

Monitoring of Ecological Health of Yaghooti Grape Production Systems in Sistan Region Using Emergy Analysis Technique

Fatemeh Fartout Enayat¹, Ahmad Ghanbari², Mohammad Reza Asgharipour^{3*},
Esmaeel Seyedabadi⁴

Received: 07 March 2022 Accepted: 30 July 2022

1-PhD., Student, Dept. of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.

2-Prof., and Assoc. Prof., Dept. of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.

3- Assist. Prof., Dept. of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.

*Corresponding Author Email: m_asgharipour@uoz.ac.ir

Abstract

Background & Objective: Yaghooti grape producing methods are very important in Sistan economy and jobs. The purpose of this study is to evaluate the health and monitor the effects of input consumption in the production of Yaghooti grapes with the aim of identifying inputs with the most environmental damage, as well as quantifying sustainability and providing solutions to improve input efficiency in Yaghooti grape production in Sistan region using emergy analysis technique.

Materials & Methods: This study was conducted utilizing data collected from the level of smallholder systems of 180 grape production systems in five cities of Sistan region comprising Zabol, Zahak, Hamoun, Hirmand and Nimroz, Iran in 2019. For this study, renewable and non-renewable inputs received from environmental resources and economic inputs were investigated.

Results: The total emergy support of grape production systems was estimated to be $1.92E+16$ sej/ha/yr, of which free environmental inputs accounted for 64.31 percent of this amount. The transformity and specific energy for grape production were $2.49E+05$ sej/J and $4.75E+09$ sej/g. Environmental pressure due to grape production (ELR) was 5.311 and the value of sustainability indices (ESI & ESI*) was calculated 0.528 and 0.637, which indicates the low sustainability of grape production in Sistan.

Conclusion: The significant percentage of free inputs implies that the majority of study vineyards are non-industrial systems that are managed in a semi-traditional, low-input manner. Due to the important role of soil erosion and loss of soil organic matter, water resources management and adjustment of irrigation methods are necessary to increase the sustainability of the examined systems.

Keywords: Quantification of Sustainability, Renewable Inputs, Environmental Load, Soil Erosion, Environmental Economic

پایش سلامت اکولوژیکی نظام‌های تولید انگور یاقوتی منطقه سیستان با استفاده از تکنیک تحلیل امرژی

فاطمه فرتوت عنایت^۱، احمد قنبری^۲، محمدرضا اصغری پور^{۳*}، اسماعیل سیدآبادی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۸

۱- دانشجوی دکتری اکرواکولوژی، بخش اکرواکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

۲- استاد و دانشیار، گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

۳- استادیار، گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

*مسئول مکاتبه: Email: m_asgharipour@uoz.ac.ir

چکیده

اهداف: نظام‌های تولید انگور یاقوتی اهمیت زیادی در اقتصاد و اشتغال سیستان دارند. هدف از تحقیق حاضر ارزیابی سلامت و پایش اثرات ناشی از مصرف نهاده‌ها در تولید انگور یاقوتی با هدف شناسایی نهاده‌هایی با بیشترین آسیب محیطی، همچنین کمی‌سازی پایداری و ارائه راهکارهایی برای بهبود کارایی مصرف نهاده‌ها در تولید انگور در منطقه سیستان با استفاده از تکنیک تحلیل امرژی است.

مواد و روش‌ها: این مطالعه با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده از سطح ۱۸۰ نظام خرده مالکی تولید انگور در سطح پنج شهرستان منطقه سیستان شامل زابل، زهک، هامون، هیرمند و نیمروز، ایران در سال ۱۳۹۸ انجام شد. برای انجام این مطالعه نهاده‌های تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر دریافتی از منابع محیطی و نهاده‌های اقتصادی لحاظ شد.

یافته‌ها: مجموع امرژی پشتیبانی کننده از نظام‌های تولید انگور $10^{16} \times 1/92$ ام‌ژول خورشیدی در هکتار در سال تخمین زده شد که نهاده‌های رایگان محیطی $64/31$ درصد از این مقدار را به خود اختصاص دادند. ضریب تبدیل و امرژی ویژه برای تولید انگور $10^5 \times 2/49$ ام‌ژول خورشیدی در ژول و $10^9 \times 4/75$ ام‌ژول خورشیدی در گرم بود. فشار محیطی ناشی از تولید انگور (ELR) $5/311$ و مقدار شاخص‌های پایداری ($ESI \& ESI^*$) $0/528$ و $0/637$ محاسبه شد که نشان‌دهنده پایداری پایین تولید انگور در سیستان است.

نتیجه‌گیری: سهم بالای نهاده‌های رایگان نشان می‌دهد که غالب باغ‌های انگور مطالعه، نظام‌هایی غیر صنعتی هستند که به شیوه نیمه‌سنتی و کم نهاده مدیریت می‌شوند. با توجه به نقش برجسته فرسایش و تلفات ماده آلی خاک، مدیریت منابع آب و تغییر شیوه‌های آبیاری در بهبود پایداری نظام‌های مورد مطالعه الزامی است.

واژه‌های کلیدی: اقتصاد محیط زیست، بار محیطی، فرسایش خاک، کمی‌سازی پایداری، ورودی‌های تجدیدپذیر

مقدمه

(۲۰۲۱). کشورهای اسپانیا، چین، فرانسه و ایتالیا تقریباً

۴۵ درصد از تاکستان‌های جهان را به خود اختصاص داده‌اند (کاندیلیس و همکاران ۲۰۲۱). انگور در ایران از

انگور یکی از میوه‌هایی است که به‌طور گسترده در سراسر جهان کشت می‌شود (سریواستوا و همکاران

مهم‌ترین محصولات باغی است که در مقیاس تجاری تولید می‌شود (سرابندی و همکاران ۲۰۱۹). این محصول با سطح زیر کشت ۳۰۲ هزار هکتار، پس از پسته دومین محصول مهم باغی ایران است (رایگان و همکاران ۲۰۱۳). در بین استان‌های کشور سیستان و بلوچستان با سطح زیر کشت غیر بارور ۹۹۱ هکتار و سطح بارور ۲۸۰۶ هکتار، هم‌چنین میزان تولید ۳۱۳۳۲ تن از استان‌های انگور خیز کشور است. از این میزان بخش اعظم آن مربوط به منطقه سیستان است که ۱۸۰۰ هکتار آن زیر کشت انگور یاقوتی رفته است (سالنامه آماری استان سیستان و بلوچستان ۲۰۱۸). انگور یاقوتی سیستان زودرس‌ترین انگور ایران است که برداشت آن از اردیبهشت ماه آغاز می‌شود (شیری و همکاران ۲۰۱۸). ارقام زودرس نسبت به سایر گونه‌ها برتری دارند زیرا قبل از حاکم شدن تنش‌های محیطی به مرحله برداشت می‌رسند. این ویژگی انگور یاقوتی موجب شده تا علاوه بر کیفیت مطلوب محصول به لحاظ اقتصادی نیز برای کشاورزان منطقه صرفه اقتصادی داشته باشد.

در نظام‌های کشاورزی انرژی‌های یارانه‌ای با منشاء سوخت‌های فسیلی با کاهش هزینه‌های نگهداری بر رشد محصول تاثیر می‌گذارد (وانگ و همکاران ۲۰۱۴). الگوی مصرف انرژی‌های یارانه‌ای جهت بررسی کارایی استفاده از انرژی در نظام تولید انگور یاقوتی توسط حلیمی صوفی و همکاران (۲۰۱۳) مورد مطالعه قرار گرفته است؛ اما این روش تحلیل، به دلیل حذف جریان‌های انرژی محیطی و رایگان که بی‌اهمیت تلقی می‌شوند کامل نیست (رایدبرگ و هادن ۲۰۰۶). بوم نظام‌های کشاورزی، نظام‌هایی پیچیده و دارای ورودی‌هایی اقتصادی و محیطی است (وانگ و همکاران ۲۰۱۸)، و تولیدات کشاورزی حاصل برهمکنش‌های نهاده‌های محیطی مانند نور خورشید، باد، باران، خاک و غیره و نهاده‌های اقتصادی است (لیو و همکاران ۲۰۱۸). اگر سهم جریان‌های رایگان محیطی نسبت به جریان‌های اقتصادی نادیده گرفته شوند، استراتژی‌های مدیریتی بر اساس تحلیل‌های ناقص انجام خواهد گرفت (چنگ و همکاران ۲۰۱۷). تکنیک امرژی با لحاظ کردن کیفیت انواع انرژی و ترجمه تمام نهاده‌ها به معادل یکسان ام‌ژول

خورشیدی برای کمی کردن هزینه‌های محیطی و اقتصادی در ارزیابی نظام‌های کشاورزی سودمند است (ژانگ و لانگ ۲۰۱۰). تحلیل‌های امرژی می‌توانند با محاسبه مجموع کار انجام شده توسط نظام‌های طبیعی و اقتصادی برای تولید محصولات کشاورزی تصویر کامل‌تری از نقش کشاورزی در زیست سپهر و اقتصاد انسانی ارائه دهند (رایدبرگ و هادن ۲۰۰۶).

پس از نزدیک به ۴۰ سال توسعه و کاربرد، تکنیک تحلیل امرژی به یک ابزار ارزیابی اکولوژیکی-اقتصادی تبدیل شده است که به طور گسترده‌ای برای ارزیابی نظام‌های تولیدی مختلف در انواع مختلف و در مقیاس‌های متفاوت مورد استفاده قرار گرفته است (اصغری پور و همکاران ۲۰۲۰). به عنوان مثال باستیانونی و همکاران (۲۰۰۱) به بررسی تاکستانی واقع در مجتمعی به وسعت ۸۰۰ هکتار با تولید شش محصول به همراه بخش دامداری در منطقه چپانته در نزدیکی شهر سیه‌نای ایتالیا پرداختند. آنها بیان کردند که تامین کود مورد نیاز در این مزرعه از بازیافت منابع داخلی باعث کاهش هزینه‌های زیست محیطی شده است. جعفری و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از تحلیل‌های امرژی، انرژی و اقتصادی، به بررسی علل استقبال کشاورزان از تولید پسته نسبت به خرما در شهرستان نهبندان پرداختند. نتایج ارزیابی امرژی نشان داد که تولید خرما در درازمدت پایدارتر است اما درآمد اقتصادی بیشتر از تولید پسته دلیل جهت‌گیری باغداران به سمت تولید پسته است. ارزیابی دو سیستم معیشتی و تجاری تولید کلزا در استان لرستان نشان داد که پایداری اکولوژیکی سیستم معیشتی بیشتر از سیستم تجاری کلزا است و پیشنهاد شد تا پایداری زیست محیطی سیستم تجاری از طریق بهبود مواد آلی خاک و جلوگیری از تلفات آن توسعه یابد (امیری و همکاران ۲۰۲۰). نمونه‌هایی دیگر از مطالعات انجام شده شامل ذرت در گویان (مونیلال و همکاران ۲۰۲۰)، گندم در چین (ژائو و همکاران ۲۰۱۹)، برنج و سبزیجات در چین (لو و همکاران ۲۰۱۰)، خیار در چین (ژائو و همکاران ۲۰۱۹)، ذرت علوفه‌ای در دانمارک (قالی و همکاران ۲۰۱۸)، محصولات گلخانه‌ای

علاوه بر شرایط سخت جوی حاکم، چالش دیگری که کشاورزان منطقه با توجه به خشکسالی‌های پی‌درپی با آن مواجه هستند کمبود آب و عدم مدیریت صحیح منابع آب موجود است. با وجود مشکل آب در منطقه، آبیاری نظام مورد بررسی به صورت جوی و پشته‌ای انجام می‌شود که موجب فرسایش منابع موجود و افت آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود.

جامعه آماری و جمع‌آوری داده‌ها

این مطالعه در سال ۱۳۹۸ از طریق مصاحبه حضوری با مدیران باغات انگور منطقه سیستان شامل شهرستان‌های زابل، زهک، هیرمند، هامون و نیمروز انجام شد. به منظور مشخص شدن جامعه آماری مورد مطالعه، تعداد باغات موجود در منطقه سیستان به عنوان نمونه کل انتخاب، سپس برای پیدا کردن حجم نمونه مورد مطالعه از فرمول کوکران استفاده شد (کوکران ۱۹۴۲). در مطالعه حاضر حجم جامعه آماری ۳۲۲ و حجم نمونه در سطح خطای ۵ درصد، ۱۸۰ در نظر گرفته شد.

$$n = \frac{\frac{z^2 pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{N} (\frac{z^2 pq}{d^2} - 1)} \quad [\text{رابطه ۱}]$$

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

برای انجام این مطالعه ابتدا کلیه ورودی‌ها و خروجی‌های نظام مورد مطالعه مشخص شد. در ادامه نهاده‌ها به خریداری شده و رایگان و تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر تفکیک شد. اطلاعات مربوط به شماری از نهاده‌های ورودی خریداری شده مانند کودها و سموم شیمیایی، سوخت، نیروی انسانی و الکتریسیته و همچنین خروجی نظام از طریق مصاحبه با مدیران باغات جمع‌آوری شد. داده‌های ورودی‌های تجدیدپذیر طبیعی مانند تابش خورشید، بارش باران و سرعت باد از طریق آمار ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه بدست آمد (جدول ۱). فرسایش آبی بر اساس مدل

در جیرفت (اصغری‌پور و همکاران ۲۰۲۰) و پرتقال قرمز در سیسپیل (رزا و همکاران ۲۰۰۸) است. انگور یا قوتی مهم‌ترین محصول باغی سیستان است و سطح زیر کشت آن نسبت به سایر ارقام موجود در منطقه بیشتر است. قدمت تولید این محصول به هزاران سال می‌رسد که این امر بیانگر اهمیت این نظام تولیدی در منطقه است. مقاومت به شرایط سخت اقلیمی و هوشمندی این رقم در انتخاب بهترین زمان جهت جوانه زنی و محصول‌دهی به همراه زودرسی که موجب شده تا نقش مهمی در اقتصاد مردم منطقه داشته باشد از دلایل تداوم تولید انگور یا قوتی در منطقه سیستان است. پایداری تولید این محصول در منطقه با توجه به ناکارآمدی استفاده از نهاده‌ها در این نظام و نگرانی‌هایی که از نبود منابع پایدار آب در منطقه وجود دارد از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین تصمیم گرفته شد تا با در نظر گرفتن مجموع نهاده‌های ورودی و خروجی و شاخص‌های وابسته به این نهاده‌ها پایداری این نظام مورد ارزیابی قرار گیرد. نتایج این مطالعه موجب تصمیم‌گیری آگاهانه کشاورزان جهت تنظیم نظام‌ها برای حرکت به سمت شرایط پایدار خواهد شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در منطقه سیستان (در محدوده جغرافیایی بین ۳۰ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۸ دقیقه عرض جغرافیایی و ۶۰ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه طول جغرافیایی و ارتفاع ۴۸۱ متر از سطح دریا) واقع در جنوب شرق ایران و شمال استان سیستان و بلوچستان انجام شد. این منطقه دارای اقلیم گرم و خشک با میانگین بارندگی سالانه ۵۴ میلی‌متر است. آستانه‌های حدی دمایی این منطقه بین ۵۱ درجه در تابستان و ۱۱/۹ - درجه سلسیوس در فصول سرد سال است. بارزترین ویژگی اقلیمی این منطقه وزش بادهای منطقه‌ای ۱۲۰ روزه است که بیشینه سرعت آن تا ۱۴۸ کیلومتر بر ساعت نیز می‌رسد. میانگین رطوبت نسبی منطقه سیستان ۳۶ درصد است. میزان رطوبت در تابستان‌ها به کمترین مقدار خود که حدود ۱ درصد است نیز رسیده است.

USLE^۱ و تلفات ماده آلی از طریق نمونه‌برداری از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک بدست آمد. ارزش موثر کودهای شیمیایی از طریق روش چن برآورد شد (اصغری پور و همکاران ۲۰۱۹). طول عمر برای ماشین‌آلات ۲۵ سال در نظر گرفته شد و بر اساس طول عمر پیش بینی شده ورودی ماشین‌آلات به جریان سالانه تبدیل شدند. مقدار انرژی خروجی به عنوان کالری قابل سوختن با استفاده از روش ارائه شده در ISO1928 تعریف شد (دورادو و همکاران ۲۰۰۶). تمام انرژی‌ها، مواد، زیرساخت‌ها و ابزارهای مورد استفاده برای تولید نشاء انگور به جریان‌های سالانه بر اساس طول عمر مورد انتظارشان تبدیل شدند. طول عمر پیش‌بینی‌شده برای باغ انگور یاقوتی سیستان ۴۰ سال تخمین زده شد.

تحلیل انرژی^۲

تحلیل انرژی راهکاری نوین برای ارزیابی روابط میان تامین نیازهای انسان و استفاده از منابع طبیعی ایجاد می‌کند، در عین حال می‌تواند با در نظر گرفتن جریان‌های مستقیم و غیر مستقیم ماده و انرژی مورد استفاده برای تولید کالاها و خدمات، پایداری نظام‌های اکولوژیکی - اقتصادی را پیش‌بینی کند (پنگ و همکاران ۲۰۱۸). بنابراین تحلیل انرژی نظام‌های کشاورزی می‌تواند کارآمدی در جذب و استفاده از انرژی خورشیدی و مشتقات آن در مقابل نظام‌هایی که تنها وابسته به سوخت‌های فسیلی، کودها، آفت‌کش‌ها و ماشین‌آلات هستند را شناسایی کند (رایدبرگ و هادن ۲۰۰۶).

اولین قدم در تحلیل انرژی تشخیص مرزهای زمانی و مکانی نظام مورد مطالعه است (ادوم و پترسون ۱۹۹۶)

تا ورودی‌ها و خروجی‌های مختلف در نظر گرفته شود. در ادامه نوبت به ترسیم نمودار زبان نظام‌های انرژی (ESL)^۳ می‌رسد (ادوم و پترسون ۱۹۹۶). هدف از رسم این نمودار، تهیه فهرستی از فرایندها، ذخیره‌سازی‌ها و جریان‌هایی است که برای سیستم مورد بررسی مهم بوده و بنابراین ارزیابی آن‌ها ضروری است (براون و اولجیاتی ۲۰۰۴). نمودار ESL برای نظام تولید انگور یاقوتی سیستان در شکل ۱ نشان داده شده است. دومین مرحله تحلیل انرژی، رسم جداول ارزیابی انرژی است. این جداول به منظور طبقه‌بندی جریان‌های ورودی مختلف مطابق با مشخصات آن‌ها طراحی می‌شود. ورودی‌های نظام‌های مورد مطالعه به دو گروه اصلی محیطی (تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر) و خریداری شده (تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر) تقسیم می‌شوند. از ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر می‌توان به نور خورشید، باد و باران و تجدیدناپذیر به آب‌های زیرزمینی و فرسایش خاک اشاره کرد. ورودی‌های خریداری شده به همراه درصد تجدیدپذیری آن‌ها در پرانتز شامل نیروی انسانی (۱۰)، کود حیوانی (۲۰)، نشاء (۴۳)، برق (۷)، ماشین‌آلات، سوخت‌های فسیلی، کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها هستند.

مجموع ورودی‌ها به نظام تولید انگور در واحد هکتار به همراه فاکتور تجدیدپذیری در جدول ۲ ارائه شده است. پس از محاسبه همه جریان‌های ورودی و خروجی، با ضرب انواع جریان انرژی و مواد در ضرایب تبدیل مناسب که از مقالات منتشر شده اقتباس شده است می‌توان آن‌ها را به واحد انرژی (sej^۴) تبدیل کرد (جدول ۳).

^۴ Solar emjoules

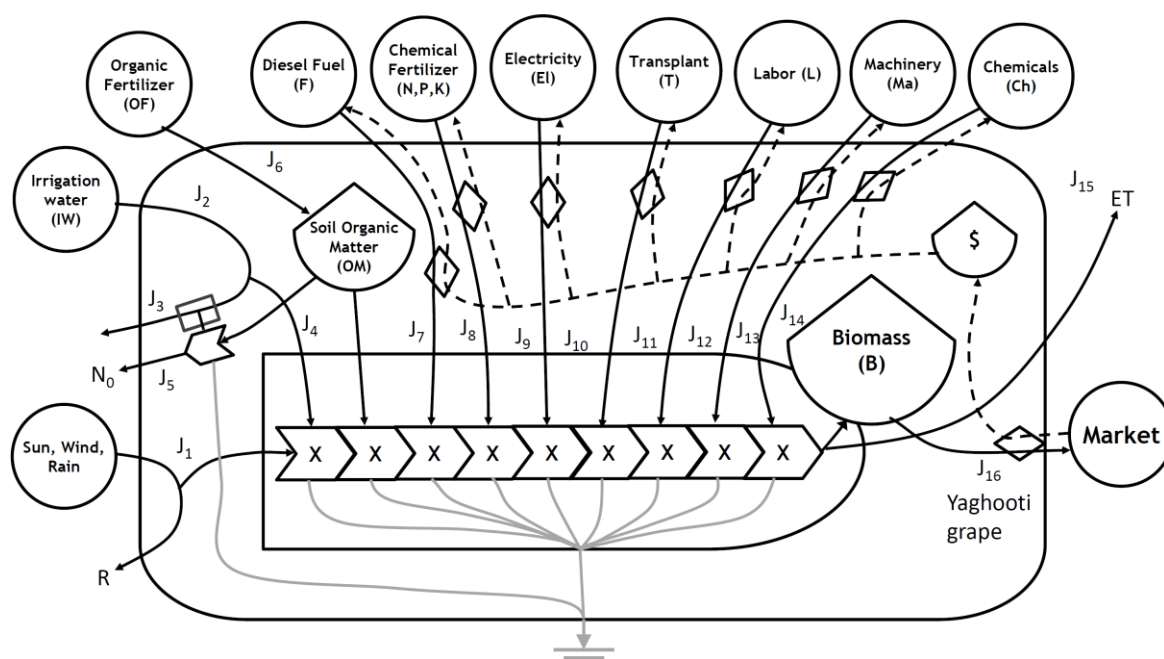
^۱The Universal Soil Loss Equation

^۲ Energy Analysis

^۳ Energy Systems Language

جدول ۱- اطلاعات اقلیمی ایستگاه هواشناسی زابل

میانگین تشعشع روزانه (MJ/m ² /day)	تبخیر و تعرق (mm)	میانگین سرعت باد (m/s)	حداکثر سرعت باد (m/s)	باران (mm)	درجه حرارت (°C)	ماه						
میانگین	مجموع	سرعت	جهت	تعداد روزهای بارانی در ماه	حداکثر باران در روز	مجموع	میانگین	حداقل	حداکثر			
۲۲/۵۹	۹/۲	۲۰/۵	۵/۷	۳۰	۳۴۰	۷	۱۱/۲	۱۹/۸	۱۹/۷	۶/۳	۳۴/۷	فروردین
۲۶/۱۷	۱۰/۴	۳۲۱/۶	۵/۶	۲۹	۳۱۰	۲	۷/۹	۹/۹	۲۷/۷	۱۳/۹	۴۲/۵	اردیبهشت
۲۸/۳۲	۱۹/۱	۵۹۲/۱	۸/۹	۲۸	۲۵۰	۰	۰/۰	۰/۰	۳۲/۹	۱۷/۲	۴۶/۶	خرداد
۲۸/۹۷	۲۰/۹	۶۴۸/۷	۱۱/۶	۳۰	۳۴۰	۰	۰/۰	۰/۰	۳۴/۸	۲۴/۱	۴۹/۰	تیر
۲۸/۲۴	۲۳/۰	۷۱۲/۹	۱۳/۱	۳۰	۳۶۰	۰	۰/۰	۰/۰	۳۵/۴	۲۵/۴	۴۶/۳	مرداد
۲۶/۱۴	۱۸/۱	۵۶۰/۹	۱۱/۷	۳۰	۳۴۰	۰	۰/۰	۰/۰	۲۹/۴	۱۳/۳	۴۶/۹	شهریور
۲۲/۷۶	۱۵/۹	۴۷۷/۷	۹/۵	۳۲	۳۴۰	۰	۰/۰	۰/۰	۲۲/۴	۸/۱	۳۵/۲	مهر
۱۸/۶۴	۶/۶	۱۹۸/۲	۶/۱	۲۷	۲۵۰	۲	۲/۹	۳/۵	۱۶/۴	۰/۶	۳۱/۸	آبان
۱۵/۰۱	۳/۴	۸۰/۸	۴/۹	۲۱	۳۳۰	۲	۰/۵	۰/۹	۱۰/۶	-۶/۰	۲۵/۶	آذر
۱۳/۲۸	۳/۴	۲۳/۷	۴/۷	۲۸	۳۳۰	۰	۰/۰	۰/۰	۷/۱	-۷/۶	۲۵/۱	دی
۱۴/۲۹	۵/۰	۹۴/۷	۳/۹	۲۹	۳۳۰	۰	۰/۰	۰/۰	۱۲/۶	-۶/۷	۲۹/۸	بهمن
۱۸/۳۱	۷/۱	۱۸۳/۲	۵/۶	۳۱	۳۳۰	۱	۱/۸	۱/۸	۱۸/۱	-۰/۴	۳۶/۵	اسفند



شکل ۱- نمودار خلاصه جریان‌های امرژی در نظام تولید انگور

شاخص‌های امرژی ابزارهای مفیدی برای ارزیابی نظام تولید با در نظر گرفتن ورودی‌های اقتصادی و زیست محیطی جهت تحلیل پایداری هستند. شاخص‌هایی که مورد توجه این مطالعه قرار دارند شامل ضریب تبدیل $(Tr)^1$ ، امرژی ویژه $(SpE)^2$ ، درصد تجدیدپذیری امرژی $(R\%)^3$ ، نسبت‌های بارگذاری محیطی $(ELR^*$ و $ELR)^4$ ، شاخص‌های پایداری محیط زیست $(ESI^*$ و $ESI)^5$ ، نسبت‌های سرمایه‌گذاری امرژی $(EIR^*$ و $EIR)^6$ ، نسبت مبادله امرژی $(EER)^7$ و شاخص امرژی برای توسعه پایدار $(EISD)^8$ است. این شاخص‌ها را می‌توان بر اساس ویژگی‌هایی که مورد بررسی قرار می‌دهند

دسته‌بندی کرد. آنها به بررسی کارایی استفاده از امرژی (ضریب تبدیل و امرژی ویژه)، تعامل با محیط (نسبت عملکرد امرژی، نسبت بارگذاری محیطی و نسخه اصلاح شده آن و نسبت سرمایه‌گذاری امرژی و نسخه اصلاح شده آن)، عدالت تجاری برای ورودی‌ها و خروجی‌ها (نسبت مبادله امرژی) و پایداری سیستم (درصد امرژی تجدیدپذیر، شاخص پایداری محیط زیست و نسخه اصلاح شده آن و شاخص امرژی برای توسعه پایدار) می‌پردازند (لو و همکاران ۲۰۱۷). جلیک و همکاران (۲۰۱۴). روابط ریاضی و تعاریف شاخص‌های مورد نظر در این مطالعه به طور خلاصه در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۲- جریان‌های طبیعی و اقتصادی نظام‌های تولید انگور یاقوتی سیستان در واحد هکتار. واحد و ضریب تجدیدپذیری (کسر انرژی تجدیدپذیر) و نمادهایی ورودی‌های مختلف در شکل ۱ نیز آورده شده است.

اطلاعات خام	فاکتور تجدیدپذیری	واحد	ورودی‌ها
$4/92 \times 10^{12}$	۱	J	ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر
$2/40 \times 10^{12}$	۱	J	انرژی خورشید
$5/55 \times 10^{10}$	۱	J	انرژی جنبشی باد
$8/93 \times 10^7$	۱	J	انرژی شیمیایی باران
$2/64 \times 10^{10}$	۱	J	انرژی ژئوپتانسیل باران
$3/33 \times 10^{10}$	۱	J	تبخیر و تعرق، آب رودخانه
			آب رودخانه
$1/47 \times 10^{10}$	۰	J	ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر
$1/37 \times 10^{10}$		J	آب زیرزمینی
$2/85 \times 10^{10}$	۰	J	تبخیر و تعرق، آب زیرزمینی
$4/51 \times 10^6$	۰	g	تلفات ماده آلی خاک
			فرسایش خاک
$1/64 \times 10^9$	۰/۱	J	ورودی‌های خریداری شده
			نیروی انسانی
$1/27 \times 10^3$	۰	g	ماشین‌آلات
$5/22 \times 10^9$	۰	g	سوخت فسیلی و روغن
$0/00 \times 10^0$	۰	g	کود نیتروژن
$5/60 \times 10^4$	۰	g	کود فسفر
$0/00 \times 10^0$	۰	g	کود پتاسیم
$1/70 \times 10^4$	۰	g	کود گوگرد

⁵ Energy Sustainability Index and Modified Energy Sustainability Index

⁶ Energy Investment Ratio and Modified Energy Investment Ratio

⁷ Energy Exchange Ratio

⁸Emergy Index for Sustainable Development

¹ Transformity

² Specific Energy

³ Renewable Energy Ratio

⁴ Environmental Loading Ratio and Modified Environmental Loading Ratio

ادامه جدول ۲

کود میکرو	g	۰	۱/۰۰×۱۰ ^۴
کود آلی	g	۰/۸	۲/۳۵×۱۰ ^۶
آفتکش	g	۰	۵/۰۰×۱۰ ^۲
الکتریسیته	J	۰/۰۱	۲/۸۸×۱۰ ^۸
نشاء	Rials	۰/۴۳	۱/۲۶×۱۰ ^۷
خروجی			
عملکرد اقتصادی	g		۴/۰۵×۱۰ ^۶
عملکرد اقتصادی	J		۷/۷۷×۱۰ ^{۱۰}

جدول ۳- نتایج تحلیل امرژی و ساختار ورودی نظام‌های تولید انگور یا قوتی سیستان (sej ha^{-1})

ورودی‌ها	واحد	ضرایب تبدیل	منابع برای ضریب تبدیل	امرژی
ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر				
انرژی خورشید	J	۱/۰۰×۱۰ ^۰	طبق تعریف	۴/۹۲×۱۰ ^{۱۲}
انرژی جنبشی باد	J	۱/۲۵×۱۰ ^۳	(کمپل و اربان ۲۰۱۶)	۳/۰۰×۱۰ ^{۱۵}
انرژی شیمیایی باران	J	۲/۲۵×۱۰ ^۴	(کمپل و همکاران ۲۰۰۵)	۱/۲۵×۱۰ ^{۱۵}
انرژی ژئوپتانسیل باران	J	۱/۳۴×۱۰ ^۴	(کمپل و همکاران ۲۰۰۵)	۱/۲۰×۱۰ ^{۱۲}
تبخیر و تعرق، آب رودخانه	J	۲/۸۸×۱۰ ^۴	(کمپل و همکاران ۲۰۰۵)	۷/۶۰×۱۰ ^{۱۴}
آب رودخانه	J	۳/۶۱×۱۰ ^۴	(کمپل و همکاران ۲۰۰۵)	۱/۲۰×۱۰ ^{۱۵}
کل زیرمجموعه				۳/۰۵×۱۰ ^{۱۵}
ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر				
آب زیرزمینی	J	۳/۶۱×۱۰ ^۴	(کوادر و رایدبرگ ۲۰۰۶)	۵/۳۱×۱۰ ^{۱۴}
تبخیر و تعرق، آب زیرزمینی	J	۲/۸۸×۱۰ ^۴	(کمپل و همکاران ۲۰۰۵)	۳/۹۵×۱۰ ^{۱۴}
تلفات ماده آلی خاک	J	۹/۳۶×۱۰ ^۴	(براون و باردی ۲۰۰۱)	۲/۶۷×۱۰ ^{۱۵}
فرسایش خاک	g	۱/۲۷×۱۰ ^۹	(ادوم و همکاران ۱۹۹۶)	۵/۷۳×۱۰ ^{۱۵}
کل زیرمجموعه				۹/۳۲×۱۰ ^{۱۵}
ورودی‌های خریداری شده				
نیروی انسانی	J	۲/۲۲×۱۰ ^۶	(لو و همکاران ۲۰۰۹)	۳/۶۴×۱۰ ^{۱۵}
ماشین‌آلات	g	۱/۰۱×۱۰ ^{۱۰}	(کمپل و همکاران ۲۰۰۵)	۱/۲۸×۱۰ ^{۱۳}
سوخت فسیلی و روغن	g	۸/۶۰×۱۰ ^۴	(باستیانونی و همکاران ۲۰۰۹)	۴/۴۹×۱۰ ^{۱۴}
کود نیتروژن	g	۳/۰۹×۱۰ ^{۱۰}	(برنت-ویلیامز ۲۰۰۲)	۰/۰۰×۱۰ ^۰
کود فسفر	g	۲/۸۲×۱۰ ^{۱۰}	(برنت-ویلیامز ۲۰۰۲)	۱/۵۸×۱۰ ^{۱۵}
کود پتاسیم	g	۲/۲۳×۱۰ ^۹	(برنت-ویلیامز ۲۰۰۲)	۰/۰۰×۱۰ ^۰
کود گوگرد	g	۲/۰۵×۱۰ ^{۱۰}		۳/۴۹×۱۰ ^{۱۴}
کود میکرو	g	۳/۹۱×۱۰ ^۹	(لن و همکاران ۲۰۰۲)	۳/۹۱×۱۰ ^{۱۳}
کود آلی	g	۲/۹۶×۱۰ ^۸	(ادوم ۱۹۹۶)	۶/۹۶×۱۰ ^{۱۴}
آفتکش	g	۱/۸۹×۱۰ ^{۱۱}	(برنت-ویلیامز ۲۰۰۲)	۹/۴۵×۱۰ ^{۱۲}
الکتریسیته	J	۲/۳۱×۱۰ ^۵	(امیری و همکاران ۲۰۱۹)	۶/۶۵×۱۰ ^{۱۳}
نشاء	Rial	۲/۵۰×۱۰ ^۸		۲/۸۰×۱۰ ^{۱۳}
کل زیرمجموعه				۶/۸۷×۱۰ ^{۱۵}
مجموع				۱/۹۲×۱۰ ^{۱۶}
خروجی				
عملکرد اقتصادی	g			
عملکرد اقتصادی	J			

جدول ۴- مشخصات و فرمول شاخص‌های انرژی نظام‌های تولید انگور یاقوتی سیستان

شاخص‌ها	واحد	فرمول	خصوصیات
ضریب تبدیل	sej/J	$Tr = U / E (sej J^{-1})$	مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید یک خروجی اقتصادی بر حسب ژول، معیاری برای کارایی سیستم.
انرژی ویژه	sej/g	$SE = U / W$	مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد خروجی که بر حسب گرم اندازه گیری می شود. W وزن قابل دسترس محصول است.
درصد تجدیدپذیری انرژی		$\%R = (R+FR) / U$	درصد انرژی تجدیدپذیر استفاده شده توسط سیستم
نسبت مبادله انرژی		$EER = YM / U$	نسبت مبادله انرژی بر اساس عملکرد محصول در واحد سطح
نسبت عملکرد انرژی		$EYR = U / (FR+FN)$	توانایی یک فرایند برای استفاده از منابع محلی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر زمانی که منابع اقتصادی از خارج در سیستم به عنوان ورودی سرمایه سرمایه گذاری می شود.
نسبت بارگذاری محیطی		$ELR = (FN + N0 + FR)/R$	نسبت منابع انرژی خریداری شده و محیطی تجدیدناپذیر به انرژی محیطی تجدیدپذیر رایگان
نسبت بارگذاری محیطی اصلاح شده		$ELR^* = (FN + N0)/(R + FR)$	نسبت منابع انرژی خریداری شده تجدیدناپذیر و محیطی تجدیدناپذیر به منابع تجدیدپذیر رایگان محیطی و تجدیدپذیر خریداری شده است.
نسبت پایداری محیط زیست		$ESI = EYR / ELR$	وابستگی خروجی سیستم به محیط، هر چه مقدار بیشتر باشد، پایداری نظام قوی تر است
نسبت پایداری محیط زیست اصلاح شده		$ESI^* = EYR / ELR^*$	شاخص پایداری جایگزین که بر استفاده از منابع تجدیدپذیر بدون توجه به بارگذاری توجه دارد.
شاخص انرژی برای توسعه پایدار		$EISD = ESI \times EER$	این شاخص اثرات بازخورد بازار را بر پایداری محیطی سیستم و اثرات مبادله بازار را بر کارایی انرژی سیستم ارزیابی می کند.
نسبت سرمایه گذاری انرژی		$EIR = (FN + FR) / (R + N0)$	نسبت منابع انرژی خریداری شده از خارج به مجموع منابع محیطی رایگان در سیستم محلی
نسبت سرمایه گذاری انرژی اصلاح شده		$EIR^* = (FN + FR) / R$	نسبت منابع انرژی خریداری شده از خارج به انرژی تجدیدپذیر رایگان محیطی
ارزش عملکرد اقتصادی	Rials /g	Y_M	پول دریافت شده برای محصولات در هنگام فروش

U = مجموع ورودی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر

Y_M = ضریب تبدیل پول $\times$ ارزش بازار عملکرد اقتصادی محصول

E = عملکرد اقتصادی

نتایج و بحث

جدول ۲ جریان سرمایه‌های طبیعی و حاصل از اقتصاد انسانی مورد استفاده برای سیستم‌های تولید انگور را نشان می‌دهد. تمامی موارد فهرست شده پس از ضرب در ضرایب تبدیل (UEV)^۱ مناسب با شرایط پژوهش که حاصل مطالعات گذشته است به واحد ام‌ژول

خورشیدی تبدیل شد که نتیجه آن به طور خلاصه در جدول ۳ ارائه شده است. مجموع انرژی ورودی به نظام تولید انگور در منطقه مورد مطالعه 1.06×10^9 ام‌ژول خورشیدی در هکتار است. جریان‌های ورودی به نظام مورد مطالعه به دو گروه محیطی (تجدیدپذیر و

¹Unit Emergy Value

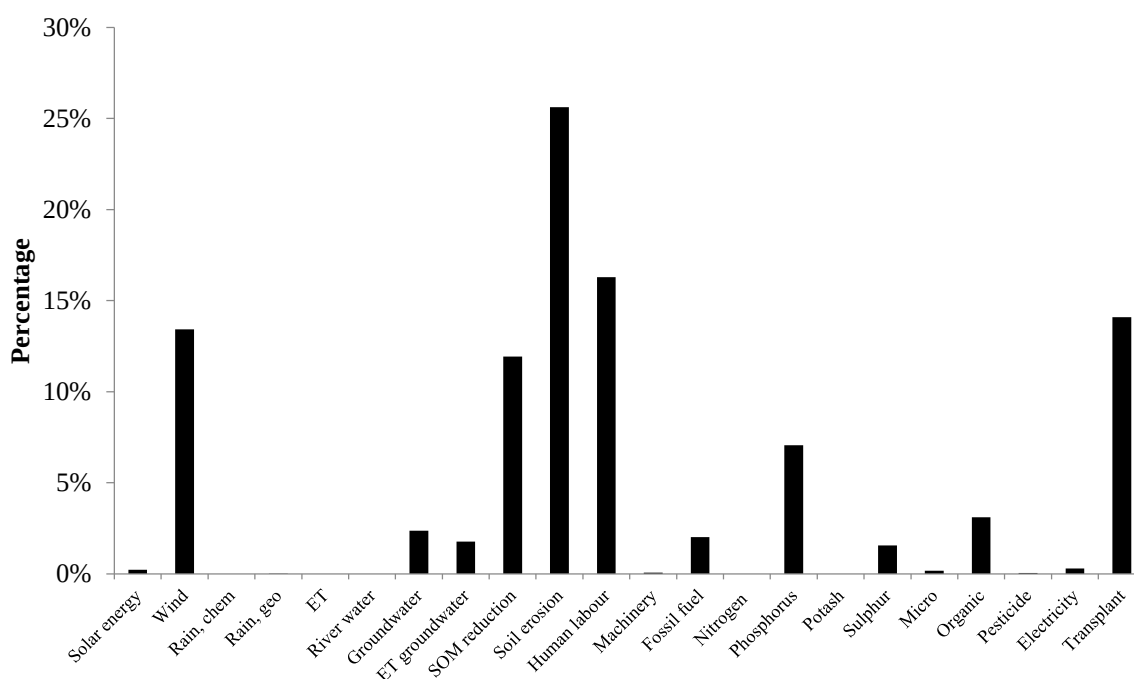
تجدیدناپذیر) و خریداری شده (تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر) تقسیم شدند.

جریان‌های محیطی ورودی به نظام مورد مطالعه در منطقه سیستان 1016×23735 ام‌ژول خورشیدی در هکتار بود که بیش از نیمی ($64/31$ درصد) از مجموع جریان‌های ورودی را به خود اختصاص دادند (شکل ۲). فرسایش خاک تاثیرگذارترین نهاده محیطی ورودی به این نظام بود که مقدار آن $5/73 \times 10^{15}$ ام‌ژول خورشیدی در هکتار محاسبه شد که در مجموع $29/79$ درصد از جریان‌های ورودی را به خود اختصاص داده است. میزان اندک مواد آلی خاک، عملیات خاک‌ورزی غیر اصولی و شیوه سنتی آبیاری در منطقه را می‌توان از دلایل میزان بالای فرسایش خاک دانست.

جریان‌های ورودی خریداری شده نیز به دو گروه تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم می‌شوند. مجموع این جریان‌های ورودی به نظام مورد مطالعه $6/87 \times 10^{15}$ ام‌ژول خورشیدی در هکتار بود. این مقدار متاثر از ورودی نیروی انسانی است که با $3/64 \times 10^{15}$ ام‌ژول خورشیدی در هکتار بیشترین میزان امرژی ورودی در این گروه را به خود اختصاص داد. استفاده از نیروی انسانی در فعالیت‌هایی همچون هرس، وجین علف‌های

هرز و برداشت دلایل اصلی هستند که موجب شده تا این آیتم در مجموع با $18/92$ درصد به عنوان مهم‌ترین ورودی خریداری شده به سیستم شناخته شود (شکل ۲). استفاده بهینه از آب و نیروی کار موجب بهبود کارایی نظام تولیدی انگور یاقوتی در سیستان می‌شود.

مجموع امرژی ورودی به نظام‌های تولید خیار، گوجه فرنگی، فلفل دلمه‌ای و بادمجان به ترتیب $1/18 \times 10^{16}$ ، $1/13 \times 10^{16}$ ، $1/11 \times 10^{16}$ و $1/26 \times 10^{16}$ ام‌ژول خورشیدی در هکتار تخمین زده شده است. مقایسه این نظام‌ها از نظر مقدار ورودی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر حاکی از این بود که نظام تولید خیار به دلیل طولانی‌تر بودن زمان کاشت تا برداشت، ورودی امرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر بیشتری داشت (اصغری پور و همکاران ۲۰۲۰). محققان در نظام‌های تولید خرما و پسته شهرستان نهبندان به ترتیب $2/26 \times 10^{16}$ و $2/97 \times 10^{16}$ ام‌ژول خورشیدی در هکتار، ورودی امرژی تخمین زدند. بیشترین ورودی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر به ترتیب به نظام‌های تولید خرما و پسته تعلق داشت و بیشترین ورودی در هر دو نظام مربوط به ورودی‌های خریداری شده بود (جعفری و همکاران ۲۰۱۸).



شکل ۲- ساختار نهاده‌های امرژی نظام تولید انگور یاقوتی سیستان

شاخص‌های امرژی

شاخص‌های امرژی ابزارهای مفیدی برای مقایسه سیستم‌های تولید هستند که با در نظر گرفتن ورودی‌های اقتصادی و زیست محیطی برخی ویژگی‌های عملکردی مانند بهره‌وری استفاده از منابع، تاثیرات زیست محیطی و پایداری را در نظام مورد مطالعه بررسی می‌کنند (اصغری پور و همکاران ۲۰۲۰).

کارایی استفاده از امرژی

ضریب تبدیل (Tr) و امرژی ویژه (SE) معیارهایی هستند که جهت بررسی کارایی امرژی در فرایند تولید

استفاده می‌شوند (ادوم ۱۹۹۶). ضریب تبدیل به عنوان ورودی امرژی در هر واحد از امرژی خروجی تعریف می‌شود و واحد آن امژول خورشیدی بر ژول می‌باشد. این در حالی است که امرژی ویژه به عنوان امرژی در واحد جرم خروجی تعریف می‌شود و به صورت امژول خورشیدی در هر گرم بیان می‌شود (براون و اولجیاتی ۲۰۰۴). مقدار این دو شاخص در نظام تولید انگور به ترتیب برابر $2/49 \times 10^5$ امژول خورشیدی بر ژول و $4/75 \times 10^9$ امژول خورشیدی بر گرم محاسبه شد. (جدول ۵).

جدول ۵- شاخص‌های امرژی نظام‌های تولید انگور یاقوتی سیستان

مقادیر	واحدها	شاخص‌های مبتنی بر امرژی
$2/49 \times 10^5$	sej J^{-1}	ترنسفورمیتی (Tr)
$4/75 \times 10^9$	sej g^{-1}	امرژی ویژه (SpF)
$118/52\%$	%	درصد تجدیدپذیری امرژی (%R)
۲/۸۰		نسبت عملکرد امرژی (EYR)
۰/۵۵۵		نسبت سرمایه‌گذاری امرژی استاندارد (EIR)
۲/۲۵۳		نسبت سرمایه‌گذاری امرژی اصلاح شده (EIR*)
۵/۳۱۱		نسبت بارگذاری محیطی استاندارد (ELR)
۴/۴۰۰		نسبت بارگذاری محیطی اصلاح شده (ELR*)
۰/۵۲۸		شاخص پایداری محیط زیست استاندارد (ESI)
۰/۶۳۷		شاخص پایداری محیط زیست اصلاح شده (ESI*)
$2/78847 \times 10^{15}$	sej Rials^{-1}	ارزش بازار عملکرد اقتصادی (Rials g^{-1})
۶/۹۰		نسبت مبادله امرژی (EER)
۳/۶۴		نسبت امرژی برای توسعه پایدار (EISD)

$$Y_M (\text{sej Rials}^{-1}) = \text{Market value of the product's economic yield } (M_Y (\text{Rial}^{-1})) \times \text{Money transformity } (\text{sej Rial}^{-1})$$

یکی از دلایل بالا بودن مقدار این دو شاخص، عملکرد پایین انگور منطقه در واحد سطح است. علیرغم ویژگی‌های شاخص انگور یاقوتی، ضعف‌هایی چون کوچک بودن خوشه‌ها، فشردگی زیاد و ریز بودن حبه‌ها به همراه کوتاه بودن دوره محصول‌دهی آن موجب شده تا عملکرد این رقم در مقایسه با عملکرد جهانی و کشوری انگور پایین باشد (فناپی و محمود زاده ۲۰۱۹). مقدار ضریب تبدیل برای تولید پسته و خرما در نهبندان به ترتیب $1/16 \times 10^6$ و $9/97 \times 10^5$ امژول خورشیدی بر ژول

گزارش شده است که از مقدار محاسبه شده در نظام تولید انگور یاقوتی سیستان بیشتر است. مقدار بالاتر ضریب تبدیل یا امرژی ویژه منعکس کننده کارایی پایین‌تر روند تولید در محیط و رقابت اقتصادی در دوره‌های زمانی طولانی است (ادوم ۱۹۹۶). به عبارتی هر چه ضریب تبدیل بیشتر باشد نیاز به حمایت محیطی از فرآوردها و تولید محصول بیشتر است (کاوالت و همکاران ۲۰۰۶).

تعامل با محیط

ELR و ELR^* برای اندازه‌گیری تنش اعمال شده از تولید در اکوسیستم به محیط زیست در نظر گرفته می‌شوند (مایولو و همکاران ۲۰۲۱). نسبت بارگذاری محیطی، مجموع ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر و ورودی‌های خریداری شده به ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر است (ریدولفی و همکاران ۲۰۱۹). با توجه به این توضیح می‌توان نتیجه گرفت که هر چه عدد بدست آمده از این رابطه بزرگتر باشد تنش ایجاد شده بیشتر خواهد بود. کاوال و همکاران (۲۰۰۶) نتایج حاصل از ELR را اینگونه توصیف کرده‌اند که مقدار $ELR < 2$ نشان دهنده فشار محیطی نسبتاً کم، $2 < ELR < 10$ تنش محیطی متوسط و $ELR > 10$ استرس محیطی زیاد را منعکس می‌کند.

مقدار ELR در مطالعه حاضر ۵/۳۱۱ است که با توجه به توضیحات داده شده نظام مورد مطالعه دارای تنش محیطی متوسط است. علت آن را می‌توان اینگونه توضیح داد که مقدار ورودی‌های تجدیدناپذیر در این نظام بیشتر از منابع تجدیدپذیر است. ELR^* نیز همانند ELR محاسبه می‌شود با این تفاوت که نهاده‌های تجدیدپذیر خریداری شده به مخرج کسر منتقل می‌شوند. این تغییر باعث می‌شود تا مقدار حاصل نشان دهنده فشار کمتر به محیط باشد. مقدار ELR^* در این مطالعه ۴/۴۰۰ بود. این شاخص در تولید کلزای تجاری و معیشتی به ترتیب ۱۷/۵۸ و ۴/۰۰ گزارش شده است (امیری و همکاران ۲۰۲۰). مقدار ELR برای تولید خیار، گوجه فرنگی، فلفل دلمه‌ای و بادمجان گلخانه‌ای به ترتیب $2/21 \times 10^3$ ، $2/67 \times 10^3$ ، $2/62 \times 10^3$ و $2/69 \times 10^3$ و همچنین مقدار ELR^* این سیستم‌های تولیدی به همان ترتیب ۴/۱۸، ۴/۳۵، ۴/۴۶ و ۴/۶۲ بود (اصغری پور و همکاران ۲۰۲۰). امینی و همکاران (۲۰۲۰) مقدار این دو شاخص را برای تولید برنج در مازندران ۴۳/۸۷ و ۱۱/۱۱ گزارش کردند.

شاخص دیگری که به بررسی تعامل با محیط می‌پردازد نسبت عملکرد امرژی (EYR) است. EYR، نسبت مجموع جریان امرژی به جریان‌های امرژی

خریداری شده است که برای اندازه‌گیری توانایی فرایند توسعه منابع محلی با سرمایه‌گذاری از منابع خارجی استفاده می‌شود (سان و همکاران ۲۰۲۱). این شاخص معیاری از تخصیص منابع محلی توسط یک فرایند را ارائه می‌دهد که می‌تواند به عنوان یک کمک بالقوه اضافی به اقتصاد از طریق سرمایه‌گذاری منابع موجود خوانده شود. حداقل EYR قابل دستیابی ۱ است که نبود سهم منابع محلی در فرایند تولید و وابستگی به منابع خریداری شده را بیان می‌کند (براون و اولجیاتی ۱۹۹۸). هر چه این شاخص بیشتر باشد، وابستگی سیستم به ورودی‌های محیطی در مقایسه با منابع خریداری شده بیشتر می‌شود (اصغری پور و همکاران ۲۰۲۰ و ریدولفی و همکاران ۲۰۱۹).

نسبت عملکرد امرژی در نظام تولید انگور یاقوتی ۲/۸۰ محاسبه شد. این نسبت برای تولید کلزای تجاری و معیشتی در ایران به ترتیب ۲/۳۱ و ۱/۵۳ گزارش شد (امیری و همکاران ۲۰۲۰). همچنین EYR در تولید خرما و پسته نه‌بندان به ترتیب ۱/۷۱ و ۱/۶۹ بود (جعفری و همکاران ۲۰۱۸). مقدار این شاخص در تولید انگور بیشتر از کلزای معیشتی، خرما و پسته بود که نشان دهنده وابستگی بیشتر آن به ورودی‌های محیطی نسبت به خریداری شده در مقایسه با این نظام‌ها است. اما این نظام نسبت به تولید برنج (۵/۱۳) در مازندران (امینی و همکاران ۲۰۲۰) به منابع خریداری شده وابستگی بیشتری دارد، بنابراین نسبت به این نظام توانایی بهره‌برداری از منابع محلی در آن کمتر است.

EIR از نسبت ورودی‌های خریداری شده به ورودی‌های رایگان سامانه و EIR^* از نسبت ورودی‌های خریداری شده به ورودی‌های تجدیدپذیر محیطی به دست می‌آید. نسبت‌های سرمایه‌گذاری امرژی نشان می‌دهند که یک سیستم بجای استفاده از منابع محلی تا چه حد به منابع بیرونی وابسته است (ریدولفی و همکاران ۲۰۱۹). این شاخص عکس نسبت عملکرد امرژی عمل می‌کند به این صورت که هر چه EIR بزرگتر باشد منعکس کننده سهم بیشتری از منابع خریداری شده

است و مقدار کمتر آن نشان دهنده هزینه اقتصادی پایین‌تر است (امینی و همکاران ۲۰۲۰).

EIR برای نظام مورد مطالعه ۰/۵۵۵ بدست آمد. محققان مقدار EIR را برای تولید خرما و پسته به ترتیب ۱/۴۱ و ۱/۴۵ (جعفری و همکاران ۲۰۱۸) و موز ۱۶/۹۶ (باروس و همکاران ۲۰۰۹) گزارش دادند. مقدار پایین‌تر این شاخص در مقایسه با سیستم‌های تولید خرما، پسته و موز وابستگی بیشتر خروجی سیستم به منابع محیطی را نشان می‌دهد (وانگ و همکاران ۲۰۱۴). البته باید این نکته را متذکر شد که با وجود سهم کمتر منابع خریداری شده نسبت به منابع محیطی، درصد قابل توجهی از منابع محیطی (۲۹/۷۹ درصد) در نظام تولیدی مربوط به فرسایش خاک است. برای بررسی بهتر تطبیق سرمایه‌گذاری خارجی در سیستم‌های تولید نسبت به منابع محیطی تجدیدپذیر رایگان EIR^* پیشنهاد شده است (امیری و همکاران ۲۰۲۰). مقدار این شاخص در تولید انگور ۲/۲۵۳ بدست آمد. تفاوت میان نسبت سرمایه‌گذاری امرژی استاندارد و اصلاح شده در این مطالعه تاثیر ورودی‌های تجدیدناپذیر رایگان را در نظام تولید انگور برجسته می‌کند.

عدالت تجاری برای ورودی‌ها و خروجی‌ها

نسبت مبادله امرژی (EER) به عنوان نسبت بین قدرت خرید امرژی (Y_M) و پول دریافتی (M_Y) برای یک محصول و امرژی آن محصول تعریف می‌شود. این شاخص نه تنها برای نشان دادن ارزش حقوق صاحبان سهام، بلکه برای نشان دادن تفاوت بین ارزش پولی بیان شده در بازارها و ارزش‌های اهداکننده که توسط ارزیابی امرژی برآورد می‌شود مفید است (لو و کمپل ۲۰۰۹). این شاخص برای اندازه‌گیری اثرات مبادله بازار بر تعادل امرژی بین خریدار و فروشنده زمانی که خروجی‌های سیستم در بازار فروخته می‌شود استفاده می‌شود (لو و همکاران ۲۰۰۹).

مقدار این شاخص برای تولید انگور ۶/۹۰ بود. $EER=1$ برابری در تجارت را نشان می‌دهد، زمانی که ارزش فروش یک محصول برابر با امرژی دریافتی است

(لو و کمپل ۲۰۰۹). بنابراین از دیدگاه تولید کننده مقدار بدست آمده از تولید انگور یاقوتی نشان دهنده مطلوب بودن و سطح بالای EER است. یکی از دلایل این امر زودرس بودن این انگور در مقایسه با انگور سایر نقاط کشور است که موجب می‌شود تا بازار ظرفیت پذیرش و حمایت از این محصول را داشته باشد. البته افزایش عملکرد این محصول در واحد سطح و ورود آن به بازارهای سایر مناطق کشور موجب بهبود این شاخص می‌شود. اصغری پور و همکاران (۲۰۲۰) مقدار این شاخص را برای سیستم‌های تولید خیار، گوجه فرنگی، فلفل دلمه‌ای و بادمجان گلخانه‌ای به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۶۰، ۰/۳۷ و ۰/۵ گزارش دادند. آنها این نتایج را به این صورت تفسیر کردند که در مبادله این محصولات با پول در بازار به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۶۰، ۰/۵۰ و ۰/۳۷ از ورودی‌های امرژی به سیستم‌های تولید خیار، گوجه فرنگی، فلفل دلمه‌ای و بادمجان گلخانه‌ای توسط تولید کنندگان جبران شد.

پایداری سیستم

نسبت تجدیدپذیری ($R\%$) یا درجه پایداری، به درصد امرژی تجدیدپذیر مورد استفاده در سیستم اشاره می‌کند (کاولت و همکاران ۲۰۰۶). هر چه درصد تجدیدپذیری منابع مورد استفاده کمتر باشد، فشار به محیط بیشتر می‌شود. از این مطلب می‌توان به این نتیجه رسید که فرایندها یا سیستم‌های با ارزش بالایی از $R\%$ به پایداری نزدیکتر هستند (براون و اولجیاتی ۱۹۹۸).

نسبت امرژی تجدیدپذیر محاسبه شده در نظام مورد مطالعه ۱۸/۵۲ درصد بود. این مقدار نشان می‌دهد که بیش از ۳ برابر ورودی‌ها به نظام تولید انگور در منطقه مربوط به منابع تجدیدناپذیر محلی و خریداری شده است. در سیستم‌های معیشتی و تجاری تولید کلزا در ایران نسبت امرژی تجدیدپذیر به ترتیب ۱۹/۹۰ و ۵/۳۰ درصد محاسبه شد (امیری و همکاران ۲۰۲۰). این شاخص برای تولید برنج ۸/۲۶ درصد (امینی و همکاران ۲۰۲۰) و خرما و پسته در ایران به ترتیب ۴۳/۲ و ۳۵/۷ درصد (جعفری و همکاران ۲۰۱۸) بود. اصغری پور و همکاران (۲۰۲۰) درصد امرژی تجدیدپذیر برای سیستم های تولید خیار، گوجه فرنگی، فلفل دلمه‌ای و بادمجان

پایداری بیشتر این نظام به دلیل فشردگی کمتر نهاده‌های ورودی در مقایسه با سیستم‌های تولید سبزیجات گلخانه‌ای خیار، گوجه فرنگی، فلفل دلمه‌ای و بادمجان (به ترتیب $۱۰ \times ۱/۳۹$) (اصغری پور و همکاران ۲۰۲۰) و سیستم‌های تولید تجاری و معیشتی کلزا (به ترتیب ۰/۱۱ و ۰/۰۴) (امیری و همکاران ۲۰۲۰) است.

نتیجه‌گیری نهایی

امروزه به دلیل استفاده حداکثری کشاورزان از نهاده‌های کشاورزی جهت دستیابی به بیشترین مقدار خروجی، مساله پایداری در این بخش به یک چالش بزرگ تبدیل شده است. بنابراین بررسی شاخص‌های پایداری از طریق ارزیابی منابع می‌تواند کشاورزان را از اثرات زیست محیطی فعالیت‌های آنها آگاه سازد. تا به حال تکنیک‌های زیادی برای این منظور معرفی شده‌اند که از آن جمله ترکیبی از تحلیل ورودی‌های امرژی و شاخص‌های امرژی است. این موارد در مطالعه حاضر که پایداری نظام تولید انگور یاقوتی منطقه سیستان را مورد بررسی قرار می‌دهد در نظر گرفته شد. ورودی‌های زیست محیطی غیرقابل تجدید بیشترین تاثیر را در نظام مورد مطالعه داشت. درصد تجدیدپذیری محاسبه شده ۱۸/۵۲ درصد بود. شاخص‌های امرژی که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته‌اند شامل ضریب تبدیل، امرژی خاص، نسبت عملکرد امرژی (EYR)، نسبت بارگذاری محیطی و نسخه اصلاح شده آن (ELR و ELR^*)، شاخص پایداری محیط زیست و نسخه اصلاح شده آن (ESI و ESI^*)، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی و نسخه اصلاح شده آن (EIR و EIR^*)، نسبت مبادله امرژی (EER) و شاخص امرژی برای توسعه پایدار (EISD) است.

مقایسه این شاخص‌ها در نظام تولید انگور یاقوتی در مقایسه با تولید انگور در مزرعه چیانتهی ایتالیا باستانونی و همکاران (۲۰۰۱) نشان داد که نسبت عملکرد امرژی در این نظام در مقایسه با تولید انگور چیانتهی در وضعیت مطلوبی است، ضریب تبدیل پایین‌تر انگور سیستان منعکس کننده کارایی بالاتر ویژگی‌های

گلخانه‌ای را به ترتیب $۱۹/۴$ ، $۱۸/۷$ ، $۱۸/۴$ و $۱۷/۷$ درصد گزارش کردند. بنابراین اینگونه نتیجه‌گیری می‌شود که درصد تجدیدپذیری امرژی در نظام تولید انگور یاقوتی سیستان نسبت به سیستم‌های تجاری کلزا، برنج، فلفل و بادمجان گلخانه‌ای بالاتر است. براون و اولجیاتی (۲۰۰۴) معتقدند که در درازمدت فقط فرایندهایی با درصد امرژی تجدیدپذیر بالا پایدار هستند.

شاخص‌های بعدی که در این گروه قرار می‌گیرد شاخص‌های پایداری محیط زیست و نسخه اصلاح شده آن (ESI و ESI^*) است. ESI از تقسیم EYR به ELR حاصل می‌شود. به بیان دیگر این شاخص امتیازات سیستم را با توجه به هزینه‌های سیستم ارزیابی می‌کند (جعفری و همکاران ۲۰۱۸) بنابراین توانایی ارائه جنبه‌های اقتصادی و زیست محیطی یک نظام را دارد (یزدانی و همکاران ۲۰۲۰). مقادیر بدست آمده در صورتی که بالاتر از ۱۰ باشد نشان دهنده پایداری سیستم است در حالی که مقادیر زیر یک سیستمی ناپایدار را معرفی می‌کند (براون و اولجیاتی ۱۹۹۸).

در این مطالعه مقدار ESI ، ۰/۵۲۸ بدست آمد که این مقدار کمتر از مقادیر بدست آمده در سیستم تولید خرما و پسته نه‌بندان است که به ترتیب $۱/۳۰$ و $۰/۹۳$ گزارش شد (جعفری و همکاران ۲۰۱۸) و بیشتر از مقادیری است که در خرم آباد برای تولید کلزای تجاری و سنتی (۰/۱۲) محاسبه شد (امیری و همکاران ۲۰۲۰). کاهش ورودی‌های خریداری شده موجب افزایش شاخص نسبت بازده امرژی و کاهش شاخص نسبت بارگذاری محیطی و به دنبال آن افزایش شاخص پایداری محیط زیست می‌شود. شاخص‌های EYR و ELR^* در مقدار ESI^* موثر هستند. این شاخص در نظام تولید انگور یاقوتی ۰/۶۳۷ محاسبه شد.

لو و همکاران (۲۰۰۳) از حاصلضرب ESI و EER، شاخصی به نام امرژی برای توسعه پایدار (EISD) را معرفی کردند. این شاخص اثرات مبادله بازار بر پایداری را ارزیابی می‌کند. مقدار بیشتر این شاخص با پایداری سیستم ارتباط مستقیم دارد. مقدار این شاخص برای نظام تولید انگور یاقوتی ۳/۶۴ بدست آمد که نشان دهنده

تغییر سیستم آبیاری می‌تواند موجب کاهش هزینه‌های اقتصادی و اکولوژیک نظام تولیدی شود. همچنین افزایش عملکرد در واحد سطح، بهبود کیفیت محصول، صادرات به سایر استان‌ها و بسته‌بندی مطلوب می‌تواند موجب افزایش درآمد برای باغداران شود.

سپاسگزاری

این مطالعه در قالب رساله دکتری و با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه زابل با پژوهانه شماره IR-UOZ-GR-6673 انجام گردید.

اقتصادی و محیطی است و از نظر تنش محیطی هر دو در وضعیت متوسطی قرار دارند. نظام تولید انگور از لحاظ ورودی و خروجی اقتصادی در وضعیت مطلوبی است. مدیریت نظام تولید انگور یا قوتی در منطقه سیستان به صورت سنتی است. نیروی انسانی یک نهاد مهم در این نظام است. وجین علف‌های هرز، هرس درختان، کاربرد کود دامی و آبیاری از جمله عملیاتی هستند که جایگاه ویژه این نهاد را در فرایند تولید نشان می‌دهد. با وجود مشکل آب در منطقه، آبیاری به صورت جوی و پشته‌ای انجام می‌شود که موجب هدر رفت آب و خاک به عنوان دو منبع با ارزش در تولیدات کشاورزی می‌شود.

منابع مورد استفاده

- Amini Sh, Rohani A, Aghkhani MH, Abbaspour-Fard MH and Asgharipour MR. 2020. Sustainability assessment of rice production systems in Mazandaran Province, Iran with emergy analysis and fuzzy logic. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 40: 100744.
- Amiri Z, Asgharipour MR, Campbell DE and Armin M. 2019. A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran, based on emergy and economic analyses. *Journal of Cleaner Production*, 226: 1051-1066.
- Amiri Z, Asgharipour MR, Campbell DE and Aghapoor Sabaghi M. 2020. Comparison of the sustainability of mechanized and traditional rapeseed production systems using an emergy-based production function: A case study in Lorestan Province, Iran. *Journal of Cleaner Production*, 258: 120891.
- Asgharipour MR, Amiri Z and Campbell DE. 2020. Evaluation of the sustainability of four greenhouse vegetable production ecosystems based on an analysis of emergy and social characteristics. *Ecological Modelling*, 424: 109021.
- Asgharipour MR, Shahgholi H, Campbell DE, Khamari I and Ghadiri A. 2019. Comparison of the sustainability of bean production systems based on emergy and economic analyses. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191: 2. 7123-3.
- Barros a ID, Blazy JM, Rodrigues GS, Tournebize R and Cinna JP. 2009. Emergy evaluation and economic performance of banana cropping systems in Guadeloupe (French West Indies). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 129: 437-449.
- Bastianoni S, Marchettini N, Panzieri M and Tiezzi E. 2001. Sustainability assessment of a farm in the Chianti area (Italy). *Journal of Cleaner Production*, 9: 365-373.
- Bastianoni S, Pulselli FM, Castellini C, Granai C, Dal Bosco A and Brunetti M. 2009. Emergy evaluation and the management of systems towards sustainability: A response to Sholto Maud. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 120: 472-474.
- Brandt-Williams SL. 2002. Handbook of emergy evaluation: a compendium of data for emergy computation issued in a series of Folios. Center for Environmental Policy Environmental Engineering Science. University of Florida, Gainesville.
- Brown MT and Ulgiati S. 1998. Emergy-based indices and ratio to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecological Engineering*, 9: 51-69.
- Brown MT and Ulgiati S. 2004. Emergy Analysis and Environmental Accounting. *Encyclopedia of Energy*, 2: 329-354.

- Brown MT and Bardi E. 2001. Handbook of emergy evaluation. A compendium of data for emergy computation issued in a series of folios Folio, 3.
- Campbell DE, Brandt-Williams SL and Meisch MEA. 2005. Environmental Accounting Using Emergy: Evaluation of the State of West Virginia. EPA/600/R-02/ 011. USEPA, Office of Research and Development, Washington, DC, pp. 116.
- Campbell DE and Erban L. 2016. A reexamination of the emergy input to a system from the wind. In: Brown MT, Sweeney S, Campbell DE, Huang S, Rydberg T, Ulgiati S. (Eds.), Proceedings of the Ninth Biennial Emergy Research Conference, pp. 13–19 Gainesville.
- Cavalett O, Queiroz JFD and Ortega E. 2006. Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. *Ecological Modelling*, 193: 205-224.
- Cheng H, Chen C, Wu S, Mirza ZA and Liu Z. 2017. Emergy evaluation of cropping, poultry rearing, and fish raising systems in the drawdown zone of three gorges reservoir of China. *Journal of Cleaner Production*, 144: 559–571.
- Cochran WG. 1942. Sampling theory when the sampling-units are of unequal sizes. *Jornal of the American Statistical Association*, 37: 199-212.
- Cuadra M and Rydberg T. 2006. Emergy evaluation on the production, processing and export of coffee in Nicaragua. *Ecological Modelling*, 196(3-4), pp.421-433.
- Dorado MP, Cruz F, Palomar JM and Lopez FJ. 2006. An approach to the economics of two vegetable oil-based in Spain. *Renewable Energy*, 31: 1231-1237.
- Fanaei HR and Mahmoudzadeh H. 2019. Familiarity with the top clones of Yaghooti grapes in Sistan region. Horticultural Research Institute. Mild and Cold Fruits Research Institute.
- Ghaley BB, Kehli N and Mentler A. 2018. Emergy synthesis of conventional fodder maize (*Zea mays* L.) production in Denmark. *Ecological Indicators*, 87: 144-151.
- Halimi Sufi M, Mousavi Nik M and Asgharipour M. 2013. Study of energy efficiency and economic indicators in grape production systems of Sistan region. MSc Thesis. Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
- Jafari M, Asgharipour MR, Ramroudi M, Galavi M and Hadarbad G. 2018. Sustainability assessment of date and pistachio agricultural systems using energy, emergy and economic approaches. *Journal of Cleaner Production*, 193: 642-651.
- Jaklic T, Juvancic L, Kavcic 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.
- Kandyli P, Dimitrellou D and Moschakis T. 2021. Recent applications of grapes and their derivatives in dairy products. *Trends in Food Science & Technology*, 114: 696-711.
- Lan SF, Qin P and Lu HF. 2002. Emergy Assessment of Ecological Systems, third ed., vol. 76. Chemical Industry Press, Beijing China, pp. 406-412.
- Lu H and Campbell DE. 2009. Ecological and economic dynamics of the Shunde agricultural system under China's small city development strategy. *Journal of Environmental Management*, 90: 2589-2600.
- Liu Y, Li J and Yang Y. 2018. Strategic adjustment of land use policy under the economic transformation. *Land Use Policy*, 74: 5-14.
- Lu H, Bai Y, Ren H and Campbell DE. 2010. Integrated emergy, energy and economic evaluation of rice and vegetable production systems in alluvial paddy fields: Implications for agricultural policy in China. *Journal of Environmental Management*, 91: 2727-2735.

- Lu H, Kang WL, Campbell DE, Ren H, Tan YW, Feng RX, Luo JT and Chen FP. 2009. Emergy and economic evaluations of four fruit production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. *ecological engineering*, 35: 1743-1757.
- Lu HF, Lan SF, Li L and Peng SL. 2003. New emergy indices for sustainable development. *Journal of Environmental Sciences*, 15: 562-569.
- Lu HF, Tan YW, Zhang WSh, Qiao YCh, Campbell DE, Zhou L and Ren H. 2017. Integrated emergy and economic evaluation of lotus-root production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. *Journal of Cleaner Production*, 158: 367-379.
- Maiolo S, Cristiano S, Gonella F and Pastres R. 2021. Ecological sustainability of aquafeed: An emergy assessment of novel or underexploited ingredients. *Journal of Cleaner Production*, 264: 126266.
- Moonilall NI, Homenauth O and Lal R. 2020. Emergy analysis for maize fields under different amendment applications in Guyana. *Journal of Cleaner Production*, 258: 120761.
- Odum HT. 1996. *Environmental accounting: emergy and environmental decision making*. Wiley, New York.
- Odum HT and Peterson N. 1996. Simulation and evaluation with energy systems blocks. *Ecological modelling*, 93: 155-173.
- Peng W, Wang X, Li X and He C. 2018. Sustainability evaluation based on the emergy ecological footprint method: A case study of Qingdao, china, from 2004 to 2014. *Ecological Indicators*, 85: 1249-1261.
- Raygan S, Nazemi Rafie J, Witzgall P and Sadeghi, A. 2013. Study of seasonal changes of *Lobesia botrana* (Lep: Tortricidae) and effect of concentrations of sexual pheromone and grape variety on attraction of adults in Kurdistan Province. *Journal of Plant Protection*, 27(3): 316-323.
- Ridolfi R, Pulselli FM, Morandi F, Oliveira M and Bastianoni S. 2019. Emergy and sustainability. *Earth Systems and Environmental Sciences*, 4: 294-306.
- Rosa AD, 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: 1907-1914.
- Rydberg R and Haden AC. 2006. Emergy evaluations of Denmark and Danish agriculture: Assessing the influence of changing resource availability on the organization of agriculture and society. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 117: 145-158.
- Sarabandia M, Farokhzada A, Abdollahi Mandoulakanib B and Ghasemzadehb R. 2019. Biochemical and gene expression responses of two Iranian grape cultivars to foliar application of methyl jasmonate under boron toxicity conditions. *Scientia Horticulturae*, 249:355-363.
- Shiri Y, Solouki M, Ebrahimie E, Emamjomeh A and Zahiri J. 2018. Unraveling the transcriptional complexity of compactness in sistian grape cluster. *Plant Science*, 270: 198-208.
- Sistan and Baluchistan Province Statistical Yearbook 2018 (Iranian Year) [2018-2019], 2018. Publisher: Statistical Centre of Iran, p. 545 (in Persian).
- Srivastava A, Anand A, Shukla A, Kumar A, Buddhi D and Sharma A. 2021. A comprehensive overview on solar grapes drying: Modeling, energy, environmental and economic analysis. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47: 101513.
- Sun J, Yuan X, Liu H and Liu G. 2021. Emergy and eco-exergy evaluation of wetland reconstruction based on ecological engineering approaches in the three Gorges Reservoir, China. *Ecological Indicators*, 122: 107278.
- Wang X, Chen Y, Sui P, Gao W, Qin F, Zhang J and Wu X. 2014. Emergy analysis of grain production systems on large-scale farms in the North China Plain based on LCA. *Agricultural Systems*, 128: 66-78.
- Wang X, Tan K, Chen Y, Chen Y, Shen X, Zhang L and Dong Ch. 2018. Emergy-based analysis of grain production and trade in China during 2000-2015. *Journal of Cleaner Production*, 193:59-71.

- Xi YG and Qina P. 2009. Emergy evaluation of organic rice-duck mutualism system. *Ecological engineering*, 35: 1677-1983.
- Yazdani Sh, Salimipour E and Saei Moghaddam M. 2020. A comparison between a natural gas power plant and a municipal solid waste incineration power plant based on an emergy analysis. *Journal of Cleaner Production*, 274: 123158.
- Zhang G and Long W. 2010. A key review on emergy analysis and assessment of biomass resources for a sustainable future. *Energy Policy*, 38: 2948-1955.
- Zhao H, Zhai X, Guo L, Liu K, Huang D, Yang Y, Li J, Xie Sh, Zhang C, Tang Sh And Wang K. 2019. Assessing the efficiency and sustainability of wheat production systems in different climate zones in China using emergy analysis. *Journal of Cleaner Production*, 235: 724-732.
- Zhao H, Zhai X, Guo L, Yang Y, Li J, Ren Ch, Wang K, Liu X, Zhan R and Wang, K. 2019. Comparing protected cucumber and field cucumber production systems in China based on emergy analysis. *Journal of Cleaner Production*, 236: 117648.