌وری تولید کم و بالعکس. بر این اساس برای افزایش این شاخص کاهش تلفات مواد آلی خاک از طریق کشت گیاهان پوششی یا حفاظت خاک به همراه کاهش اتکائ تولید به نهاده‌های بازاری مانند کود شیمیایی قابل توصیه است. مقادیر EYR در مزارع متوسط و بزرگ تولید گندم در منطقه جوین سبزوار مشابه

گزارش شده است که به‌دلیل شباهت نسبی استفاده از منابع خریداری شده در این دو سیستم باشد. EYR بالاتر در مزارع با مقیاس متوسط نشان‌دهنده سهم نسبی کمتر منابع خریداری شده در مقایسه با مزارع بزرگ است. در مزارع کوچک، ۵۰/۶۱ درصد از کل امرژی علاوه بر بازده اقتصادی پایین، به منابع خریداری شده اختصاص یافت (Fallahinejad *et al.*, 2022).

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

شاخص EIR نسبت نهاده امرژی غیر رایگان دریافتی به امرژی سرمایه‌گذاری شده رایگان از طریق بهره‌برداری از منابع طبیعی یا محیط‌زیست است. به عبارت دیگر، این شاخص نشان‌دهنده درجه وابستگی نظام کشاورزی به محیط‌زیست و سطح توسعه اقتصادی است (Odum *et al.*, 2000). بنابراین دو شاخص EIR و EYR شاخص‌های مشابه می‌باشند که میزان بهره‌برداری از منابع رایگان را به روش‌های مختلفی بیان می‌کنند. با این وجود، مقدار کمتر EIR نشان‌دهنده وابستگی شدید نظام به منابع محیطی و سطح کم هزینه‌های اقتصادی است (Lefroy and Rydberg, 2003).

مقدار EIR برای نظام‌های تولید در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب ۱/۵۸، ۴/۴۱ و ۲/۵۵ به‌دست آمد، که نشان می‌دهد منابع غیر رایگان برای دو نظام به ترتیب ۱/۵۸، ۴/۴۱ و ۲/۵۵ برابر نهاده‌های غیر رایگان مصرف شده‌اند. مقادیر EIR^{*} در نظام‌های در مزارع بزرگ ۶۰/۸ درصد بیشتر از مزارع کوچک و ۶/۶۲ درصد کمتر از مزارع متوسط بود. مقادیر به‌دست آمد بیانگر مقدار بیشتر وابستگی به نهاده‌های غیر رایگان بازاری در نظام تولید در مزارع متوسط و بزرگ و بهره‌برداری بیشتر نظام‌های تولید در مزارع کوچک از منابع رایگان است. گزارش شده است در مزارع گندم منطقه جوین سبزوار مقدار EIR در مزارع بزرگ ۳۲/۶ درصد و ۱۲۰ درصد در مقایسه با مزارع متوسط و کوچک بیشتر بوده است که نشان‌دهنده آن است که استفاده از منابع خریداری شده در مزرعه مقیاس کوچک نسبت به مزارع بزرگ کاهش زیادی داشته است. این کاهش به دلیل وابستگی بیشتر تولید در سال‌های اخیر به کودهای شیمیایی به‌دلیل افزایش قیمت کودهای شیمیایی و مشکل دسترسی به این کودها است که باعث شده است تا بسیاری از کشاورزان استفاده از کودهای شیمیایی را به حداقل برسانند. با توجه به محدود بودن کود دامی، کشاورزان از این نوع کود برای تأمین مواد غذایی برای محصولاتی مانند چغندرقند استفاده می‌کنند (Fallahinejad *et al.*, 2022). رابطه معکوسی بین سطح مکانیزاسیون و شاخص نسبت سرمایه‌گذاری امرژی و مستقیم با شاخص نسبت سرمایه گذاری امرژی اصلاح شده گزارش شده است. شاخص نسبت سرمایه‌گذاری امرژی در کشت مستقیم ۰/۶۷، نیمه مکانیزه ۱/۲۷ و مکانیزه ۰/۷۵ گزارش شده است (Fallahinejad and Armin, 2022). رابطه مثبتی بین منابع خریداری شده در یک سیستم تولید و مقدار شاخص نسبت سرمایه‌گذاری امرژی گزارش شده است. به نحوی که در نظام‌های تولیدی که در آن از کود شیمیایی استفاده نشده بود کمترین مقدار و در نظام‌های تولید که در آن استفاده از کود شیمیایی یا بیوچار رایج بود مقدار شاخص نسبت سرمایه‌گذاری امرژی بالاتر بود که با نتایج این تحقیق هم‌خولنی دارد (Moonilall *et al.*, 2020).

نسبت بار زیست‌محیطی استاندارد (ELR) و نسبت بار محیط‌زیستی اصلاح شده*ELR

شاخص ELR نسبت امرژی از تمام منابع امرژی تجدیدناپذیر و خریداری شده به امرژی از تمام منابع رایگان تجدید پذیر را نشان می‌دهد. این شاخصی از فشار محیطی به دلیل فعالیت‌های تولید اقتصادی است و می‌تولند به‌عنوان معیاری از فشار بالقوه انسانی ناشی از یک فرایند به محیط اطرافش در نظر گرفته شود. مقادیر بالاتر این شاخص نشان‌دهنده فشار محیطی بیشتر بر اکوسیستم‌های محلی به علت استفاده از منابع غیر قابل تجدید است. (Brown and Ulgiati, 2005).

نظام‌های تولید در مزارع بزرگ به ترتیب دارای ۳۷/۷ و ۹/۰۲ درصد ELR بیشتر و ۳۳/۸ درصد نسبت بار محیط‌زیستی اصلاح شده (*ELRکمتری در مقایسه با نظام تولید در مزارع کوچک و متوسط بود. این شرایط در نتیجه مصرف بیشتر نهاده‌های امرژی تجدیدناپذیر و تلفات مواد آلی خاک در این نظام در مقایسه با نظام‌های تولید در مزارع کوچک و متوسط بود. مقادیر بالای شاخص ELR در این مطالعه به‌دلیل 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 محیط‌زیست می‌شود. مصرف نهاده‌های تجدیدناپذیر امرژی تنها در صورتی قابل قبول می‌باشند که مقدارشان نزدیک به منابع تجدیدپذیر محلی باشد. ELR در کشت رایج گندم در مقایسه با کشت ارگانیک بیش از ۳ برابر بیشتر بوده است که نشان می‌دهد مدیریت ارگانیک به نهاده‌های تجدیدناپذیر بسیار کمتری نیاز دارد (La Rosa *et al.*, 2008). در ارزیابی پایداری سیستم‌های تولید گندم در سیستان با استفاده از تحلیل امرژی گزارش شده است با افزایش راندمان نهاده‌ها با بهینه‌سازی مصرف آب آبیاری، کود نیتروژن و کود فسفر می‌توان این سیستم تولید را پایدارتر کرد و فشار کمتری بر محیط زیست وارد کرد (Kohkan *et al.*, 2022). در ارزیابی خصوصیات اقتصادی و بوم‌شناختی نظام تولید گندم در منطقه سیستان با استفاده از تکنیک امرژی نهاده‌های محیطی سهم قابل توجه‌ای از جریان امرژی را به خود اختصاص دادند و سهم نهاده‌های اقتصادی تنها ۱۵ درصد از منابع بود (Enayat *et al.*, 2023).

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

شاخص ESI یک شاخص مرکب است که از تقسیم شاخص EYR به ELR به‌دست می‌آید. این شاخص مزایای به‌دست آمده یک سیستم در واحد سطح را اندازه‌گیری می‌کند. به عبارت دیگر، این شاخص مزیت نظام نسبت به هزینه‌های آن را می‌سنجد. بنابراین، شاخص ESI هر دو جنبه اقتصاد و محیط‌زیست را در نظر می‌گیرد. مقدار بالاتر این شاخص نشان‌دهنده پایداری بیشتر نظام مورد مطالعه است. مقدار این شاخص بین صفر تا بی‌نهایت تغییر می‌کند. مقادیر بیش از ۱۰ نظام‌های پایدار با حداقل فشار، مقادیر بین ۱ و ۱۰ پتانسیل خوب، در حالی‌که مقادیر کمتر از ۱ نشان‌دهنده نظام پر مصرف است که منابع سیستم را تخلیه کرده و تأثیرات محیطی زیاد دارد و برای بقا نیاز به مصرف زیاد انرژی دارد (Zhang *et al.*, 2012). در این مطالعه مقادیر ESI هر سه 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. به نظر می‌رسد برای افزایش شاخص پایداری محیط‌زیست باید ضمن حفظ تولید مناسب اتکا به نهاده‌های محیطی تجدیدناپذیر را نیز کاهش داد که این عمل با استفاده بیشتر از کودهای دامی به جای کودهای شیمیایی و استفاده از ارقام با توانایی تحمل به تنش که سبب استفاده کمتر از آب یا الکتریسته خواهند شد انجام پذیر خواهد بود. مقدار شاخص ESI نزدیک سه نظام در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ نشان داد که تمام نظام‌ها امرژی خروجی پایین و تقاضای نسبتاً بالا برای منابع تجدیدناپذیر دارند. مقادیر ESI* در نظام‌های تولید در مزارع بزرگ و متوسط تقریباً شبیه هم بود اما این مقدار در مزارع کوچک به نحو قابل ملاحظه‌ای کمتر از مزارع بزرگ و متوسط به‌دست آمد. مقادیر ESI* در نظام‌های در مزارع بزرگ ۷۷/۲ درصد بیشتر از مزارع کوچک و ۴/۸۷ درصد کمتر از مزارع متوسط بود (Fallahinejad *et al.*, 2022). در ارزیابی سیستم‌های مختلف کشت چغندرقند در منطقه جوین سبزوار از نظر زیست‌محیطی گزارش شده است کشت مکانیزه نسبت به نیمه‌مکانیزه و سنتی اثرات منفی زیست‌محیطی کمتری دارد (Soltani *et al.*, 2015). در برزیل رویکرد زیستی (اکولوژیکی و ارگانیک) پایداری بیشتری نسبت به صنعتی (اگروشیمیایی و بدون شخم با استفاده از علف‌کش) در تولید سویا داشته است (Ortega *et al.*, 2005). برای نظام‌های تولید لوبیای غیر فشرده مقادیر ESI و ESI* ۰/۰۸ و ۱/۴۸ محاسبه شده است (Asgharipour *et al.*, 2018). برای نظام تجاری تولید کلزا در خرم‌آباد استان لرستان مقادیر ESI و ESI* ۰/۷۳ و ۰/۷۵ و برای نظام معیشتی تولید کلزا ۰/۸۷، ۱/۳۸ به دست آمده است (Amiri *et al.*, 2019). در نظام‌های زراعی که مقادیر ESI و ESI* کمتر از ۵ می‌باشد یعنی این‌که فشار زیاد بر محیط توسط نظام زراعی وارد می‌شود. برای افزایش شاخص ESI، باید ورودی‌های خریداری شده به حداقل ممکن رسیده و همراه با افزایش جریان ورودی‌های رایگان محیطی، به‌ویژه از منابع تجدیدپذیر باشد.

نتیجه‌گیری کلی

ارزیابی امرژی نشان داد که هر یک از سه نظام مورد مطالعه اثرات مختلفی بر سهم منابع مختلف از امرژی کل داشت. کشت در مزارع کوچک کمترین میزان امرژی را برای تولید محصول نیاز داشت در حالی‌که کشت در مزارع بزرگ بیشترین مقدار

امرژی را برای تولید محصـــول اســـتفاده کرد. کشـــت در مزارع بزرگ در بیشتر منابع خریداری شده به کشت در مزارع متوسط شـباهت بیشـتری در مقایسـه با کشـت در مزارع کوچک داشـت. شاخص ELR که به‌عنوان شاخصی از پایداری تولید می‌باشد در کشـت در مزارع بزرگ بالاتر بود که اختلاف زیادی با کشـت در مزارع متوسـط نداشـت. از آن‌جا که عملکرد اقتصـادی در کشـت در مزارع بزرگ بسیار بالاتر از کشت در مزارع کوچک و متوسط بود. سـایر شـاخص‌های امرژی به جز تجدیدپذیری در کشـت در مزارع بزرگ بالاتر از کشـت در مزارع کوچک و متوسـط بود. به عنوان یـک نتیجه کلی، این تحلیـل‌ها نشـــان داد که عملکرد محیطی مطلوب‌تر در نتیجه کنترل‌های بیشـــتر بر اســـتفاده از نهـاده‌هـای محیطی و مصـــنوعی در مزارع کوچـک بـا عملکرد اقتصـادی ضـعیف‌تر همراه اسـت با این وجود عملکرد بیشـتر و اسـتفاده از مکانیزاسـیون بیشـتر می‌تواند ضـمن حفظ پایداری زیسـت‌محیطی عملکرد اقتصـادی مطلوبی نیز تولید کند. بر این اساس کشت در مزارع بزرگ توصیه می‌شود.

References

Ahmad, H. and Halim, H., 2017. Determining sample size for research activities. *Selangor Business Review*, PP.20-34. **doi: 10.1177/001316447003000308**

Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E. and Armin, M., 2019. A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in khorramabad ,iran, based on emergy and economic analyses. *Journal of Cleaner Production*, *226*, PP.1051-1066. **doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.091**

Anonymous. 2021. Agricultural statistical yearbook. Https://koaj.Ir/modules/showframework.Aspx?Relfacilityid=1241&objectid=851&frameworkpagetype=sec. Accessed 14 may 2021.

Anonymous. 2022. Food and agriculture data. Http://www.Fao.Org/faostat/en/#data/qc. Accessed 14 nov 2022.

Asgharipour, M.R., Shahgholi, H., Campbell, D.E., Khamari, I. and Ghadiri, A., 2018. Comparison of the sustainability of bean production systems based on emergy and economic analyses. *Environmental Monitoring and Assessment*, *191*(1), PP.1-21. **doi: 10.1007/s10661-018-7123-3**

Brown, M.T. and Ulgiati, S., 2005. Emergy, transformity and ecosystem health. *Handbook of ecological indicators for assessment of ecosystem health*, *333*, PP.34.36. **doi: 10.1201/9780203490181.ch14**

Enayat, F., Ghanbari, A., Asgharipour, M. and Seyedabadi, E., 2023. Evaluation of economic and ecological characteristics of wheat production system in sistan region using emergy analysis technique. *Crop Science Research in Arid Regions*, In Press. [In Persian]. **doi: 10.22034/csrar.2023.375746.1299**

Fallahinejad, S. and Armin, M., 2022. Role of mechanization on the sustainability of sugar beet production using emergy approach. *Agriculture, Environment & Society*, *2*(1), PP.15-24. **doi:10.22034/aes.2022.327793.1019**

Fallahinejad, S., Armin, M. and Asgharipour, M.R., 2021. A survey on the ecological sustainability of introducing new crops in the cropping pattern using emergy approach. *Current Research in Environmental Sustainability*, *3*, 100083. **doi:10.1016/j.crsust.2021.100083**

Fallahinejad, S., Armin, M. and Asgharipour, M.R., 2022. The effect of farm size on the sustainability of wheat production using emergy approach. *Current Research in Environmental Sustainability*, *4*, 100161. **doi:10.1016/j.crsust.2022.100161**

Fatima, Z., Ahmed, M., Hussain, M., Abbas, G., Ul-Allah, S., Ahmad, S., Ahmed, N., Ali, M.A., Sarwar, G. and

Iqbal, P., 2020. The fingerprints of climate warming on cereal crops phenology and adaptation options. *Scientific Reports*, *10*(1), PP.1-21. **doi: 10.1038/s41598-020-74740-3**

Golshani, F., Asgharipour, M.R., Ghanbari, A. and Seyedabadi, E., 2022. Emergy analysis of crop and integrated production systems of boland sistan village. *Crop Science Research in Arid Regions*, *5*(9), PP.197-223 [In Persian]. **doi: 10.22034/csrar.2022.330716.1195**

Hercher-Pasteur, J., Loiseau, E., Sinfort, C. and Hélias, A., 2020. Energetic assessment of the agricultural production system. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *40*(4), PP.1-23. **doi: 10.1007/s13593-020-00627-2**

Jha, P., Biswas, A ,.Lakaria, B.L., Saha, R., Singh, M. and Rao, A.S., 2014. Predicting total organic carbon content of soils from walkley and black analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *45*(6), PP.713-725. **doi: 10.1080/00103624.2013.874023**

Kohkan, S., Ghanbari, S.A., Asgharipour, M.R. and Fakheri, B.A., 2022. Evaluation of the sustainability of wheat production systems in the sistan using emergy analysis. *Agriculture, Environment & Society*, In press. **doi: 10.22034/aes.2022.346800.1039**

La Rosa, A., Siracusa, G. and Cavallaro, R., 2008. Emergy evaluation of sicilian red orange production. A comparison between organic and conventional farming. *Journal of Cleaner Production*, *16*(17), PP.1907-1914. **doi: 10.1016/j.jclepro.2008.01.003**

Lefroy, E. and Rydberg, T., 2003. Emergy evaluation of three cropping systems in southwestern australia. *Ecological Modelling*, *161*(3), PP.211-215. **doi: 10.1016/S0304-3800(02)00341-1**

Mirshekari, S., Dahmardeh, M., Asgharipour, M.R., Ghanbari, S.A. and Seyedabadi, E., 2023. Assessing emergy-based sustainability in five major agricultural ecosystems in hirmand, sistan and baluchestan province. *Crop Science Research in Arid Regions*, *4*(2), PP.437-457 [In Persian]. **doi: 10.22034/csrar.2021.311181.1146**

Molajou, A., Afshar, A., Khosravi, M., Soleimanian, E., Vahabzadeh, M. and Variani, H.A., 2021. A new paradigm of water, food, and energy nexus. *Environmental Science and Pollution Research*, PP.1-11. **doi: 10.1007/s11356-021-13034-1**

Moonilall, N.I., Homenauth, O. and Lal, R., 2020. Emergy analysis for maize fields under different amendment applications in guyana. *Journal of Cleaner Production*, *258*, 120761. **doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120761**

Nadalini, A.C.V., Kalid, R.d.A. and Torres, E.A., 2021. Emergy as a tool to evaluate ecosystem services, A systematic review of the literature. *Sustainability*, *13*(13), PP.7102. **doi: 10.3390/su13137102**

Odum, H., Brown, M. and Brandt-Williams, S., 2000. Folio# 1: Introduction and global budget. Handbook of emergy evaluation: A compendium of data for emergy computation issued in a series of folios. *Center for Environmental Policy, Univ. of Florida, Gainesville* .

Odum, H.T., 1996. Environmental accounting: Emergy and environmental decision making. Wiley.

Ortega, E., Cavalett, O., Bonifácio, R. and Watanabe, M., 2005. Brazilian soybean production: Emergy analysis with an expanded scope. *Bulletin of Science, Technology & Society*, *25*(4), PP.232-324. **doi: 10.1177/0270467605278367**

Shahhoseini, H., Ramroudi, M. and Kazemi, H., 2020. Evaluating the resources use efficiency and sustainability indices for two potato production systems using emergy analysis (case study: Gorgan county). *Journal of Agroecology*, *12*(1), PP.127-142 [In Persian]. **doi: 10.22067/jag.v12i1.81189**

Shahhoseini, H.R. and Kazemi, H., 2022. Evaluation of sustainability of rainfed rapeseed production in gorgan county using emergy analysis. *Agriculture, Environment & Society*, *2*(1), PP.61-70. **doi: 10.22034/aes.2022.337172.1031**

Soltani, A., Bazrgar, A.B., Koochaki, A.R., Zeinali ,E., Ghaemi, A.R. and Hajarpoor, A., 2015. Life cycle assessment (LCA) of sugar beet production in various production systems in khorasan. *Electronic Journal of Crop Production*, *8*(1), PP.43-62 [In Persian].

Yasini, H., Ghanbari, S.A., Asgharipour, M.R. and Seyedabadi, E., 2020. Evaluation of sustainability in wheat, onion and garlic cropping systems by joint use of emergy and economic accounting. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *30*(2), PP.269-288 [In Persian]. **doi: 20.1001.1.24764310.1399.30.2.17.0**

Zhang, L., Song, B. and Chen, B., 2012. Emergy-based analysis of four farming systems: Insight into agricultural diversification in rural china. *Journal of Cleaner Production*, *28*, PP.33-44. **doi: 10.1016/j.jclepro.2011.10.042**

Zhao, H., Zhai, X., Guo, L., Liu, K., Huang, D., Yang, Y., Li, J., Xie, S., Zhang, C. and Tang, S., 2019. Assessing the efficiency and sustainability of wheat production systems in different climate zones in china using emergy analysis. *Journal of Cleaner Production*, *235*, PP.724-732. **doi: 10.1016/j.jclepro.2019.06.251**

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 2, Autumn 2023, P. 395-411

Evaluating the effect of farm size on resource consumption efficiency and potato production sustainability using emergy analysis (case study: Fariman County)

Mahsa Mustafavi Babukani[1], Youssef Hashminejad[2], Mohammad Armin[3*], Hamid Maravi[3], Koresh Shojaei Nofarest[4]

[1] Phd. Candidate, Department of Agronomy and Plant Breeding, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran
[2] Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Sabzevar, Iran
[3] Department of Agronomy and Plant Breeding, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran
[4] Agronomic and Horticulture Crops Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
[*]Corresponding Author: moh.armin@iau.ac.ir

Received: 12 December 2022 Accepted: 27 May 2023 **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.376465.1302**

Abstract

Introduction: There is a close relationship between population growth and rapid economic development and overuse of natural resources. Recently, one of the main problems of human societies is the management of energy consumption. In agricultural ecosystems, there is a strong dependence on non-free inputs and free environmental inputs. In different production systems, different methods are used to increase stability. Various methods have been utilized to investigate the sustainability of agricultural systems such as emergy analysis. Emergy analysis is an ecological approach that measures all the inputs from natural resources and human activities that are directly and indirectly used to obtain a particular product. This method estimates all the resources, including energy, consumed environmental resources, and financial and human costs based on solar energy units. By considering both economic and ecological factors, emergy analysis helps identify ways to achieve maximum crop yield while supporting resource efficiency in agricultural production. Emergy analysis is a method used for sustainability assessment of agroecosystems, including potato production. It determines the most important indicators related to efficiency, renewability, environmental pressure, and sustainability of potato agroecosystems. Although the sustainable production of crops has been analyzed by some researchers, the effects of farm size have not been considered so far. Hence, in the current study, the effect of farm size on sustainability of potato production was studied using the emergy methodology.

Materials and Methods: In order to evaluate the effect of farm size on the sustainability of potato production, a study using emergy analysis was conducted in Fariman county in 2018-19. Information was collected in different potato production systems in terms of farm size including small, medium and large (Based on Cochran's formula, 30, 15 and 5 farms respectively) using questionnaires completed by farmers. The inputs were divided into four types to examine the sustainability of agroecosystems and calculate the emergy indices: Free renewable environmental inputs (R) include sun, wind and rain; non-renewable environmental inputs (N) include groundwater, soil erosion, and soil organic matter losses; non-free (purchased) renewable inputs (FR) include seeds and organic fertilizer; and purchased non-renewable inputs (FN) include machinery, chemical fertilizer, pesticides, fuel, and electricity. To obtain the emergy value of each input, the raw information of each input is multiplied by the conversion coefficients in terms of joules, grams, or Rials. The total emergy is the sum of all emergies of all independent inputs. Finally, emergy indices are calculated and interpreted to evaluate different production systems.

Results and Discussion: The results of this research showed that different potato production systems have different effects on the contribution of different sources of total energy. By increasing the size of the farm, the share of renewable natural resources decreased and the share of purchased resources

increased. Among the renewable environmental inputs in all three emergency systems, rain had the highest amount. The amount of renewable environmental inputs for production systems in small, medium and large farms was 1.42, 1.13 and 1.04% of the total inputs, respectively. Cultivation in small farms required the least amount of emergy for crop production in contrast to large farms. In addition, cultivation on large farms was more similar to cultivation on medium farms in terms of purchased resources. On the other hand, large farms had high sustainability compared to small farms based on the ELR index. In addition, large farms were not significantly different from medium farms. Since the economic yield of large farms was much higher than the economic yield of medium and small farms, other indicators of emergy except renewable energy were also higher in large farms than in medium and small farms.

Conclusion: In this area, cultivation in large fields with the use of more mechanization has improved the yield along with maintaining the stability of the production system.

Keywords: Environmental sustainability, Field area, Natural resources, System analysis