

ارزیابی هزینه‌های اقتصادی و اکولوژیکی تولید میوه‌های گرمسیری در قصرقند با استفاده از تکنیک امرژی

منصور عدل^۱، محمدرضا اصغری پور^{۲*}، محمود رمرودی^۳، سید احمد قنبری^۴ و اسماعیل سیدآبادی^۵

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۱۸ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۲)

چکیده

کشاورزی در بسیاری از تهدیدات زیست محیطی دخیل است. بنابراین، تأمین امنیت غذایی و معیشت تولیدکنندگان نیازمند توجه به تأثیر فعالیت‌های این بخش بر محیط زیست و پایداری تولید است. هدف از این مطالعه، ارزیابی تأثیر نهاده‌های ورودی بر عملکرد و پایداری زیست محیطی نظام‌های تولید موز، انبه، پاپایا و گواوا در شهرستان قصرقند است. برای این منظور از تکنیک تحلیل امرژی و شاخص‌های مرتبط با آن برای سنجش سهم هر نهاده در فرایند تولید، رابطه نظام‌های هدف با محیط، پایداری و عملکرد اقتصادی آنها استفاده شد. اطلاعات مورد نظر در دو گروه محیطی و اقتصادی جمع‌آوری شد که با همکاری مدیران نظام‌های هدف، اداره هواشناسی و مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان قصرقند در سال ۱۴۰۱ تأمین شد. نتایج نشان داد که پاپایا به دلیل هزینه‌های سرمایه‌ای بالاتر نسبت به سایر نظام‌ها، بیشترین امرژی حمایتی را دریافت کرده است. این موضوع باعث شده تا پایداری و وضعیت نظام در تعامل با محیط (ESI، EIR، EYR و ELR) در مقایسه با سایر نظام‌های هدف مطالعه در وضعیت نامناسب باشد. اما پاپایا به علت عملکرد اقتصادی خوب و قیمت مناسب محصول در بازار، شاخص‌های اقتصادی بالاتری (O/I و BN) داشته و بیشترین سود فروش محصول را نسبت به موز، انبه و گواوا کسب کرده است. استفاده بهینه از نهاده‌های خریداری شده و تجدیدنپذیر با رعایت اصول مدیریت مناسب، هزینه‌های اقتصادی و اکولوژیک فرایند تولید در نظام‌های هدف مطالعه را کاهش خواهد داد.

کلمات کلیدی: امنیت غذایی و اقتصادی، پایداری تولید، تنش‌های محیطی، مدیریت مطلوب

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

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

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

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

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

* پست الکترونیک: m_asgharipour@uoz.ac.ir

مقدمه

سیستان و بلوچستان استانی در جنوب شرق ایران است که به لحاظ اقلیمی از تنوع ویژه‌ای برخوردار است. این تنوع باعث شده تا محصولات باغی مختلف (گرمسیری و سردسیری) در این استان پرورش یابند. شهرهای شمالی استان قطب تولید انگور هستند در مرکز، گردو، انار و انواع میوه‌های تابستانه مانند زردآلو تولید می‌شود و با پیشروی به سمت جنوب به علت همسایگی با اقیانوس هند و دریای عمان، آب و هوای گرمسیری و استوایی بر منطقه غالب می‌شود که این موضوع باعث شده تا این مناطق قادر به تولید انواع میوه‌های گرمسیری باشند. موز، انبه، پاپایا و گواوا مهم‌ترین محصولات مناطق جنوبی استان هستند. ویژگی تغذیه‌ای به همراه جذابیت اقتصادی این محصولات موجب شده تا سطح زیرکشت آن‌ها در سال‌های اخیر افزایش یابد. اما باید به نکته‌ای توجه شود که آیا این افزایش مساحت با هدف افزایش عملکرد با اتکا به نهاده‌های محیطی و تجدیدپذیر صورت گرفته (پایداری تولید) یا اینکه تولید کنندگان این نظام‌ها را جهت دستیابی به حداکثر عملکرد به مخازنی برای جریان‌های تجدیدناپذیر تبدیل کرده‌اند (تولید ناپایدار). برای پاسخ به این سوال نیاز است تا نظام‌های هدف مطالعه از نظر اکولوژیکی و اقتصادی مورد ارزیابی قرار گیرند.

تکنیک تحلیل امرژی به دلیل اینکه قادر است مجموع جریان‌های ورودی (محیطی و اقتصادی) به نظام تولیدی را در نظر بگیرد (آمارال^۱ و همکاران، ۲۰۱۶)، روش مناسبی برای مشخص شدن نوع مدیریت در نظام‌های تولیدی است. چرا که معتقد است در صورت نادیده گرفتن سهم هر یک از نهاده‌های ورودی، استراتژی‌های مدیریتی براساس تحلیل‌های ناقص انجام خواهد گرفت (چنگ^۲ و همکاران، ۲۰۱۷). در واقع این روش یک ارزیابی از هزینه‌های واقعی زیست محیطی که صرفاً به قیمت اقتصادی یا محتوای انرژی آن محدود نیست، ارائه می‌دهد (هو و بخشی^۳، ۲۰۰۴؛ شیردلی و همکاران، ۲۰۲۵). امرژی از این ایده پشتیبانی می‌کند که تمامی منابع سرمایه‌گذاری شده برای تولید را می‌توان با استفاده از عوامل تبدیل مناسب در یک واحد بیان کرد (بروان و اولجیاتی^۴، ۲۰۰۴). این واحد مشترک،

امژول خورشیدی است. به عبارتی تحلیل امرژی، تمام محصولات و خدمات را در معادل انرژی خورشیدی بیان می‌کند. به این معنا که اگر تابش خورشیدی تنها ورودی باشد، چقدر انرژی برای انجام یک کار خاص مورد نیاز است (هو و بخشی، ۲۰۰۴).

این تکنیک به خاطر تأکید بر مجموع نهاده‌های ورودی و نقش این نهاده‌ها در سلامت اکولوژیک نظام تولیدی، سال‌هاست که جذب توجه پژوهشگران بخش کشاورزی شده است که در ادامه چند نمونه از آن مرور می‌شود.

فروت‌عنایت و همکاران (۱۴۰۲) سلامت اکولوژیکی نظام‌های تولید انگور یاقوتی در منطقه سیستان را با استفاده از تحلیل امرژی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در نتایج این مطالعه بیان کردند که از مجموع امرژی ورودی به سامانه‌های تولیدی، ۶۴/۳۱ درصد آن متعلق به نهاده‌های محیطی رایگان بود که سهم نوع تجدیدناپذیر آن قابل توجه بود. بنابراین آن‌ها پیشنهاد دادند که پایداری نظام مورد مطالعه به مدیریت منابع آب و تغییر شرایط آبیاری وابسته است. تحلیل امرژی انواع نظام‌های کشت موز در گوادلوپ نشان داد که تولید پایدار این محصول در منطقه نیازمند تغییر روش مدیریت از نوع با ورودی بالای انرژی فسیلی به مدل وابسته به منابع طبیعی است. محققین پیشنهاد دادند که روش‌های تلفیقی برای کنترل آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز و بهبود فرایند بسته‌بندی موز ممکن است موجب تأثیرات مثبت بر پایداری تولید شود (دی باروس^۵ و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین از این تکنیک به همراه تحلیل اقتصادی برای ارزیابی و مقایسه یک نظام کشت سنتی موز و سه نظام کشت میوه تازه معرفی شده پاپایا، گواوا و وامپی در تالاب‌های احیا شده رودخانه مروارید چین استفاده شد. نتایج نشان داد که نظام‌های تولید میوه تازه معرفی شده به منطقه مورد مطالعه به دلیل قیمت نسبتاً بالای محصولات، به سرعت گسترش یافته است. پژوهشگران هزینه محلی بویژه این سامانه‌ها را کاهش منابع غیرقابل تجدید محلی بویژه ماده آلی خاک معرفی کردند (لو^۶ و همکاران، ۲۰۰۹).

علت اصلی مشکلات کشاورزی در قرن حاضر، وابستگی بی چون و چرای این نظام‌ها به مدیریت انسان و نهاده‌های اقتصادی است که دوام تولید این نظام‌ها را با مخاطراتی

4. Brown and Ulgiati

5. De Barros

6. Lu

1. Amaral

2. Cheng

3. Hau and Bakshi

در حال حاضر این شهرستان دارای ۲۸۰ هکتار باغ انبه، ۸۰ هکتار موز، ۱۲ هکتار پاپایا و ۸ هکتار گواوا بارور می‌باشد (سالنامه آماری استان سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۹). نیروی انسانی در این نظام‌های تولیدی برای احداث باغ، انجام عملیات داشت و برداشت نقش برجسته‌ای ایفا می‌کند. درختان برای تغذیه به کودهای مختلفی که شامل نیترژن، فسفر، پتاسیم، گوگرد و دامی هستند، نیاز دارند. آفت‌کش‌ها در صورت وجود آفت به کار می‌روند.

جامعه آماری و جمع‌آوری داده‌ها

این مطالعه با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده در سال ۱۴۰۱ در شهرستان قصرقند انجام شد. بخشی از اطلاعات مورد نیاز برای بررسی نظام‌های هدف مطالعه (موز، انبه، پاپایا و گواوا) از طریق مصاحبه چهره به چهره با مدیران این نظام‌ها جمع‌آوری شد. داده‌های مورد نیاز دیگر شامل آمارهای جوی که در ایستگاه‌های هواشناسی ثبت شده‌اند و داده‌های مدیریت جهاد کشاورزی هستند که با مراجعه به این مراکز تهیه شدند. برای تعیین جامعه آماری مورد بررسی، تمام نظام‌های مورد نظر در شهرستان به‌عنوان نمونه کل در نظر گرفته شدند، سپس برای محاسبه حجم نمونه مورد بررسی از فرمول کوکران (کوکران، ۱۹۴۲) استفاده شد.

$$n = \frac{\frac{z^2 pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{n} \left(\frac{z^2 pq}{d^2} - 1 \right)} \quad (1)$$

که در آن مقدار $z_{\alpha/2}$ مقدار ۱/۹۶ در سطح خطای ۵ درصد در نظر گرفته شده و مقدار خطای مجاز (d) ۰/۰۵ تعیین شده است. N اندازه جامعه هدف، n اندازه نمونه، P نسبت یک صفت در جامعه و $(p-1)q$ درصد افراد فاقد آن ویژگی در جامعه است.

تحلیل امرژی

ادوم^۲ (۱۹۹۶) امرژی را به عنوان انرژی در دسترس که به طور مستقیم و غیرمستقیم برای ساخت یک خدمت یا محصول مصرف می‌شود تعریف کرد. به عبارتی، امرژی مجموع انرژی موجود در فضا و زمان وارد شده به یک محصول را بیان می‌کند (بروان و اولجیاتی، ۲۰۰۴). اولین گام در تحلیل امرژی تعیین مرزهای زمانی و مکانی و در ادامه ترسیم نمودار زبان نظام‌های انرژی (ESL) است (ادوم و پترسون^۳، ۱۹۹۶). این زبان با استفاده از نمادهایی که

مواجه کرده است (محمدیان‌فر و همکاران، ۱۳۹۲). اما به دلیل نقش کشاورزی در تأمین نیازهای غذایی و ایجاد اشتغال برای جمعیت کثیری از مردم دنیا، پایداری تولید در این بخش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین تصمیم گرفته شد تا پایداری نظام‌های تولید میوه‌های گرمسیری در قصرقند با توجه به اهمیت آن‌ها در تأمین معیشت مردم منطقه، مورد ارزیابی قرار گیرد. با توجه به اینکه این نظام‌ها، سامانه‌هایی اقتصادی و اکولوژیکی هستند، پایداری تولید آن‌ها مستلزم توجه به این ویژگی‌ها است. تکنیک امرژی با در نظر گرفتن مجموع جریان‌های ورودی به نظام‌های تولیدی قادر است انواع هزینه‌های اقتصادی و اکولوژیکی در دوره تولید محصول را مورد ارزیابی قرار دهد. همچنین نتایج حاصل از این روش می‌تواند نقشه راه تولیدکنندگان و برنامه‌ریزان جهت رسیدن به هدف عملکرد حداکثری با حداقل اثرات زیست محیطی باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق به بررسی نوع مدیریت و وضعیت پایداری چهار نظام تولید موز، انبه، پاپایا و گواوا در شهرستان قصرقند استان سیستان و بلوچستان می‌پردازد. شهرستان قصرقند در محدوده جغرافیایی ۶۰ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۹ دقیقه طول شرقی و ۲۵ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۲۶ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی در جنوب بلوچستان قرار دارد. مساحت این شهرستان ۶۱۱۰ کیلومتر مربع است و ۵۰۳ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. آب مورد نیاز مردم شهرستان قصرقند از سد زیردان با ظرفیت ۲۱۰ میلیون مترمکعب، رودخانه کاجو، ۱۶۰ رشته قنات و ۴۵۰ حلقه چاه و چاهک تأمین می‌شود (سالنامه آماری استان سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۹). به دلیل وجود منابع آبی زیاد و آب و هوای گرم و نسبتاً مرطوب، مردم این منطقه بیشتر از کشاورزی برای تأمین درآمد خود استفاده می‌کنند. کشاورزان منطقه در تولید محصولات زراعی مانند یونجه و برنج بسیار موفق هستند. برنج ممکن است حتی در طول سال ۲ بار در منطقه کشت شود. برخورداری از نعمت آب و شرایط اقلیمی مناسب موجب شده تا کشاورزان علاوه بر زراعت به تولید محصولات خاص باغی مانند موز، انبه، پاپایا و گواوا بپردازند.

3. Odum and Peterson

1. Cochran
2. Odum

ضریب انرژی پایه بین سیاره‌ای (1.2×10^{24}) امژول خورشیدی (درسال) به روز شدند (براون و اولجیاتی، ۲۰۰۴). جدول ۲ ارائه‌دهنده مجموع جریان‌های ورودی انرژی به نظام‌های تولید موز، انبه، پاپایا و گواوا است. مقدار انرژی محاسبه شده تنها قادر است سهم هر یک از گروه‌ها به صورت کلی و هر یک از نهاده‌ها به صورت جزئی را ارائه دهد، اما قادر نیست سرانجام مدیریت نظام‌های تولیدی و تأثیر آن بر وضعیت پایداری تولید و محیط پیرامون را بیان کند. به همین دلیل نیاز است تا شاخص‌های وابسته به این تکنیک برای ارزیابی دقیق‌تر مورد توجه قرار گیرند. شاخص‌های انرژی برای اندازه‌گیری ساختار نهاده‌ها، کارایی تولید، اثرات زیست محیطی، عادلانه بودن مبادلات بازار، مزایای اقتصادی-اکولوژیکی بدست آمده و پایداری نظام‌های مورد مطالعه محاسبه شدند (لو و همکاران، ۲۰۰۹). شاخص‌های هدف این مطالعه که به واسطه آن‌ها می‌توان به اهداف فوق دست یافت شامل ضریب تبدیل (Tr)، انرژی ویژه (SpE)، درصد تجدیدپذیری انرژی ($R\%$)، نسبت عملکرد انرژی (EYR)، نسبت بارگذاری محیطی (ELR)، شاخص پایداری محیط زیست (ESI)، نسبت سرمایه‌گذاری انرژی (EIR)، نسبت مبادله انرژی (EER)، نسبت ورودی به خروجی (O/I) و سود خالص (NB) هستند که روابط محاسباتی آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

نتایج و بحث

جریان‌های ورودی به نظام‌های هدف مطالعه (موز، انبه، پاپایا و گواوا) به سه گروه محیطی تجدیدپذیر، محیطی تجدیدناپذیر و اقتصادی تقسیم می‌شوند. جدول ۱ مجموع این جریان‌ها را بر اساس واحدهای متفاوت (انرژی، وزن و پول) برای نظام‌های مورد نظر ارائه می‌دهد. جهت فراهم آوردن امکان مقایسه این نظام‌ها نیاز است تا جریان‌های ورودی با واحد یکسان بیان شوند. برای این منظور تمامی موارد فهرست شده در جدول ۱ پس از ضرب در ضرایب تبدیل مناسب (UEV) به واحد ام ژول خورشیدی تبدیل و

معانی خاصی دارند (ادوم، ۱۹۹۶)، ویژگی‌های شبکه‌ای نظام‌ها را نشان می‌دهد که برای نظام‌های هدف مطالعه در شکل ۱ مشاهده می‌شوند. گام دوم برای ارزیابی انرژی سازماندهی ورودی‌های مختلف در جداول ارزیابی انرژی است (کاولت^۱ و همکاران، ۲۰۰۶). جداول، جریان واقعی مواد، نیروی کار و انرژی را براساس نمودار ترسیم شده به نمایش می‌گذارند (براون و اولجیاتی، ۲۰۰۴). جریان‌های ورودی به نظام‌های مورد مطالعه به سه گروه تجدیدپذیر محیطی، تجدیدناپذیر محیطی و خریداری شده (تجدید پذیر و تجدیدناپذیر) تقسیم می‌شوند. انرژی خورشید، باد و باران از جمله نهاده‌های تجدیدپذیر هدف مطالعه هستند که طی دوره رشد فعال نظام‌های تولیدی جذب می‌شوند. علاوه بر نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر، نظام‌های تولیدی وابستگی غیرقابل انکاری به نوع تجدیدناپذیر این نهاده‌ها دارند. خاک از جمله این منابع است که طی فرایند تولید مورد فرسایش قرار می‌گیرد. میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل جهانی فرسایش خاک^۲ ($USLE$) تعیین شد. سایر داده‌های لازم برای این مطالعه که مربوط به نهاده‌های اقتصادی است از طریق مصاحبه حضوری با مدیران نظام‌های تولیدی جمع‌آوری شد. این نهاده‌ها شامل نیروی انسانی (۱۰ درصد تجدیدپذیری)، الکتریسیته (۵ درصد تجدیدپذیری)، کود دامی (۸۰ درصد تجدیدپذیری)، کود شیمیایی، سوخت‌های فسیلی، ماشین‌آلات و نهاده‌های سرمایه‌ای (نهاده‌هایی که یک بار در طول عمر نظام استفاده می‌شود) هستند.

میزان ورودی ماشین‌آلات براساس طول عمر پیش‌بینی شده آن‌ها بیان می‌شود. مقدار انرژی خروجی به‌عنوان کالری قابل سوختن با استفاده از روش ارائه شده در ISO1928 تعریف شد (دورادو^۳ و همکاران، ۲۰۰۶). مجموع ورودی‌ها به هر ۴ نظام تولیدی در جدول ۱ ارائه شده است. در انتها داده‌های خام با استفاده از ضرایب تبدیل مناسب^۴ (UEV) به واحد انرژی تبدیل و برای مشخص شدن مجموع جریان ورودی به نظام‌های تولیدی جمع می‌شوند (براون و اولجیاتی، ۲۰۰۴). ضرایب تبدیل براساس آخرین

8. Energy Yield Ratio

9. Energy Load Ratio

10. Energy Sustainability Index

11. Energy Investment Ratio

12. Energy Exchange Ratio

13. Output to input ratio

14. Net Benefit

1. Cavalett

2. Universal Soil Loss Equation

3. Dorado

4. Unit Energy Value

5. Transformity

6. Specific Emergy

7. Emergy renewability percentage

جدول ۱- جریان‌های طبیعی و اقتصادی نظام‌های تولید موز، انبه، پاپایا و گواوا در شهرستان قصرقند

ورودی	واحد	داده‌های خام تولید موز	داده‌های خام تولید انبه	داده‌های خام تولید پاپایا	داده‌های خام تولید گواوا	ضریب تبدیل	منبع
ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر							
انرژی خورشید	J	$4/49 \times 10^{13}$	$7/18 \times 10^{13}$	$4/49 \times 10^{13}$	$4/49 \times 10^{13}$	$1/0 \times 10^0$	تعریف
انرژی جنبشی باد	J	$2/27 \times 10^9$	$2/54 \times 10^9$	$2/27 \times 10^9$	$2/27 \times 10^9$	$1/25 \times 10^3$	(کمپل و اربان، ۲۰۱۷)
انرژی شیمیایی باران	J	$5/59 \times 10^9$	$7/25 \times 10^9$	$5/59 \times 10^9$	$5/59 \times 10^9$	$2/25 \times 10^4$	(کمپل و همکاران، ۲۰۰۵)
انرژی ژئوتانسیل باران	J	$9/25 \times 10^4$	$1/2 \times 10^5$	$9/25 \times 10^4$	$9/25 \times 10^4$	$1/34 \times 10^4$	
آب رودخانه	J	$5/13 \times 10^{10}$	$5/45 \times 10^{10}$	$4/61 \times 10^{10}$	$1/86 \times 10^{10}$	$3/61 \times 10^4$	
کل زیرمجموعه							
ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر							
آب زیرزمینی	J	$2/54 \times 10^{10}$	$6/01 \times 10^9$	$5/08 \times 10^9$	$1/85 \times 10^{10}$	$3/61 \times 10^4$	(کوادران و رایدربرگ، ۲۰۰۶)
فرسایش خاک	g	$1/56 \times 10^7$	$1/56 \times 10^7$	$1/56 \times 10^7$	$1/56 \times 10^7$	$1/27 \times 10^9$	
کل زیرمجموعه							
ورودی‌های اقتصادی							
نیروی انسانی	J	$7/97 \times 10^8$	$7/58 \times 10^8$	$1/1 \times 10^9$	$8/91 \times 10^8$	$2/22 \times 10^6$	(لو و همکاران، ۲۰۰۹)
کود نیتروژن	g	$1/50 \times 10^5$	$1/50 \times 10^5$	$3/20 \times 10^4$	$1/40 \times 10^5$	$3/09 \times 10^{10}$	(برنت-ویلیامز، ۲۰۰۲)
کود فسفر	g	$2/00 \times 10^5$	$1/50 \times 10^5$	$1/60 \times 10^4$	$1/40 \times 10^5$	$2/82 \times 10^{10}$	(برنت-ویلیامز، ۲۰۰۲)
کود پتاسیم	g	$2/00 \times 10^5$	$1/50 \times 10^5$	$4/00 \times 10^4$	$1/96 \times 10^5$	$2/23 \times 10^9$	(برنت-ویلیامز، ۲۰۰۲)
کود گوگرد	g	$8/00 \times 10^4$	$8/00 \times 10^4$	$6/00 \times 10^4$	$8/00 \times 10^4$	$2/05 \times 10^{10}$	
کود آلی	g	$2/00 \times 10^7$	$1/50 \times 10^7$	$6/00 \times 10^6$	$6/40 \times 10^6$	$2/96 \times 10^8$	(ادوم، ۱۹۹۶)
آفت‌کش	g	$0/00 \times 10^0$	$5/00 \times 10^2$	$0/00 \times 10^0$	$5/00 \times 10^2$	$1/89 \times 10^{11}$	(برنت-ویلیامز، ۲۰۰۲)
الکتریسیته	J	$6/58 \times 10^6$	$1/55 \times 10^6$	$1/31 \times 10^6$	$4/78 \times 10^6$	$2/31 \times 10^5$	(امیری و همکاران، ۲۰۱۹)
هزینه‌های سرمایه‌ای							
کل زیرمجموعه							
مجموع							
خروجی							
عملکرد اقتصادی	g						
عملکرد اقتصادی	J						

در جدول ۲ قرار گرفتند.

نتایج تحلیل انرژی نشان داد که مجموع جریان‌های انرژی به نظام‌های تولید موز، انبه، پاپایا و گواوا در قصرقند به ترتیب $5/20 \times 10^{16}$ ، $6/98 \times 10^{16}$ ، $1/08 \times 10^{19}$ و $3/71 \times 10^{16}$ ام‌ژول خورشیدی در هکتار در سال بود. همانطور که مشاهده می‌شود نظام تولید پاپایا بیشترین جریان ورودی را در میان سه نظام مورد مطالعه داشت. علت مقدار محاسبه شده تعداد زیاد نهال (۸۰۰ عدد) مورد استفاده در هر هکتار و بیشتر بودن قیمت نشاء پاپایا نسبت به سه محصول دیگر هدف مطالعه بود (فایل ضمیمه) که موجب افزایش نهاده سرمایه‌ای به نظام‌های تولید پاپایا شد. نهاده‌های سرمایه‌ای بیشترین ورودی‌ها به نظام‌های تولید موز و انبه قصرقند نیز بودند. نظام تولید موز پس از این نهاده بیشترین وابستگی را به کود دامی و فسفر بهبوددهنده محتوای غذایی خاک داشت. در

صورتیکه نظام تولید انبه جهت بهبود تغذیه درختان ابتدا وابسته به نیتروژن، سپس کود دامی بود. از مطالب فوق می‌توان به این نتیجه رسید که علاوه بر پاپایا، بیشترین وابستگی به جریان‌های ورودی در سه نظام دیگر (موز، انبه و گواوا) نیز مربوط به نهاده‌های حاصل از اقتصاد انسانی است (جدول ۲).

پس از نهاده‌های اقتصادی، نوع تجدیدنپذیر جریان‌های محیطی، موثرترین ورودی‌ها به نظام‌های هدف مطالعه در قصرقند در طول یک سال بودند. فرسایش خاک تاثیرگذارترین نهاده این گروه از ورودی‌ها بود که به ترتیب بر روند تولید گواوا، موز، انبه و پاپایا بیشترین اثر را از مجموع ورودی‌ها به این نظام‌ها داشت. علاوه بر فرسایش خاک، ورودی محیطی تجدیدنپذیر دیگری که به بررسی آن پرداخته شد، میزان آب مصرفی از منابع زیرزمینی است. نظام‌های تولید موز و گواوا به ترتیب با $9/17 \times 10^{14}$

جدول ۲- نتایج تحلیل امرژی نظام‌های تولید موز، انبه، پاپایا و گواوا در شهرستان قصرقند

ورودی	درصد	امرژی موز	امرژی انبه	امرژی پاپایا	امرژی گواوا
تجدیدپذیری					
ورودی‌های محیطی					
تجدیدپذیر					
انرژی خورشید	۱	۴/۴۹×۱۰ ^{۱۳}	۷/۱۸×۱۰ ^{۱۳}	۴/۴۹×۱۰ ^{۱۳}	۴/۴۹×۱۰ ^{۱۳}
انرژی جنبشی باد	۱	۲/۸۴×۱۰ ^{۱۲}	۳/۱۷×۱۰ ^{۱۲}	۲/۸۴×۱۰ ^{۱۲}	۲/۸۴×۱۰ ^{۱۲}
انرژی شیمیایی باران	۱	۱/۲۶×۱۰ ^{۱۴}	۱/۶۳×۱۰ ^{۱۴}	۱/۲۶×۱۰ ^{۱۴}	۱/۲۶×۱۰ ^{۱۴}
انرژی ژئوتانسیل باران	۱	۱/۲۴×۱۰ ^۹	۱/۶۱×۱۰ ^۹	۱/۲۴×۱۰ ^۹	۱/۲۴×۱۰ ^۹
آب رودخانه	۱	۱/۸۵×۱۰ ^{۱۵}	۱/۹۷×۱۰ ^{۱۵}	۱/۶۷×۱۰ ^{۱۵}	۶/۷۳×۱۰ ^{۱۴}
کل زیرمجموعه		۱/۸۵×۱۰ ^{۱۵}	۱/۹۷×۱۰ ^{۱۵}	۱/۶۷×۱۰ ^{۱۵}	۶/۷۳×۱۰ ^{۱۴}
ورودی‌های محیطی					
تجدیدناپذیر					
آب زیرزمینی	۰	۹/۱۷×۱۰ ^{۱۴}	۲/۱۷×۱۰ ^{۱۴}	۱/۸۳×۱۰ ^{۱۴}	۶/۶۷×۱۰ ^{۱۴}
فرسایش خاک	۰	۱/۹۸×۱۰ ^{۱۶}	۱/۹۸×۱۰ ^{۱۶}	۱/۹۸×۱۰ ^{۱۶}	۱/۹۸×۱۰ ^{۱۶}
کل زیرمجموعه		۲/۰۷×۱۰ ^{۱۶}	۲/۰۰×۱۰ ^{۱۶}	۲/۰۰×۱۰ ^{۱۶}	۲/۰۵×۱۰ ^{۱۶}
ورودی‌های اقتصادی					
نیروی انسانی	۰/۱	۱/۷۷×۱۰ ^{۱۵}	۱/۶۸×۱۰ ^{۱۵}	۲/۴۴×۱۰ ^{۱۵}	۱/۹۸×۱۰ ^{۱۵}
کود نیتروژن	۰	۴/۶۴×۱۰ ^{۱۵}	۴/۶۴×۱۰ ^{۱۵}	۹/۸۹×۱۰ ^{۱۴}	۴/۳۳×۱۰ ^{۱۵}
کود فسفر	۰	۵/۶۴×۱۰ ^{۱۵}	۴/۲۳×۱۰ ^{۱۵}	۴/۵۱×۱۰ ^{۱۴}	۳/۹۵×۱۰ ^{۱۵}
کود پتاسیم	۰	۴/۴۶×۱۰ ^{۱۴}	۳/۳۵×۱۰ ^{۱۴}	۸/۹۲×۱۰ ^{۱۳}	۴/۳۷×۱۰ ^{۱۴}
کود گوگرد	۰	۱/۶۴×۱۰ ^{۱۵}	۱/۶۴×۱۰ ^{۱۵}	۱/۲۳×۱۰ ^{۱۵}	۱/۶۴×۱۰ ^{۱۵}
کود آلی	۰/۸	۵/۹۲×۱۰ ^{۱۵}	۴/۴۴×۱۰ ^{۱۵}	۱/۷۸×۱۰ ^{۱۵}	۲/۴۹×۱۰ ^{۱۵}
آفت‌کش	۰	۰/۰۰×۱۰ ^۰	۹/۴۵×۱۰ ^{۱۵}	۰/۰۰×۱۰ ^۰	۹/۴۵×۱۰ ^{۱۲}
الکتریسته	۰/۰۵	۱/۵۲×۱۰ ^{۱۲}	۳/۵۸×۱۰ ^{۱۱}	۳/۰۳×۱۰ ^{۱۱}	۱/۱۰×۱۰ ^{۱۲}
هزینه‌های سرمایه ای	۰	۹/۳۶×۱۰ ^{۱۵}	۳/۰۸×۱۰ ^{۱۶}	۱/۰۸×۱۰ ^{۱۹}	۱/۱۰×۱۰ ^{۱۵}
کل زیرمجموعه		۲/۹۴×۱۰ ^{۱۶}	۴/۷۸×۱۰ ^{۱۶}	۱/۰۸×۱۰ ^{۱۹}	۱/۵۹×۱۰ ^{۱۶}
مجموع		۵/۲۰×۱۰ ^{۱۶}	۶/۹۸×۱۰ ^{۱۶}	۱/۰۸×۱۰ ^{۱۹}	۳/۷۱×۱۰ ^{۱۶}
خروجی					
عملکرد اقتصادی (kg)		۲/۳۰×۱۰ ^۴	۱/۳۰×۱۰ ^۴	۳/۰۰×۱۰ ^۴	۱/۲۰×۱۰ ^۴
عملکرد اقتصادی (J)		۴/۳۷×۱۰ ^{۱۰}	۲/۴۷×۱۰ ^{۱۰}	۵/۷۰×۱۰ ^{۱۰}	۲/۲۸×۱۰ ^{۱۰}

جدول ۳- فرمول شاخص‌های امرژی نظام‌های تولید موز، انبه، پاپایا و گواوا در شهرستان قصرقند

شاخص‌ها	واحد	فرمول
ضریب تبدیل (Tr)	sej/J	$Tr = U / E \text{ (sej J-1)}$
امرژی ویژه (SpE)	sej/g	$SE = U / W$
درصد تجدیدپذیری امرژی (R%)		$\%R = (R+FR) / U$
نسبت مبادله امرژی (EER)		$EER = YM / U$
نسبت عملکرد امرژی (EYR)		$EYR = U / (FR+FN)$
نسبت بارگذاری محیطی (ELR)		$ELR = (FN + N0 + FR)/R$
نسبت پایداری محیط زیست (ESI)		$ESI = EYR / ELR$
نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR)		$EIR = (FN + FR) / (R + N0)$
نسبت ورودی به خروجی (O/I)		$O/I = M_T / TCP$
سود خالص (NB)		$NB = MY - TCP$
ارزش عملکرد اقتصادی (Y _M)	Rials/g	

U = مجموع ورودی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر
Y_M = ارزش بازار عملکرد اقتصادی محصول × ضریب تبدیل پول
E = عملکرد اقتصادی
TCP = مجموع هزینه نهاده‌های اقتصادی
M_T = دریافتی تولیدکننده ناشی از فروش محصول

می‌کند (براون و اولجیاتی، ۲۰۰۴). این در حالی است که نسبت بین مجموع امرژی مصرف شده و وزن اقتصادی محصول توسط شاخص امرژی ویژه (SpE) مشخص می‌شود (ادوم، ۱۹۹۸). این دو شاخص به بررسی کارایی استفاده از امرژی طی فرایند تولید می‌پردازند که به ترتیب با واحدهای امژول خورشیدی بر ژول و امژول خورشیدی بر گرم بیان می‌شوند (ادوم، ۱۹۹۶).

نسبت امرژی ورودی به انرژی خروجی در قالب میوه محصول نظام‌های تولید موز، انبه، پاپایا و گواوا به ترتیب برابر $۱/۱۹ \times ۱۰^۶$ ، $۲/۸۲ \times ۱۰^۶$ ، $۱/۹۰ \times ۱۰^۸$ و $۱/۶۳ \times ۱۰^۶$ امژول خورشیدی بر ژول محاسبه شد. همچنین با رعایت ترتیب ذکر شده، مقدار شاخص امرژی ویژه برای این نظام‌ها برابر $۲/۲۶ \times ۱۰^{۱۲}$ ، $۵/۳۷ \times ۱۰^{۱۲}$ ، $۳/۰۹ \times ۱۰^{۱۴}$ و $۳/۶۲ \times ۱۰^{۱۴}$ امژول خورشیدی بر کیلوگرم بدست آمد. از نتایج حاصل می‌توان استنباط کرد که نظام تولید پاپایا به لحاظ استفاده از امرژی نسبت به سه نظام دیگر کاراتر است. این نتیجه در حالی بدست آمد که امرژی حمایتی از تولید پاپایا بسیار بیشتر از موز، انبه و گواوا مصرف شده بود. علت نتیجه حاصل را می‌توان به عملکرد بالای پاپایا در مقایسه با سه محصول دیگر نسبت داد (جدول ۴).

و $۶/۶۷ \times ۱۰^{۱۴}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال بیشترین مصرف آب زیرزمینی را به خود اختصاص دادند. این در حالی است که انبه تولید شده در قصرقند نسبت به موز، پاپایا و گواوا این شهرستان وابستگی بیشتری به آب‌های سطحی و تجدیدپذیر داشت.

تحلیل امرژی نظام‌های هدف مطالعه تنها قادر است این سامانه‌ها را از نظر میزان ورودی‌ها و وابستگی هر کدام به نوع خاصی از نهاده‌ها بررسی و با هم مقایسه کند، اما درک درستی از هزینه‌های اقتصادی و زیست محیطی توسط آن‌ها ایجاد نمی‌کند. برای این منظور نیاز است تا شاخص‌های وابسته به این تکنیک که به بررسی کارایی استفاده از امرژی (Tr و SpE)، تعامل با محیط (EYR)، عملکرد اقتصادی و عدالت تجاری (EIR و ELR)، پایداری نظام (BN و O/I)، ایمنی تولید (EIPS) نظام‌های هدف مطالعه می‌پردازند توجه شود (جکلیک^۱ و همکاران، ۲۰۱۴؛ لو و همکاران، ۲۰۱۷).

کارایی استفاده از امرژی

ترنسفورمیتی (Tr) نسبت بین مجموع امرژی مصرف شده (ورودی) و محتوای انرژی دریافت شده (خروجی) را بیان

جدول ۴- نتایج شاخص‌های امرژی نظام‌های تولید موز، انبه، پاپایا و گواوا در شهرستان قصرقند

شاخص‌ها	شاخص‌های موز	شاخص‌های انبه	شاخص‌های پاپایا	شاخص‌های گواوا
ضریب تبدیل (Tr)	$۱/۱۹ \times ۱۰^۶$	$۲/۸۲ \times ۱۰^۶$	$۱/۹۰ \times ۱۰^۸$	$۱/۶۳ \times ۱۰^۶$
امرژی ویژه (SpE)	$۲/۲۶ \times ۱۰^{۱۲}$	$۵/۳۷ \times ۱۰^{۱۲}$	$۳/۰۹ \times ۱۰^{۱۴}$	$۳/۶۲ \times ۱۰^{۱۴}$
درصد تجدیدپذیری امرژی (R%)	۱۳٪	۸٪	۰٪	۸٪
نسبت مبادله امرژی (EER)	۰/۱۱۱	۰/۲۴۱	۱۷/۸	۰/۱۳۱
نسبت عملکرد امرژی (EYR)	$۱/۷۷ \times ۱۰^۰$	$۱/۴۶ \times ۱۰^۰$	$۱/۰۰ \times ۱۰^۰$	$۲/۳۳ \times ۱۰^۰$
نسبت بارگذاری محیطی (ELR)	$۲/۷۱ \times ۱۰^۱$	$۳/۴۵ \times ۱۰^۱$	$۶/۵۱ \times ۱۰^۳$	$۵/۴۱ \times ۱۰^۱$
نسبت پایداری محیط زیست (ESI)	۰/۰۶۵۲	۰/۰۴۲۴	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۴۳۰
نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR)	$۱/۳۰ \times ۱۰^۰$	$۲/۱۷ \times ۱۰^۰$	$۵/۰۰ \times ۱۰^۲$	۰/۷۵۳
شاخص اقتصادی (O/I)	$۴/۷۹ \times ۱۰^۰$	$۴/۲۱ \times ۱۰^۰$	$۶/۹۲ \times ۱۰^۰$	$۵/۸۴ \times ۱۰^۰$
سود خالص (NB)	$۵/۴۶ \times ۱۰^۹$	$۳/۲۷ \times ۱۰^۹$	$۷/۷۰ \times ۱۰^۹$	$۳/۴۸ \times ۱۰^۹$

تعامل با محیط

سه شاخص نسبت عملکرد امرژی (EYR)، نسبت بارگذاری محیطی (ELR) و نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR) در این گروه قرار دارند. EYR برای تعیین میزان جذب موثر منابع در دسترس محلی طی فرایند تولید استفاده می‌شود (اولجیاتی و براون، ۱۹۹۸). رابطه ریاضی این شاخص یک

تقسیم است که در آن مجموع امرژی ورودی در صورت و زیرمجموعه جریان‌های اقتصادی در مخرج قرار می‌گیرد. حداقل EYR قابل دستیابی ۱ است که نبود سهم منابع محلی و وابستگی به منابع خریداری شده را بیان می‌کند (براون و اولجیاتی، ۱۹۹۸). با توجه به رابطه تعریف شده برای این شاخص، هر چه مقدار ورودی‌ها به نظام تولیدی

اظهار نظر کردند که ELR حدود دو یا کمتر نشان‌دهنده فشار محیطی نسبتاً کم، ELR بین ۲ و ۱۰ بیان‌کننده فشار محیطی متوسط و بیشتر از ده منعکس‌کننده فشار محیطی زیاد است.

از میان نظام‌های مورد بررسی با توجه به شاخص نسبت بارگذاری محیطی نظام تولید پاپایا (۶۵۱) بیشترین تنش را به محیط تحمیل کرد. پس از پاپایا، گواوا (۵۴/۱)، انبه (۳۴/۵) و موز (۲۷/۱) تولید شده در منطقه هدف مطالعه به ترتیب بیشترین تأثیر منفی را بر محیط پیرامون خود وارد کردند. علاوه بر جدول ۲، مقدار حاصل از شاخص ELR نیز نشان‌دهنده سهم قابل توجه نهاده‌های اقتصادی در مدیریت نظام‌های تولید پاپایا بود که نتیجه آن ایجاد فشار حداکثری به محیط و ناپایداری این سامانه‌ها در بلند مدت است. گواوا، انبه و موز تولید شده در قصرقند تنش متوسطی ($ELR < 10$) را به محیط وارد می‌کنند.

مقادیر ۷/۷۲۱، ۱۲/۶۶۵، ۲۳/۲۲۳ و ۰/۷۸۵ برای ELR چهار نظام مکانیزه، حفاظتی، سنتی و طبیعی موسیر در استان لرستان توسط امیری^۳ و همکاران (۲۰۲۱) برآورد شد. همچنین نتیجه این شاخص برای تولید موز، وامپی، پاپایا و گواوا در چین به ترتیب ۱۰، ۶/۶، ۴/۱ و ۳/۲ محاسبه شد (لو و همکاران، ۲۰۰۹). در سیستم نیز از این شاخص برای درک تأثیر تولید انگور بر محیط استفاده و مقدار آن ۵/۳۱۱ برآورد شد (فروت‌عنایت و همکاران، ۱۴۰۲). پاپایای تولید شده در قصرقند بیشترین تنش را در میان نظام‌های این منطقه و نظام‌هایی که پیشتر در لرستان، چین و سیستم مورد بررسی قرار گرفته‌اند به محیط تحمیل می‌کند.

نسبت سرمایه‌گذاری انرژی (EIR)، بازخورد انرژی خریداری شده تقسیم بر ورودی‌های انرژی رایگان (محیطی تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر) را نشان می‌دهد (بوانفیل^۴، ۲۰۰۱). یک نظام پایدار تمایل به استفاده از نهاده‌های محیطی بویژه از نوع تجدیدپذیر دارد. بنابراین افزایش مقدار این نهاده‌ها نسبت به ورودی‌های اقتصادی موجب کوچک شدن عدد حاصل از شاخص EIR شده و تداوم تولید در سامانه هدف را نشان می‌دهد. کمترین مقدار شاخص نسبت سرمایه‌گذاری انرژی (EIR) از میان نظام‌های مورد بررسی در منطقه هدف مطالعه

از نوع محیطی زیاد و اقتصادی کم باشد، مقدار EYR افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده بازدهی بالا در استفاده از منابع محلی است. مقادیر حاصل از نسبت عملکرد انرژی را می‌توان اینگونه توصیف کرد که $EYR > 15$ پایداری بالا، $EYR < 4$ پایداری متوسط و $EYR < 4$ پایداری پایین یک نظام تولیدی را نشان می‌دهد (ژانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۹).

مقدار EYR برای تولید موز، انبه، پاپایا و گواوا به ترتیب برابر ۱/۷۷، ۱/۴۶، ۱/۰۰ و ۲/۲۳ محاسبه شد. بنابراین با توجه به نتایج، هیچ کدام از نظام‌های هدف مطالعه به لحاظ پایداری در جایگاه مطلوبی قرار ندارد. به عبارتی این نظام‌ها ناپایدار هستند و قادر به بهره‌برداری از منابع محلی نیستند. کاولت و همکاران (۲۰۰۶) چنین نظام‌هایی را به عنوان مصرف‌کننده معرفی کردند. با این وجود از میان چهار نظام مورد بررسی در قصرقند، تولید گواوا با توجه به مقدار شاخص EYR، بیشترین وابستگی را به نهاده‌های محیطی داشت.

نسبت عملکرد انرژی برای چهار محصول موز، پاپایا، گواوا و وامپی تولید شده در اطراف رودخانه مروارید چین به ترتیب ۱/۰۴، ۱/۱۶، ۱/۳۱ و ۱/۳۰ محاسبه شد (لو و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین مقدار این شاخص برای تولید انگور یا قوتی سیستان ۲/۸۰ (فروت‌عنایت و همکاران، ۱۴۰۲) و خرما و پسته نهبندان به ترتیب ۱/۷۱ و ۱/۶۹ (جعفری^۲ و همکاران، ۲۰۱۸) برآورد شد. با توجه به درجه‌بندی صورت گرفته توسط ژانگ و همکاران (۲۰۱۹) همه نظام‌های تولیدی در قصرقند، چین، سیستم و نهبندان در گروه سامانه‌های با پایداری پایین قرار دارند.

نسبت بارگذاری محیطی (ELR) برآوردی از تأثیر زیست محیطی نظام مورد مطالعه است که درباره نسبت بین مجموع منابع تجدیدنپذیر محیطی و اقتصادی به جریان‌های تجدیدپذیر محیطی گزارش می‌دهد (براون و اولجیاتی، ۲۰۰۴). رابطه محاسباتی این شاخص مشخص می‌کند که هر چه عدد محاسبه شده بزرگ‌تر باشد، سهم نهاده‌های محیطی تجدیدنپذیر و اقتصادی در جریان تولید بیشتر و متعاقب آن استرس تحمیلی به محیط زیادت‌تر است. برای درک بهتر این موضوع کاولت و همکاران (۲۰۰۶) در توصیف نتایج حاصل از این شاخص اینگونه

3. Amiri
4. Buenfil

1. Zhang
2. Jafari

امرژنی بیشتری نسبت به نظام‌های موز، انبه، پاپایا و گواوا در قصرقند برخوردار بودند.

شاخص پایداری محیطی (ESI) حاصل تقسیم EYR بر ELR است (براون و اولجیاتی، ۲۰۰۴) و پایداری یک فرایند تولیدی را اندازه‌گیری می‌کند (اولجیاتی و براون، ۱۹۹۸). وابستگی این شاخص به نسبت بارگذاری محیطی و قرارگیری آن در مخرج کسر به این موضوع اشاره دارد که پایداری نظام هدف به بزرگ شدن مقدار این شاخص (ESI) نیازمند است. براون و اولجیاتی (۱۹۹۷) نیز این موضوع را تأیید می‌کنند، آن‌ها نتایج حاصل را اینگونه توصیف می‌کنند که مقادیر بزرگتر از ۵ بیانگر پایداری نظام، بین ۱ تا ۵ نشان‌دهنده نظامی نیمه‌پایدار و کمتر از یک ناپایداری نظام تولیدی را نشان می‌دهد.

مقدار شاخص پایداری محیطی برای نظام‌های تولید موز، انبه، پاپایا و گواوا به ترتیب ۰/۰۶۵۲، ۰/۰۴۲۴، ۰/۰۰۱۵ و ۰/۰۴۳۰ محاسبه شد. با توجه به دسته‌بندی نتایج حاصل از شاخص ESI در گروه‌های پایدار ($ESI > 5$)، نیمه پایدار ($1 < ESI < 5$) و ناپایدار ($ESI < 1$)، هر چهار نظام مورد مطالعه به دلیل وابستگی به نهاده‌های اقتصادی و تجدیدنپذیر، ناپایدار هستند.

مطالعات دیگری نیز به بررسی شاخص ESI پرداختند که مانند نظام‌های هدف در قصرقند ناپایدار بودند. به عنوان مثال می‌توان به نظام‌های تولید اکولوژیک (۰/۰۸)، تلفیقی (۰/۰۴) با ورودی پایین، متوسط و بالای (به ترتیب ۰/۰۷، ۰/۰۴ و ۰/۰۳) لوبیا در استان مرکزی (اصغری پور و همکاران، ۲۰۱۹)، پسته (۰/۹۳) در نهبندان (جعفری و همکاران، ۲۰۱۸)، موز (۰/۱۰)، پاپایا (۰/۲۹)، گواوا (۰/۴۰) و وامپی (۰/۲۰) در چین (لو و همکاران، ۲۰۰۹) اشاره کرد.

عدالت تجاری برای ورودی‌ها و خروجی‌ها

نسبت مبادله امرژی (EER) به عنوان امرژی خورشیدی یک محصول یا جریان تقسیم بر ارزش امرژی خورشیدی از پرداخت شده برای آن شناخته شده است (کوالت و همکاران، ۲۰۰۶). به زبان ساده‌تر، EER نسبت امرژی دریافتی به امرژی داده شده در هر معامله اقتصادی را نشان می‌دهد (کمپل و اوهر^۳، ۲۰۰۹)، یا به ارزیابی ارزش برابری تجارت بین نظام تولیدی و بازار می‌پردازد (دو^۴ و همکاران، ۲۰۲۲). کوچکتر بودن عدد حاصل از محاسبه

مربوط به تولید گواوا (۰/۷۵۳) بود. همانطور که در جدول ۲ نیز مشاهده می‌شود، این نظام تولیدی نسبت به سه نظام دیگر (موز، انبه و پاپایا) وابستگی بیشتری به نهاده‌های محیطی دارد. همچنین این جدول نشان می‌دهد که نظام تولید پاپایا بیشترین وابستگی را به جریان‌های اقتصادی داشت، این موضوع موجب شد تا مقدار EIR محاسبه شده (۵/۰۰) برای آن بیشتر از سه نظام دیگر باشد.

اصغری پور^۱ و همکاران (۲۰۲۰) چهار نظام تولید خیار، گوجه‌فرنگی، فلفل دلمه‌ای و بادمجان گل‌خلنه‌ای در جیرفت را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها مقادیر حاصل از شاخص نسبت سرمایه‌گذاری امرژی برای این محصولات را به ترتیب ۴۳/۴۴، ۷۰/۰، ۷۴/۸۲ و ۸۲/۷۳ گزارش کردند. همچنین مقدار این شاخص برای تولید موز در برزیل ۱۶/۹۶ (باروس و همکاران، ۲۰۰۹) برآورد شد. بنابراین نهاده‌های محیطی در تولید گواوا قصرقند نسبت به سایر نظام‌های مورد بررسی در این بخش بیشترین تأثیر را داشت.

پایداری نظام

درصد تجدیدنپذیری امرژی ($R\%$)، درصدی از جریان‌های امرژی ورودی به نظام است که توسط منابع تجدیدنپذیر تامین می‌شوند (اولجیاتی و براون^۲، ۱۹۹۸). بیشترین نسبت امرژی تجدیدنپذیر محاسبه شده در میان نظام‌های هدف مطالعه مربوط به تولید موز با ۱۳ درصد تجدیدنپذیری بود. پس از موز، انبه و گواوا هر کدام با ۸ درصد تجدیدنپذیری قرار داشتند. سهم بالای جریان‌های اقتصادی که درصد تجدیدنپذیری آن‌ها زیاد است موجب شد تا نسبت تجدیدنپذیری نظام تولید گواوا به صفر برسد. براون و اولجیاتی (۱۹۹۷) معتقدند که فرایندها یا نظام‌های دارای $R\%$ بالاتر به پایداری نزدیک‌تر هستند. بنابراین در میان نظام‌های مورد بررسی، تولید موز نسبت به سایر نظام‌ها پایدارتر است.

تولید انگور (۱۸/۵۲ درصد) در سیستان (فرتوت‌عنایت و همکاران، ۱۴۰۲) و خیار، گوجه، فلفل دلمه‌ای و بادمجان (به ترتیب ۱۹/۴، ۱۸/۷، ۱۸/۴ و ۱۷/۷ درصد) در جیرفت (اصغری پور و همکاران، ۲۰۲۰) از درصد تجدیدنپذیری

3. Campbell and Ohr

4. Du

1. Asgharipour

2. Ulgiati and Brown

مطلوب‌تری قرار دارد. علت این موضوع می‌تواند تعداد زیاد درخت در نظام تولیدی و به‌دنبال آن افزایش عملکرد نسبت به سایر نظام‌های مورد مطالعه باشد. همچنین ارزش بازاری این محصول در منطقه هدف مطالعه بیشتر از سایر محصولات مورد مطالعه است.

شاخص O/I برای سه نظام پرورش گاو به صورت گسترده، نیمه‌فشرده و فشرده در سیستان به ترتیب ۴/۱۶، ۱/۷۳ و ۱/۶۹ محاسبه شد (امیری و همکاران، ۲۰۲۲).

NB حاصل تقسیم دارایی‌های کسب شده از نظام تولیدی بر سرمایه‌های هزینه شده در این نظام است. به عبارتی این شاخص به برآورد مقدار سود خالص حاصل از تولید محصول می‌پردازد (لو و همکاران، ۲۰۱۷). مقدار سود خالص برآورد شده ناشی از فروش محصول و کسر هزینه‌های تولید در نظام‌های موز، انبه، پاپایا و گواوا به ترتیب $5/46 \times 10^9$ ، $3/27 \times 10^9$ ، $7/70 \times 10^9$ و $3/48 \times 10^9$ ریال در یک سال بود (جدول ۴). سود بیشتر پاپایا به دلیل وزن خروجی و قیمت فروش بیشتر این محصول در بازار بود.

پرورش‌دهندگان گاو به صورت گسترده، نیمه‌فشرده و فشرده در سیستان به ترتیب $2/19 \times 10^9$ ، $1/95 \times 10^9$ و $2/98 \times 10^9$ ریال سود خالص طی یک دوره پرورش دریافت کردند (امیری و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین نظام‌های هدف مطالعه در قسرقند نسبت به پرورش گاو در منطقه سیستان از نظر شاخص‌های اقتصادی O/I و NB برای تولیدکننده مناسب‌تر هستند.

ایمنی تولید

شاخص امرژی ایمنی محصولات کشاورزی (EIPS)

این شاخص به ارزیابی ایمنی محصول در اثر استفاده از انواع مواد شیمیایی می‌پردازد (گوان^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). مواد شیمیایی مورد استفاده در نظام‌های کشاورزی شامل انواع کودها و سموم جهت بهبود تغذیه و کنترل آفات و بیماری‌ها هستند. استفاده بی‌رویه از این نهاده‌ها اثرات جبران‌ناپذیری بر سلامت مصرف‌کنندگان و محیط می‌گذارد. به عنوان مثال تجمع فلزات سنگین از خطراتی است که استفاده از کودها و سایر مواد شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی رایج، خاک را تهدید می‌کند (کومار^۲ و همکاران، ۲۰۲۱). فلزات معمولاً به دلیل نیمه عمر طولانی

این شاخص نشان‌دهنده موفق بودن تولیدکننده از نظر اقتصادی است. اما وقتی برابر با یک باشد، برابری در تجارت را نشان می‌دهد یعنی ارزش فروش یک محصول، برابر با امرژی دریافتی آن است (لو و کمپل، ۲۰۰۹).

نسبت مبادله امرژی برای چهار نظام تولید موز، انبه، پاپایا و گواوا در قسرقند به ترتیب برابر ۰/۱۱۱، ۰/۲۴۱، ۱۷/۸، ۰/۱۳۱ محاسبه شد. نتایج این شاخص نشان داد که در تولید پاپایای قسرقند، امرژی ورودی به نظام بیشتر از امرژی دریافت شده ناشی از فروش محصول است. این موضوع موجب شده تا از میان نظام‌های مورد بررسی نظام تولید پاپایا از دیدگاه تولیدکننده در وضعیت نامطلوبی قرار داشته باشد که علت آن را می‌توان ورودی‌های اقتصادی بالای این سامانه‌ها نسبت داد. این در حالی است که مدیران نظام‌های تولید موز، انبه و گواوا به ترتیب ۰/۱۱۱، ۰/۲۴۱ و ۰/۱۳۱ برابر بیشتر از ارزش نهاده‌های تزییقی به نظام، توسط فروش محصولات امرژی دریافت می‌کنند. به عبارتی تولیدکنندگان موز، انبه و گواوا برندگان این داد و ستد هستند.

محققان مقدار EER را برای تولید خیار، گوجه‌فرنگی، فلفل دلمه‌ای و بادمجان گلخانه‌ای در جیرفت به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۵، ۰/۶ و ۰/۳۷ گزارش کردند (اصغری‌پور و همکاران، ۲۰۲۰). در برزیل نیز سه نظام تولید غلات، پرورش خوک و ماهی و نظامی حاصل از تلفیق این سه مورد بررسی قرار گرفت. نسبت مبادله امرژی به ترتیب برای نظام‌های غلات، پرورش خوک، ماهی و تلفیقی، ۱۲/۷، ۷/۹، ۱۵ و ۶/۸ محاسبه شد (کاولت و همکاران، ۲۰۰۶). همچنین تولید انگور در سیستان نیز دارای EER معادل ۶/۹ بود (فروت‌عنایت و همکاران، ۱۴۰۲).

دو شاخص دیگر که در گروه عدالت تجاری برای ورودی‌ها و خروجی‌ها قرار می‌گیرند شاخص‌های اقتصادی O/I و NB براساس قیمت بازاری آن‌ها در مرزهای زمانی هدف مطالعه هستند. شاخص O/I حاصل تقسیم قیمت روز خروجی‌ها بر هزینه صرف شده جهت خریداری نهاده‌های اقتصادی برای نظام تولیدی است (لو و همکاران، ۲۰۱۷). مقدار O/I محاسبه شده برای تولید موز، انبه، پاپایا و گواوا در شهرستان قسرقند به ترتیب ۴/۷۹، ۴/۲۱، ۶/۹۲ و ۵/۸۴ برآورد شد. نتایج نشان داد که مقدار O/I محاسبه شده برای تولید پاپایا نسبت به سه نظام دیگر در وضعیت

تر و ماهیت نسبتاً غیرمتحرک، برخی از آنها در خاک پایدار هستند (سان^۱ و همکاران، ۲۰۰۱) و برخی دیگر که متحرک و قابل جذب هستند، توسط ریشه گیاه جذب و سلامت انسان را از طریق زنجیره غذایی تهدید می‌کنند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹).

مقدار شاخص ایمنی محصولات کشاورزی برای نظام‌های تولید موز، انبه، پاپایا و گواوا در قصرقند به ترتیب ۰/۵۸۰، ۰/۷۷۳، ۰/۰۰۰۲۶ و ۰/۶۵۰ محاسبه شد. با توجه به اینکه هر چه عدد حاصل از شاخص EIPS بزرگ‌تر باشد ایمنی بیشتر است (گوان و همکاران، ۲۰۱۶)، انبه تولید شده در قصرقند نسبت به سایر محصولات مورد مطالعه ایمن‌تر است. علت نتیجه حاصل مصرف کمتر مواد شیمیایی در این نظام نسبت به سه نظام دیگر بود (جدول ۲).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج مطالعه بر روی چهار نظام تولید میوه‌های گرمسیری در منطقه قصرقند نشان داد که نظام پاپایا با $0.89/1 \times 10^{19}$ سولار ام‌جول در هکتار در سال، بالاترین ورودی انرژی را به خود اختصاص داد، اما به دلیل عملکرد بالا و قیمت مناسب بازار، بالاترین شاخص‌های اقتصادی (O/I) و (NB) را کسب کرد و سودآورترین نظام شناخته شد. نظام گواوا به علت وابستگی بیشتر به نهاده‌های زیست‌محیطی

رایگان، بهترین عملکرد را در شاخص‌های تعامل با محیط (EIR و EYR) از خود نشان داد. نظام تولید موز با تکیه بر منابع طبیعی رایگان، کمترین بار زیست‌محیطی (ELR) را به محیط تحمیل کرد و نظام انبه به دلیل مصرف کمتر مواد شیمیایی، ایمن‌ترین محصول را از نظر سلامت مصرف‌کننده (EIPS) ارائه نمود. به‌طور کلی نتایج تأکید می‌کنند که استفاده بهینه و کاهش نهاده‌های تجدیدنپذیر و شیمیایی و جایگزینی آن‌ها با منابع طبیعی رایگان، تأثیر قابل توجهی بر افزایش پایداری اقتصادی، اکولوژیک و سلامت این نظام‌ها دارد. بر این اساس پیشنهاد شد: در نظام پاپایا مصرف کودهای شیمیایی کاهش و از آب باران و کود آلی بیشتر استفاده شود؛ در گواوا فناوری‌های نوین نظیر آبیاری قطره‌ای و کنترل زیستی به کار گرفته شود؛ در نظام موز و انبه کشت‌های مخلوط، تناوبی و تناوبی اجرا گردد تا هم درآمد و امنیت غذایی کشاورزان افزایش یابد و هم خاک حاصلخیزتر و مقاوم‌تر شود. همچنین با توجه به اینکه این پژوهش مقدار دقیق بهینه مصرف نهاده‌ها را تعیین نکرد و این مقدار تحت تأثیر عوامل متعدد خاک، اقلیم، بازار، آفات و سیاست‌ها قرار دارد، بررسی مقدار بهینه نهاده‌ها به عنوان یک محدودیت مطالعه مطرح و پیشنهاد شد در تحقیقات آتی با دقت بیشتری پیگیری شود.

منابع

- آخوندی، س. و حسینی، م. ۱۳۹۹. سالنامه آماری استان سیستان و بلوچستان. مرکز آمار ایران، انتشارات مرکز آمار ایران، تهران، ۸۴۸ ص.
- فرتوت‌عنایت، ف.، قنبری، ا.، اصغری‌پور، م.ر. و سیدآبادی، ا. ۱۴۰۲. پایش سلامت اکولوژیکی نظام‌های تولید انگور یاقوتی منطقه سیستان با استفاده از تکنیک تحلیل انرژی. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۳۳: ۲۸۸-۳۰۴.
- محمدیان‌فر، ا.، اصغری‌پور، م.ر.، سیروس‌مهر، ع.ر. و رمرودی، م. ۱۳۹۲. مطالعه پایداری بوم‌شناختی نظام زراعی گندم در شهرستان تربت‌جام. دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۳(۱): ۱۱۷-۱۲۷.
- Amaral, L.P., Martins, N. and Gouveia, J.B. 2016. A review of emergy theory, its application and latest developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54: 882-888.
- Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E. and Armin, M. 2019. A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran, based on emergy and economic analyses. *Journal of Cleaner Production*, 226: 1051-1066.
- Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E., Azizi, K., Kakolvand, E. and Moghadam, E.H. 2021. Conservation agriculture, a selective model based on emergy analysis for sustainable production of shallot as a medicinal-industrial plant. *Journal of Cleaner Production*, 292: 126000.

- Amiri, Z., Maghsoudi, A., Asgharipour, M.R., Nejati-Javaremi, A. and Campbell, D.E. 2022. The semi-intensive production model: A strategy based on emergy and economic analyses to realize sustainability in the ecosystem of Sistani beef cattle raising in Iran. *Journal of Cleaner Production*, 362: 132304.
- Asgharipour, M.R., Amiri, Z. and Campbell, D.E. 2020. Evaluation of the sustainability of four greenhouse vegetable production ecosystems based on an analysis of emergy and social characteristics". *Ecological Modelling*, 424: 109021.
- Asgharipour, M.R., Shahgholi, H., Campbell, D.E., Khamari, I. and Ghadiri, A. 2019. Comparison of the sustainability of bean production systems based on emergy and economic analyses. *Environmental monitoring and assessment*, 191: 1-21.
- Brown, M.T. and Ulgiati, S. 1997. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecological Engineering*, 9(1-2): 51-69.
- Brown, M.T. and Ulgiati, S. 2004. Energy quality, emergy, and transformity: HT Odum's contributions to quantifying and understanding systems. *Ecological Modelling*, 178(1-2): 201-213.
- Buenfil, A.A. 2001. *Emergy evaluation of water*. University of Florida.
- Campbell, D.E. and Erban, L.E. 2017. A reexamination of the emergy input to a system from the wind. *Emergy Synthesis*, 9: 13-20.
- Campbell, D. E., Brandt-Williams, S. L. and Meisch, M. E. A. 2005. *Environmental Accounting Using Emergy: Evaluation of the State of West Virginia*. EPA/600/R-02/ 011. USEPA, Office of Research and Development, Washington, DC, 116 p.
- Campbell, D.E. and Ohrt, A. 2009. *Environmental accounting using emergy: evaluation of Minnesota*. US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Atlantic Ecology Division.
- Cavalett, O., De Queiroz, J.F. and Ortega, E. 2006. Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. *Ecological Modelling*, 193(3-4): 205-224.
- Cheng, H., Chen, C., Wu, S., Mirza, Z.A. and Liu, Z. 2017. Emergy evaluation of cropping, poultry rearing, and fish raising systems in the drawdown zone of Three Gorges Reservoir of China. *Journal of Cleaner Production*, 144: 559-571.
- Cochran, W.G. 1942. Sampling theory when the sampling-units are of unequal sizes. *Journal of the American Statistical Association*, 37(218): 199-212.
- De Barros, I., Blazy, J.M., Rodrigues, G.S., Tournebize, R. and Cinna, J.P. 2009. Emergy evaluation and economic performance of banana cropping systems in Guadeloupe (French West Indies). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 129(4): 437-449.
- Dorado, M.P., Cruz, F., Palomar, J.M. and Lopez, F.J. 2006. An approach to the economics of two vegetable oil-based biofuels in Spain. *Renewable Energy*, 31(8): 1231-1237.
- Du, H., Yang, L., Wang, W., Lu, L. and Li, Z. 2022. Emergy theory to quantify the sustainability of large cascade hydropower projects in the upper Yangtze. *Ecological Modelling*, 468: 109954.
- Guan, F.C., Sha, Z.P., Zhang, Y.Y., Wang, J.F. and Wang, C. 2016. Emergy assessment of three home courtyard agriculture production systems in Tibet Autonomous Region, China. *Journal of Zhejiang University-Science B*, 17(8): 628.
- Hau, J.L. and Bakshi, B.R. 2004. Promise and problems of emergy analysis. *Ecological Modelling*, 178(1-2): 215-225.
- Jafari, M., Asgharipour, M.R., Ramroudi, M., Galavi, M. and Hadarbadi, G. 2018. Sustainability assessment of date and pistachio agricultural systems using energy, emergy and economic approaches. *Journal of Cleaner Production*, 193: 642-651.
- Jaklič, T., Juvančič, L., Kavčič, S. and Debeljak, M. 2014. Complementarity of socio-economic and emergy evaluation of agricultural production systems: The case of Slovenian dairy sector. *Ecological Economics*, 107: 469-481.
- Kumar, V., Pandita, S., Sharma, A., Bakshi, P., Sharma, P., Karaouzas, I., Bhardwaj, R., Thukral, A.K. and Cerda, A. 2021. Ecological and human health risks appraisal of metal (loid) s in agricultural soils: A review. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 5(3): 173-185.
- Lu, H. and Campbell, D.E. 2009. Ecological and economic dynamics of the Shunde agricultural system under China's small city development strategy. *Journal of Environmental Management*, 90(8): 2589-2600.

- Lu, H.F., Tan, Y.W., Zhang, W.S., Qiao, Y.C., Campbell, D.E., Zhou, L. and Ren, H. 2017. Integrated energy and economic evaluation of lotus-root production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. *Journal of Cleaner Production*, 158: 367-379.
- Lu, H.F., Kang, W.L., Campbell, D.E., Ren, H., Tan, Y.W., Feng, R.X., Luo, J.T. and Chen, F.P. 2009. Emergy and economic evaluations of four fruit production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. *Ecological Engineering*, 35(12): 1743-1757.
- Odum, H.T., 1996. *Environmental accounting: emergy and environmental decision making*. Wiley, 384p.
- Odum, H.T. and Peterson, N. 1996. Simulation and evaluation with energy systems blocks. *Ecological Modelling*, 93(1-3): 155-173.
- Shirdeli, M.R., Asgharipour, M.R., Ramroudi, M., Ghanbari, S.A. and Sirousmehr, A. 2025. Ecological security assessment of rice production systems in arid regions: a multi-criteria assessment of Iranshahr and Saravan, Iran. *Scientific Reports*, 15(1): 22919.
- Sun, B., Zhao, F.J., Lombi, E. and McGrath, S.P. 2001. Leaching of heavy metals from contaminated soils using EDTA. *Environmental Pollution*, 113(2): 111-120.
- Ulgiati, S. and Brown, M.T. 1998. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecological Modelling*, 108(1-3): 23-36.
- Zhang, S., Cui, S., McLaughlin, N.B., Liu, P., Hu, N., Liang, W., Wu, D. and Liang, A. 2019. Tillage effects outweigh seasonal effects on soil nematode community structure. *Soil and Tillage Research*, 192: 233-239.