

ارزیابی پایداری بوم‌نظام‌های تولید زیتون بر اساس تکنیک امرژی در شهرستان نهبندان

فاطمه نخعی^۱، احمد قنبری^۲، محمدرضا اصغری پور^۳* و اسماعیل سیدآبادی^۴

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۱۳ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۳)

چکیده

شناسایی و معرفی اکوسیستم‌های پایدار علاوه بر دستیابی به امنیت غذایی در بلندمدت، با حفاظت از منابع طبیعی و ارائه خدمات زیست محیطی ناشی از آن منابع همراه است. در این مطالعه از تحلیل ساختار ورودی‌ها و شاخص‌های مبتنی بر امرژی برای بررسی و مقایسه عملکرد زیست‌محیطی دو بوم نظام مکانیزه و سنتی زیتون واقع در شهرستان نهبندان در سال ۱۴۰۱ استفاده شد. برای انجام این پژوهش کلیه نهاده‌های محیطی رایگان و نهاده‌های استحصال شده از اقتصاد انسانی غیررایگان اعم از تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر برای هر دو نظام سنتی و مکانیزه زیتون اندازه‌گیری و برآورد گردید. کل امرژی ورودی به بوم نظام‌های مکانیزه و سنتی زیتون به ترتیب $1/09 \times 10^{18}$ و $2/00 \times 10^{18}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال گزارش گردید. از مجموع این ورودی‌ها، سهم ورودی‌های تجدیدنپذیر بویژه فرسایش خاک نسبت به سایر نهاده‌ها بیشتر بود. مقادیر نهاده‌های خریداری شده در سیستم‌های مکانیزه و زیتون به ترتیب $2/63 \times 10^{16}$ و $1/61 \times 10^{16}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال گزارش شد. از شاخص‌های امرژی مانند درصد تجدیدپذیری امرژی (R)، نسبت عملکرد امرژی (EYR)، نسبت سرمایه‌گذاری استاندارد (EIR) و اصلاح شده (EIR^*) و نسبت بار محیط زیستی استاندارد (ELR) و اصلاح شده (ELR^*) برای شناسایی بهترین شیوه‌های مدیریتی تولید زیتون جهت حرکت به سمت کشاورزی پایدار استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که تولید پایدار زیتون نیازمند تغییر از سیستم‌های مبتنی بر سوخت‌های فسیلی که منابع طبیعی تجدیدنپذیر و آلوده‌کننده هستند، به سیستم‌هایی است که از منابع طبیعی تجدیدپذیر و پاک مانند خورشید، باد و آب استفاده می‌کنند. برای دستیابی به بوم‌نظام‌های پایدارتر، استفاده از خاکورزی حفاظتی و جایگزینی کود شیمیایی با کود آلی برای استفاده در بوم‌نظام‌های تولید زیتون توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: پایداری کشاورزی، تحلیل امرژی، نسبت بار زیست‌محیطی، نهاده‌های ورودی

۱- فارغ التحصیل دکتری گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

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

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

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

* پست الکترونیک: moasgharipour@gmail.com

مقدمه

جنس زیتون (*Olea*) دارای ۳۰ گونه مختلف در جهان است. زیتون تجاری (*Olea europaea*) محبوب‌ترین گونه محسوب شده و به عنوان تنها گونه اقتصادی و مهم در جهان، سطح کشت وسیعی در منطقه مدیترانه دارد (ازکایا^۱ و همکاران، ۲۰۰۸). کشت زیتون با زمین‌های شیب‌دار و خاک‌های فقیر سازگار است و مزایای اکولوژیک، اقتصادی و اجتماعی را برای آن مناطق فراهم می‌کند (گمز^۲ و همکاران، ۲۰۰۸). بیش از ۹۰ درصد از درختان زیتون در سطح جهان در کشورهای حوزه مدیترانه اتحادیه اروپا کشت می‌شود (بانجی و پالیوتی^۳، ۲۰۱۸). درختان زیتون عمدتاً در نواحی ساحلی حوزه مدیترانه شرقی، نواحی ساحلی مجاور جنوب اروپا، شمال ایران (سواحل جنوبی دریای خزر)، آسیای غربی و شمال آفریقا یافت می‌شوند (ازکایا و همکاران، ۲۰۰۸). قدمت گیاه زیتون بیش از ۶۰۰۰ سال بوده ولی کشت آن در ایران با توجه به اسناد و مدارک موجود به ۹۰۰ سال پیش می‌رسد (شفیعی، ۱۳۸۶). در بین محصولات کشاورزی، درختان زیتون به دلیل عمر طولانی، سازگاری با دامنه نسبتاً وسیعی از شرایط محیطی، جنبه‌های تاریخی و ارزش بالای آن در تغذیه و سلامت انسان از دیرباز مورد توجه جوامع مختلف بوده‌اند (معصومی و محلوچی، ۱۳۸۹). شرایط اقلیمی شهرستان نهبندان با توجه به سازگاری درخت زیتون به شرایط کم آبی و شوری خاک می‌تواند تا حدود زیادی مناسب کشت زیتون باشد و این موضوع باعث علاقمندی باغداران این منطقه به تولید این محصول شده است (خبرگزاری مهر، ۱۳۹۹). توسعه باغ‌های زیتون بر پایه استفاده از روش‌ها و فناوری‌های جدید می‌تواند به عنوان یکی از محورهای توسعه در بخش کشاورزی مورد توجه قرار گیرد. برای نیل به این مقصود، ارزیابی پایداری نظام‌های تولید زیتون، نقش مهمی در کاهش خطرپذیری سرمایه و تقویت اقتصاد تولیدکنندگان خواهد داشت.

پایداری بسیاری از نظام‌های تولید نیازمند ارائه روشی تلفیقی برای تعیین کمیت نهاده‌های اقتصادی و منابع زیست‌محیطی است (لو^۴ و همکاران، ۲۰۱۸؛ جعفری^۵ و

همکاران، ۲۰۱۸). ارزش‌گذاری دقیق نهاده‌های تولیدی در تعامل بین انرژی و محیط زیست می‌تواند راه حل درستی برای تضمین کشاورزی پایدار باشد. تحلیل امرژی یکی از روش‌های تحلیل پایداری است که مبتنی بر تخمین‌های کمی و کیفی انرژی موجود یا انرژی (پتانسیل انجام کار) است (ادوم^۶، ۱۹۹۶ و ۲۰۰۷). تجزیه و تحلیل امرژی کیفیت انرژی ورودی‌های اقتصادی و زیست‌محیطی را در نظر می‌گیرد و یک ابزار تجزیه و تحلیل است که بر برخی از معایب سایر روش‌های تجزیه و تحلیل رایج، مانند تجزیه و تحلیل جریان انرژی، ارزیابی چرخه زندگی و تجزیه و تحلیل ردپای اکولوژیک غلبه می‌کند (ادوم، ۱۹۹۶). آنالیز امرژی یک روش علمی برای ارزیابی انرژی خورشیدی معادل مستقیم و غیرمستقیم مورد نیاز برای تولید یک محصول یا خدمات است (کمپبل^۷ و همکاران، ۲۰۰۵؛ شن^۸ و همکاران، ۲۰۱۹). واحد امرژی، امژول خورشیدی (sej) است. واحدهای امژول خورشیدی در هر ژول جریان مولد یا واحد محصول به عنوان معیاری برای مکان‌یابی یک آیتم خاص در سلسله مراتب ترمودینامیکی سیاره پیشنهاد شده است (ادوم و همکاران، ۲۰۰۰). پس از نزدیک به ۳۰ سال توسعه و کاربرد، این تکنیک به یک ابزار ارزیابی اکولوژیکی-اقتصادی تبدیل شده است که به‌طور گسترده برای ارزیابی اکوسیستم‌های مختلف کشاورزی در انواع مختلف و در مقیاس‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان مثال، پژوهشگرانی در کشور چین پایداری سیستم‌های تولید برنج و سبزیجات در مزارع شالیزاری (لو و همکاران، ۲۰۱۰)، پایداری سه سیستم آبی‌پروری (لی^۹ و همکاران، ۲۰۱۱)، پایداری اقتصادی-اکولوژیک سه نوع سیستم بامبو (لو و همکاران، ۲۰۱۸) و پایداری سه سیستم کشت ریشه نیلوفر آبی (لو و همکاران، ۲۰۱۷) را بررسی کردند. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل امرژی در چین برای اعمال اصول مهندسی در طراحی یک سیستم تولید میوه برای به حداکثر رساندن پایداری، کارایی تولید و اثرات زیست‌محیطی استفاده شد. در خرم‌آباد سیستم‌های تولید سنتی و تجاری کلزا با استفاده از تجزیه و تحلیل امرژی مقایسه شدند که منجر به توسعه استراتژی‌هایی برای ارتقای پایداری در

6. Odum
7. Campbell
8. Shen
9. Li

1. Ozkaya
2. Gomez
3. Bongi and Palliotti
4. Lu
5. Jafari

اکوسیستم‌های مورد مطالعه شد (امیری^۱ و همکاران، ۲۰۱۹). اصغری‌پور^۲ و همکاران (۲۰۱۹) در مورد مصرف سطوح مختلف نهاده‌ها در تولید لوبیا با استفاده از تحلیل‌های امرژی و اقتصادی نشان دادند که اگرچه سیستم‌هایی با ورودی‌های شیمیایی بالاتر دارای مزایای اقتصادی هستند، اما سطح پایداری این سیستم‌ها به دلیل استفاده از نهاده‌های تجدید ناپذیر کمتر از سیستم‌های بیولوژیکی است. جعفری و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از تحلیل‌های امرژی، انرژی و اقتصادی، بهره‌وری و پایداری باغ‌های تبدیل شده از خرما به تولید پسته را پیش‌بینی کرد. نتایج نشان داد که انگیزه اصلی باغداران برای تغییر به سمت تولید پسته، سود اقتصادی بیشتر حاصل از این باغات است. کمبود منابع، حساسیت‌های حفظ محیط‌زیست و بهره‌مندی هوشمندانه از انرژی‌های تجدیدشونده به عنوان پتانسیل‌های موجود در بوم‌نظام‌های کشاورزی، متخصصین علوم کشاورزی را بر آن داشته تا شیوه‌های صحیح در مدیریت مزرعه و طراحی بوم‌نظام‌ها را ارائه دهد تا از این طریق، بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها، ارتقای تولید به ازاء واحد نهاده مصرفی و در نهایت دسترسی به پایداری را ارتقاء دهند. در راستای چنین اهدافی انجام ارزیابی وضعیت پایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی با تکنیک‌های مناسب علمی جهت شناسایی چالش‌ها، نقاط ضعف و قوت، ضرورت پیدا می‌کند. ارزیابی امرژی سیستم‌های تولید زیتون می‌تواند بینش جدیدی را در مورد مدیریت این سیستم‌ها ایجاد کند و اطلاعات تکمیلی در مورد پایداری زیست‌محیطی ارائه دهد. از این رو، این پژوهش، به ارزیابی پایداری دو نوع از بوم‌نظام‌های تولید مکانیزه و سنتی زیتون با استفاده از تحلیل‌های امرژی می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی دو سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در روستای چاهداشی غرب نهبندان انجام شده است. مکان این روستا در ارتفاعات ۱۰۸۴ و ۱۱۱۰ متری از سطح دریا قرار دارد و در آن دو نوع نظام کشت زیتون، یعنی مکانیزه و سنتی، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. متوسط بارش سالیانه در این شهرستان ۱۴۰ میلی‌متر و میانگین تبخیر سالیانه نیز ۲۹۷۰ میلی‌متر است. بیشینه و کمینه دمای مطلق ثبت

شده در شهرستان نهبندان نیز به ترتیب ۴۵ و ۸/۲- درجه سانتی‌گراد است. میانگین دمای بیشینه و کمینه این منطقه در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ نیز به ترتیب ۳۶/۳ و ۲- درجه سانتی‌گراد بوده است. درجه قلیایی بودن خاک بوم‌نظام مکانیزه و سنتی زیتون به ترتیب ۸/۴ و ۸ و شوری خاک بوم‌نظام‌های مکانیزه و سنتی زیتون نیز به ترتیب برابر با ۳ و ۲/۴۵ دسی‌زیمنس بر متر بوده است. نظام مکانیزه زیتون با مساحت ۶۵ هکتار با مختصات ۳۱.۳۰۲۰ شمالی و ۵۹.۴۰۳۲ غربی و نظام سنتی با مساحت ۸ هکتار و مختصات ۳۱.۲۸۳۳ شمالی و ۵۹.۴۱۱۲ غربی واقع شده است. آب مورد نیاز برای همه نظام‌های تولیدی از منابع زیرزمینی تأمین می‌شود. برای رعایت استاندارد در محاسبات، مقدار مصرف نهاده‌ها و خروجی‌های هر دو بوم‌نظام در مساحت یک هکتار در نظر گرفته شد.

جمع‌آوری داده‌ها برای تحلیل نظام‌های تولید، منابع به چهار دسته تقسیم می‌شوند (لو و همکاران، ۲۰۱۰). برای انجام این مطالعه کلیه نهاده‌های محیطی رایگان از داده‌های هواشناسی و نهاده‌های استحصال شده از اقتصاد انسانی غیررایگان اعم از تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر در سال ۱۴۰۱ برای هر دو نظام سنتی و مکانیزه زیتون به صورت مصاحبه حضوری اندازه‌گیری و برآورد گردید. منابع محیطی تجدیدپذیر (R)، شامل: نورخورشید، باد و تبخیر و تعرق؛ منابع محیطی تجدیدنپذیر (N)، شامل آب‌های زیرزمینی، فرسایش و تلفات مواد آلی خاک؛ تخمین تلفات خاک از طریق فرسایش با تخمین جابجایی سطح خاک در مزرعه براساس تکنیک معادله جهانی تلفات خاک (USLE) انجام شد. این تلفات عموماً مربوط به خاک‌های سطحی است. کاهش ماده آلی از طریق نمونه‌برداری از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک و تعیین مقدار ماده آلی نمونه‌های جمع‌آوری شده قبل از کشت و پس از برداشت، بدست آمد. منابع خریداری شده تجدیدپذیر (FR)، شامل: ۲۰ درصد نهال، ۷ درصد الکتریسته، ۲۰ درصد کود آلی و ۱۰ درصد نیروی کارگری؛ منابع خریداری شده تجدیدنپذیر (FN)، شامل ماشین‌آلات کشاورزی، کودهای شیمیایی، سوخت فسیلی، ۹۰ درصد نیروی کارگری، ۹۳ درصد الکتریسته، ۸۰ درصد کود آلی و ۸۰ درصد نهال در نظر گرفته شد (اصغری‌پور و همکاران، ۲۰۱۹).

روش تحلیل امرژی

محققان متعددی جزئیات محاسبات امرژی را ارائه کرده اند (ادوم، ۱۹۹۶؛ کمپبل، ۱۹۹۸). اولین گام در تحلیل امرژی، شناسایی مرزهای زمانی و مکانی دو اکوسیستم مورد مطالعه و ترسیم نمودار زبان سیستم‌های انرژی برای طبقه‌بندی ورودی‌های سیستم‌های مطالعه به دسته‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر، محلی یا وارداتی می‌باشد. مرحله دوم در تجزیه و تحلیل امرژی، تهیه جداول ارزیابی امرژی (کمپبل و ارت،^۱ ۲۰۰۹) است (جداول ۱ و ۲). تمام جریان‌های ورودی (U) پس از تبدیل به یکی از سه واحد ژول، گرم و ریال با ضرب در ضرایب تبدیل مربوطه (مقدار امرژی واحد هر ورودی) که در مطالعات قبلی به‌دست آمده است به واحد یکپارچه امژول خورشیدی در هکتار در سال تبدیل شده است.

در تحلیل امرژی از شاخص‌های امرژی برای ارزیابی‌های زیست‌محیطی و اقتصادی استفاده می‌شود (ارتگا^۲ و همکاران، ۲۰۰۲؛ لو و همکاران، ۲۰۱۸). در این مطالعه از شاخص درصد تجدیدپذیری امرژی (R)، نسبت عملکرد امرژی (EYR)، نسبت بار محیط زیستی استاندارد (ELR) و اصلاح‌شده (ELR^*)، شاخص پایداری محیط‌زیست استاندارد (ESI) و نسخه اصلاح‌شده (ESI^*) استفاده شد.

نتایج و بحث

ساختار استفاده از امرژی

جریان ورودی‌های محیطی (رایگان)، خریداری شده و خروجی‌های نظام‌های مکانیزه و سنتی زیتون بر اساس واحدهای فیزیکی آنها در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین شکل ۲ درصد ورودی‌های امرژی دو نظام مختلف تولید زیتون را نشان می‌دهد. ورودی امرژی کل نظام مکانیزه و سنتی زیتون در این مطالعه به‌ترتیب $1/0.9 \times 10^{18}$ و $2/0.0 \times 10^{18}$ امژول در هکتار در سال محاسبه شد. مجموع جریان امرژی ورودی محصولات زراعی، دام و سیستم‌های یکپارچه در منطقه سیستان به‌ترتیب $4/41 \times 10^{18}$ ، $5/0.3 \times 10^{18}$ و $9/43 \times 10^{18}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال گزارش شده است (گلشنی^۳ و همکاران، ۲۰۲۲). در

نظام تولید قهوه در عرصه‌های طبیعی برزیل جریان ورودی به نظام تولید $8/25 \times 10^{15}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال برآورد گردید (جیانتی^۴ و همکاران، ۲۰۱۱).

جریان‌های محیطی تجدیدپذیر (R)

جریان‌های محیطی قابل تجدید شامل نورخورشید، باد و باران هستند (جدول‌های ۱ و ۲). در دو نظام مورد مطالعه، انرژی نورخورشید بزرگترین آیتم در میان ورودی‌های رایگان محیطی بود. جریان انرژی تجدیدپذیر رایگان محیطی برای هر دو نظام تولید مکانیزه و سنتی زیتون در این پژوهش $3/88 \times 10^{13}$ امژول خورشیدی تعیین شد. در حالت کلی جریان‌های محیطی قابل تجدید به‌طور مستقیم از انرژی‌های نورخورشید منشعب می‌شوند. لذا به‌منظور اجتناب از شمارش مضاعف، مقدار حداکثر آنها به‌عنوان کل امرژی جریان‌های محیطی تجدیدپذیر در نظر گرفته می‌شود (اصغری‌پور و همکاران، ۲۰۱۹).

جریان‌های محیطی تجدیدناپذیر (N)

جریان‌های محیطی تجدیدناپذیر در این مطالعه شامل آب‌های زیرزمینی، تلفات مواد آلی خاک و فرسایش خاک می‌باشد (جدول ۲). یلدیزان و تاکی^۵ (۲۰۱۸) مقایسه‌ای بین نهاده‌های ورودی به سیستم‌های تولید گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه و محیط‌های باز در ترکیه انجام دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که مصرف آب در سیستم‌های تولید گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای بسیار کمتر از سیستم‌های باز است. در مطالعه آنها، با توجه به شرایط هوایی، مصرف آب در سیستم‌های باز حدود ۷ تا ۳۶ برابر بیشتر از سیستم‌های گلخانه‌ای بود. بیشترین بخش جریان ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر در نظام مکانیزه و سنتی زیتون مربوط به فرسایش خاک است. میزان فرسایش خاک در مزرعه ذرت در آمریکا $6/21 \times 10^{13}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال (مارتین^۶ و همکاران، ۲۰۰۶) و در سطح یک مزرعه انگور در منطقه چپانته ایتالیا $2/23 \times 10^{13}$ برآورد شده است (باستیانونی^۷ و همکاران، ۲۰۰۱). اصغری‌پور و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که نرخ بالای فرسایش خاک نشان‌دهنده ماهیت شکننده سیستم کشاورزی ایران و هزینه‌های جدی زیست‌محیطی برای کشت محصولات لوبیا

5. Yildizhan and Taki

6. Martin

7. Bastianoni

1. Ohrt

2. Ortega

3. Golshani

4. Giannetti

جدول ۱- جریان‌های طبیعی و اقتصادی نظام‌های مکانیزه و سنتی تولید زیتون در یک هکتار

ورودی	واحد	مکانیزه	سنتی
ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر			
انرژی نورخورشید	J	$3/88 \times 10^{12}$	$3/88 \times 10^{12}$
باد، انرژی جنبشی	J	$1/08 \times 10^{10}$	$1/08 \times 10^{10}$
باران، انرژی شیمیایی	J	$0/00 \times 10^0$	$0/00 \times 10^0$
ورودی‌های محیطی تجدید ناپذیر			
آب زیرزمینی	J	$3/09 \times 10^{10}$	$1/11 \times 10^{11}$
کاهش ماده آلی خاک	J	$1/68 \times 10^9$	$1/30 \times 10^9$
فرسایش خاک	g	$8/35 \times 10^8$	$1/39 \times 10^9$
ورودی‌های خریداری شده			
نیروی کارگر	J	$6/55 \times 10^8$	$1/90 \times 10^9$
ماشین آلات	g	$7/95 \times 10^3$	$6/89 \times 10^3$
گازوئیل و روغن	g	$1/95 \times 10^{10}$	$5/64 \times 10^9$
کود نیتروژن	g	$1/50 \times 10^5$	$5/00 \times 10^4$
کود فسفر	g	1×10^4	$0/00 \times 10^0$
کود پتاس	g	$1/50 \times 10^4$	$2/00 \times 10^4$
ریز مغذی	g	3×10^3	$2/00 \times 10^3$
امرژی زمین	Rials	$6/76 \times 10^{14}$	$6/76 \times 10^{14}$
الکتریسیته	J	$7/79 \times 10^9$	$5/25 \times 10^9$
کود آلی	g	$3/00 \times 10^6$	$1/60 \times 10^6$
نهال	Rials	$6/00 \times 10^7$	$2/40 \times 10^7$
خروجی			
عملکرد (میوه تازه)	g	$1/50 \times 10^6$	$2/00 \times 10^5$
عملکرد (میوه تازه)	J	$3/76 \times 10^9$	$5/02 \times 10^9$
عملکرد (روغن زیتون)	g	$2/10 \times 10^2$	$4/00 \times 10^1$
عملکرد (روغن زیتون)	J	$7/91 \times 10^9$	$1/51 \times 10^9$

در مناطق نیمه‌خشک مانند خرم‌دشت در ایران است.

نهاده‌های ورودی خریداری شده

ورودی‌های خریداری شده به دو دسته تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر تقسیم می‌شوند. مقادیر نهاده‌های خریداری شده در سیستم‌های مکانیزه و زیتون به ترتیب $2/63 \times 10^{16}$ و $1/61 \times 10^{16}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال گزارش شد. مقایسه منابع خریداری شده دو نظام نشان می‌دهد که انرژی ورودی نیروی انسانی در سیستم سنتی تقریباً ۳ برابر سیستم مکانیزه بود. آگویلا^۱ و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که تولید در مزارع مکانیزه به‌طور چشمگیری باعث افزایش بهره‌وری نیروی کار محصول زراعی می‌شود. ورودی کود آلی در نظام مکانیزه و سنتی به ترتیب $1/16 \times 10^{16}$ و $6/19 \times 10^{15}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال گزارش شد. علاوه بر این، انرژی ماشین‌آلات کشاورزی و

سوخت‌های فسیلی مورد استفاده در سیستم مکانیزه زیتون به ترتیب تقریباً $1/15$ و $3/45$ برابر بیشتر از سیستم سنتی بود. انرژی کود شیمیایی نیتروژن مورد استفاده در نظام مکانیزه زیتون تقریباً ۳ برابر بیشتر از نظام سنتی بود. امیری و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه سیستم‌های تجاری و معیشتی کلزا در خرم‌آباد گزارش کردند که تفاوت قابل توجه بین انواع ورودی‌های خریداری شده ناشی از تفاوت در رویکردهای مدیریتی دو سیستم و نوع تصمیم‌گیری در اجرای فرآیندهای تولید است. به عبارت دیگر، مدل‌های مختلف تولید باعث تفاوت‌های ساختاری در ورودی‌های خریداری شده هر دو سیستم شدند. تفاوت بین نوع و مقدار نهاده‌های تجدیدنپذیر خریداری شده در هر دو نظام نشان داد که میزان وابستگی نظام مکانیزه زیتون به نهاده‌های تجدیدنپذیر خریداری شده مانند ماشین‌آلات، کودهای

جدول ۲- تحلیل امرژی و ساختار ورودی نظام‌های مختلف تولید زیتون (sej/ha)

ورودی	امرژی/واحد	منبع	سنتی (مژول در هکتار در سال)	مکانیزه (مژول در هکتار در سال)
ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر				
انرژی نور خورشید	۱	طبق تعریف	$3/88 \times 10^{12}$	$3/88 \times 10^{12}$
باد، انرژی جنبشی	$1/24 \times 10^3$	(کمپل و اربان، ۲۰۱۷)	$1/34 \times 10^{12}$	$1/34 \times 10^{12}$
باران، انرژی شیمیایی	$2/34 \times 10^4$	کمپل	$0/00 \times 10^0$	$0/00 \times 10^0$
مجموع			$5/22 \times 10^{12}$	$5/22 \times 10^{12}$
ورودی‌های محیطی تجدید ناپذیر				
آب زیرزمینی	$1/92 \times 10^5$	کودرا و ریڈبرگ ^۱ ، ۲۰۰۶	$5/93 \times 10^{15}$	$2/14 \times 10^{17}$
کاهش ماده آلی خاک	$9/67 \times 10^4$	براون و باردی ^۲ ، ۲۰۰۱	$1/62 \times 10^{14}$	$1/26 \times 10^{14}$
فرسایش خاک	$1/27 \times 10^9$	براون و باردی، ۲۰۰۱	$1/06 \times 10^{18}$	$1/77 \times 10^{18}$
مجموع			$1/07 \times 10^{18}$	$1/98 \times 10^{18}$
ورودی‌های خریداری شده				
نیروی کارگر	$2/22 \times 10^6$	لو و همکاران، ۲۰۰۹	$1/45 \times 10^{15}$	$4/21 \times 10^{15}$
ماشین آلات	$1/01 \times 10^{10}$	کمپل و همکاران، ۲۰۰۵	$8/03 \times 10^{13}$	$6/96 \times 10^{13}$
گازوئیل و روغن	$8/60 \times 10^4$	باستیانونی و همکاران، ۲۰۰۹	$1/67 \times 10^{15}$	$4/85 \times 10^{14}$
کود نیترژن	$3/09 \times 10^{10}$	برندت- ویلیام ^۳ ، ۲۰۰۲	$4/64 \times 10^{15}$	$1/55 \times 10^{15}$
کود فسفر	$2/82 \times 10^{10}$	برندت- ویلیام، ۲۰۰۲	$2/82 \times 10^{14}$	$0/00 \times 10^0$
کود پتاس		ادوم، ۱۹۹۶	$3/35 \times 10^{13}$	$4/46 \times 10^{13}$
ریز مغذی	$3/90 \times 10^9$	لن ^۴ و همکاران، ۲۰۰۲	$1/17 \times 10^{13}$	$7/80 \times 10^{12}$
الکتریسیته	$2/31 \times 10^5$	اصغری پور و همکاران، ۲۰۱۹	$1/80 \times 10^{15}$	$1/21 \times 10^{15}$
امرژی زمین	$1/00$	اصغری پور و همکاران، ۲۰۱۹	$6/76 \times 10^{14}$	$6/76 \times 10^{14}$
کود آلی	$3/87 \times 10^9$	ادوم، ۱۹۹۶	$1/16 \times 10^{15}$	$6/19 \times 10^{15}$
نهال	$6/76 \times 10^7$	اصغری پور و همکاران، ۲۰۱۹	$4/06 \times 10^{15}$	$1/62 \times 10^{15}$
F_R			$3/28 \times 10^{15}$	$1/98 \times 10^{15}$
F_N			$2/30 \times 10^{16}$	$1/41 \times 10^{16}$
Subtotal			$2/63 \times 10^{16}$	$1/61 \times 10^{16}$
مجموع			$1/09 \times 10^{18}$	$2/00 \times 10^{18}$

جدول ۳- مشخصات شاخص‌های امرژی مورد استفاده برای ارزیابی نظام‌های مکانیزه و سنتی تولید زیتون

خصوصیات	رابطه	شاخص‌های مبتنی بر امرژی
مقدار امرژی مورد نیاز برای تولید یک محصول بر حسب ژول، معیاری برای کارایی سیستم	$Tr = U / Output$	ضریب تبدیل
این شاخص میزان وابستگی نظام به انرژی‌های تجدیدپذیر را بیان می‌کند	$\%R = (R + F_R) / U \times 100$	درصد تجدیدپذیری امرژی
نسبت کل امرژی به امرژی خریداری شده را محاسبه می‌کند این نسبت میزان ورودی منابع مصرف شده (کل خروجی) در هر واحد سرمایه‌گذاری به‌عمل آمده توسط نظام را ارزیابی می‌کند	$EYR = U / (F_N + F_R)$	نسبت عملکرد امرژی
نسبت منابع امرژی خریداری شده خارج از سیستم به ورودی‌های تجدیدپذیر محیطی	$EIR = (F_N + F_R) / (R + N_0)$	نسبت سرمایه‌گذاری امرژی
نسبت سرمایه‌گذاری اصلاح شده	$EIR^* = (F_N + F_R) / R$	نسبت سرمایه‌گذاری اصلاح شده
هر چقدر مقدار این شاخص بیشتر باشد فشار محیطی بر زمین کشت بیشتر و پایداری سیستم ضعیف است. معکوس پایداری را نشان می‌دهد	$ELR = (F_N + N_0 + F_R) / R$	نسبت بارگذاری محیطی
نسبت بار زیست‌محیطی اصلاح شده	$ELR^* = (F_N + N_0) / (R + F_R)$	نسبت بارگذاری محیطی اصلاح شده
شاخص پایداری محیط	$ESI = (EYR / ELR)$	نسبت پایداری محیط زیست
شاخص پایداری محیط اصلاح شده	$ESI^* = (EYR / ELR^*)$	نسبت پایداری محیط زیست اصلاح شده

1. Cuadra and Rydberg
2. Brown and Bardi
3. Brandt-Williams
4. Lan

شیمیایی، سوخت‌های فسیلی، برق و سیستم‌های آبیاری نوین بالاتر از نظام سنتی بود.

شاخص‌های امرژی

مقایسه شاخص‌های مبتنی بر امرژی در میان سیستم‌های مختلف تولید زیتون برای کشف کمی تمایز آنها در ایجاد اثرات زیست‌محیطی و در تأمین سود اقتصادی مفید خواهد بود. همچنین این مقایسه به شناسایی بهترین شیوه‌های مدیریتی برای تولید زیتون جهت حرکت به سمت کشاورزی پایدار کمک می‌کند. مقادیر شاخص‌های مبتنی بر امرژی که برای تعیین وضعیت زیست‌محیطی، کارایی تولید و پایداری دو سیستم تولید زیتون مورد استفاده قرار گرفتند در جدول ۴ ارائه شده است.

ضریب تبدیل (Tr)

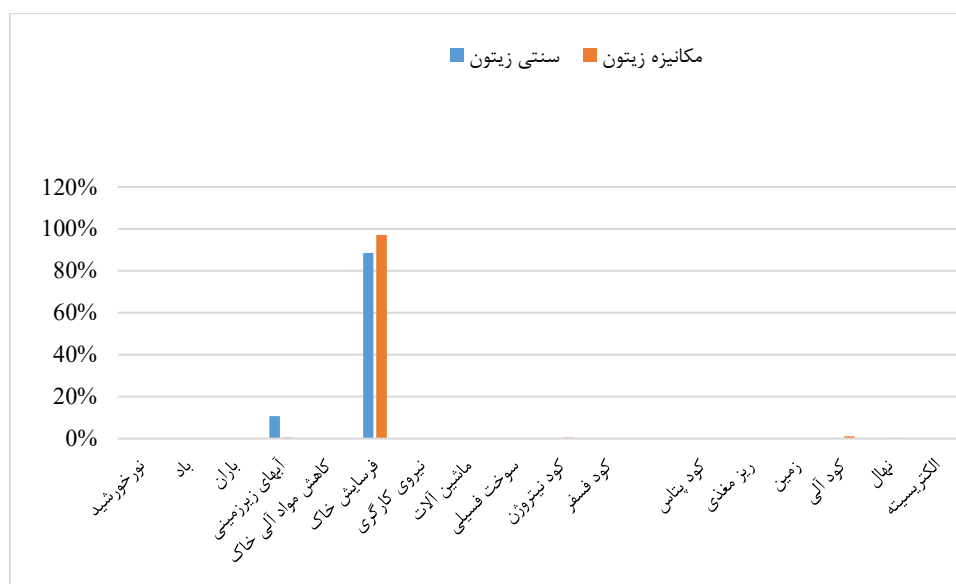
ضریب تبدیل (Tr) برای بررسی کارایی امرژی تولید محصولات مختلف استفاده می‌شود (براون و الگیاتی^۱، ۲۰۰۴). هنگام مقایسه سیستم‌های مختلف که محصول یکسانی تولید می‌کنند، Tr کمتر نشان‌دهنده کارایی بالاتر به دلیل منابع کمتر مورد نیاز برای تولید محصول است (ادوم، ۱۹۹۶؛ یانگ^۲ و همکاران، ۲۰۱۳). مقدار Tr روغن زیتون در نظام‌های تولید مکانیزه و سنتی تولید زیتون به ترتیب $1/29 \times 10^{11}$ و $9/98 \times 10^{12}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال بود (جدول ۴). دلیل اصلی راندمان امرژی ورودی بهتر نظام مکانیزه زیتون، افزایش میزان روغن تولیدی به عنوان یک محصول اقتصادی بود. گلشنی و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه ارزیابی زیست‌محیطی بر اساس شاخص‌های امرژی در زمین‌های زراعی، دامپروری و سیستم‌های یکپارچه در زابل بیان کردند که بازده امرژی بیشتر در سیستم‌های زراعی در مقایسه با سیستم‌های دام و یکپارچه را می‌توان به ورودی کمتر امرژی سیستم‌های کشت در مقایسه با سایر سیستم‌ها نسبت داد. جعفری و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی که با هدف ارزیابی پایداری نظام‌های تولید خرما و پسته در نهبندان انجام دادند، مقادیر ضریب تبدیل برای پسته و خرما را به ترتیب $1/71 \times 10^9$ و $1/47 \times 10^9$ امژول خورشیدی در هکتار در سال گزارش کردند.

شاخص درصد تجدیدپذیری امرژی (R%)

به طور کلی، سیستم‌های تولیدی که بخش بیشتری از ورودی‌های امرژی خود را از منابع تجدیدپذیر تأمین می‌کنند یا اگر فرآیندهای مرتبط با تولید از منابع تجدیدپذیر بیشتری استفاده کنند، چنین سیستم‌هایی به احتمال زیاد پایداری بالاتری خواهند داشت (لاروزا^۳ و همکاران، ۲۰۰۸). در مطالعه حاضر، درصد تجدیدپذیری نظام‌های مکانیزه و سنتی زیتون به ترتیب ۰/۳ و ۰/۱ درصد برآورد شد. مقادیر کم R در نظام سنتی نسبت به مکانیزه زیتون به دلیل استفاده از منابع خریداری شده تجدیدناپذیر می‌باشد. اصغری‌پور و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای در چهار سیستم گلخانه خیار، گوجه‌فرنگی، فلفل‌دلمه‌ای و بادمجان در شهرستان جیرفت کرمان بیان نمودند، اگرچه درصد تجدیدپذیری در بین چهار سیستم مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری نداشت، اما این تفاوت‌های کوچک عمدتاً به دلیل اختلاف‌هایی در امرژی R و ورودی‌های کود مورد استفاده در سیستم‌های مختلف بود. مقادیر تجدیدپذیری امرژی نظام‌های زراعی و رویشگاه طبیعی تولید موسیر به ترتیب ۲۵/۸۰ و ۱۶/۲۰ برآورد شد. کوچک بودن R% سایت رویشگاه طبیعی هشدار در بیان ناپایداری این نظام می‌باشد. استفاده از روش‌های مدیریت منابع طبیعی از جمله روش‌های آبخیزداری می‌تواند باعث بهره‌مندی بیشتر از منابع تجدیدپذیر محیطی در رویشگاه طبیعی شود (عزیزی و همکاران، ۱۴۰۰). اصغری‌پور و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کرده‌اند که تغییر در نوع ورودی‌های مصرفی سیستم از مصرف زیاد ورودی‌های معمولی و شیمیایی (با قابلیت تجدید پذیری کم) به سمت مصرف ورودی‌های تجدیدپذیر بیشتر با استفاده بیشتر از منابع زیست‌محیطی، R% بالاتر که منجر به بهبود پایداری سیستم می‌شود.

نسبت عملکرد امرژی (EYR)

نسبت بازده امرژی حاصل تقسیم امرژی خروجی بر امرژی ورودی خریداری شده است. EYR نشان‌دهنده اثربخشی نظام بزرگتر در بهره‌برداری از منابع رایگان نظام است (ژانگ^۴ و همکاران، ۲۰۰۷). EYR نسبت کل بازده امرژی به امرژی به‌دست آمده از ورودی‌های خریداری شده می‌باشد که به طور گسترده به عنوان معیاری برای ظرفیت یک فرآیند برای جذب نهاده‌های تجدیدپذیر و غیرقابل تجدید محلی از



شکل ۲- درصد امرژی ورودی‌ها برای نظام‌های مختلف تولید زیتون

جدول ۴- شاخص‌های مبتنی بر امرژی در نظام‌های مکانیزه و سنتی زیتون

شاخص‌ها	واحد	سنتی زیتون	مکانیزه زیتون
Transformity for frouit	sej J ⁻¹	$3/98 \times 10^8$	$2/90 \times 10^8$
Transformity for oil	sej J ⁻¹	$9/98 \times 10^{12}$	$7/29 \times 10^{11}$
R%	%	0/10	0/30
EYR		124/21	41/55
EIR		0/008	0/02
EIR*		307/5	503/8
ELR		38205/17	20938/01
ELR*		978/38	326/7
ESI		0/003	0/002
ESI*		0/127	0/127

هر چه بیشتر شاخص EYR در این نظام می‌شود (عزیزی و همکاران، ۱۴۰۰). شاخص EYR نظام‌های تولید پسته و خرما به ترتیب برابر با ۱۶/۰۳ و ۱۴/۳۹ بود که به وضوح وابستگی گسترده این دو نظام به منابع زیست‌محیطی رایگان را نشان می‌دهد (جعفری و همکاران، ۲۰۱۸).

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

نسبت سرمایه‌گذاری استاندارد، نسبت امرژی ورودی‌های خریداری شده به امرژی ورودی‌های تأمین شده توسط منابع طبیعی یا امرژی محیطی رایگان سیستم است. به عبارت دیگر میزان وابستگی نظام کشاورزی به منابع طبیعی و میزان توسعه اقتصادی را نشان می‌دهد. مقدار کمتر این شاخص نشان‌دهنده وابستگی بیشتر سیستم به منابع

طریق سرمایه‌گذاری روی نهاده‌های خریداری شده، استفاده می‌شود (ادوم، ۱۹۹۶). مقادیر EYR برای نظام‌های تولید زیتون مکانیزه و سنتی به ترتیب ۴۱/۵۵ و ۱۲۴/۲۱ گزارش شد. مقایسه مقادیر EYR در بوم‌نظام‌های مورد مطالعه بیان‌کننده وابستگی بیشتر نظام سنتی زیتون به ورودی‌های محیطی می‌باشد. در یک مطالعه در چین، EYR محاسبه شده برای مزارع تولید سبزیجات و برنج به ترتیب ۱/۰۵ و ۱/۱۵ (لو و همکاران، ۲۰۱۰) و میوه‌هایی مانند موز، پاپایا، گواوا و وامپی به ترتیب ۱/۰۴، ۱/۱۶، ۱/۳۱ و ۱/۳۰ گزارش شد (لو و همکاران، ۲۰۰۹). مقدار EYR بالا در رویشگاه طبیعی نسبت به نظام‌های زراعی بیانگر توانایی خوب این نظام در بهره‌برداری از جریان‌های امرژی محیطی نسبت به ورودی‌های خریداری شده می‌باشد. کاهش ورودی نیروی کار جهت برداشت موسیر در رویشگاه طبیعی منجر به بهبود

محیطی این سیستم‌ها می‌باشد. برای افزایش مقدار شاخص ESI باید میزان ورودی‌های خریداری شده به حداقل برسد. در ارزیابی سیستم‌های تولید خرما و پسته در شهرستان نهبندان، مقادیر ESI نزدیک به ۱ بود که نشان می‌دهد هر دو سیستم دارای خروجی امرژی بالا و نیاز کم به منابع تجدیدناپذیر هستند (جعفری و همکاران، ۲۰۱۸). در یک مطالعه انجام شده در ایران، مقادیر ESI و ESI^* سیستم‌های تولید لوبیا غیرمتراکم ۰/۰۸ و ۱/۴۸ بود که بالاترین مقدار در مقایسه با سایر سیستم‌های مورد مطالعه بود (اصغری‌پور و همکاران، ۲۰۱۹).

نتیجه‌گیری کلی

منابع طبیعی در حال حاضر تحت فشار فوق‌العاده‌ای قرار دارد و یافتن راه‌حلهایی برای بهبود کارایی تولید محصولات کشاورزی بدون مصرف بیش از حد آب یا تخریب بیشتر محیط‌زیست ضروری است. اقدامات اصلاحی برای استفاده از منابع به‌دلیل تراکم روزافزون جمعیت و افزایش رقابت برای زمین، آب و سایر منابع بیوفیزیکی و اجتماعی-اقتصادی در جوامع مختلف به یک الزام برای فشرده‌سازی سیستم‌های تولید تبدیل شده است. این مطالعه به‌منظور مقایسه پایداری اکولوژیک و اقتصادی دو بوم‌نظام مکانیزه و سنتی زیتون در شهرستان نهبندان بر اساس آنالیز امرژی انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که از مجموع ورودی‌ها به نظام تولیدی سهم نهاده‌های محیطی بویژه نوع تجدیدناپذیر آن بیشتر است. شاخص‌های وابسته به امرژی به شناسایی بهترین شیوه‌های مدیریتی جهت حرکت به سمت کشاورزی پایدار کمک می‌کند. شاخص‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل ضریب تبدیل (Tr)، نسبت عملکرد امرژی (EYR)، نسبت بارگذاری محیطی و نسخه اصلاح‌شده آن (ELR و ELR^*)، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی و نسخه اصلاح‌شده آن (EIR و EIR^*) و شاخص پایداری محیط‌زیست و نسخه اصلاح‌شده آن (ESI و ESI^*) می‌باشند. بر اساس مقایسه این شاخص‌ها، نظام مکانیزه زیتون از نظر هزینه‌های تهیه نهاده‌های ورودی مقرون به صرفه‌تر، اقتصادی‌تر، کارآمدتر و به شرایط بهینه نزدیک‌تر است.

محیطی است (وانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۴). EIR^* نسبت منابع خریداری‌شده به منابع زیست‌محیطی تجدید پذیر می‌باشد (امیری و همکاران، ۲۰۱۹). ضمناً مقادیر شاخص EIR در نظام‌های مکانیزه و سنتی زیتون به‌ترتیب ۰/۰۲ و ۰/۰۰۸ برآورد شد (جدول ۴). مقایسه مقادیر EIR^* و EIR بوم‌نظام‌های مکانیزه و سنتی زیتون بیان می‌کند بر اساس شاخص EIR ، تفاوت بین دو بوم‌نظام حدود ۲/۵ برابر بود در صورتی که بر اساس شاخص EIR^* اختلاف کمی بین دو نظام گزارش شد. پژوهشگران مقدار این شاخص را برای تولید خرما و پسته به‌ترتیب ۱/۴۱ و ۱/۴۵ (جعفری و همکاران، ۲۰۱۸) و موز ۱۶/۹۶ (دی‌باروس^۲ و همکاران، ۲۰۰۹) اعلام کردند.

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

ELR با تقسیم نسبت‌های ورودی خریداری شده به اضافه ورودی‌های زیست‌محیطی تجدیدناپذیر بر ورودی‌های زیست‌محیطی تجدیدپذیر محاسبه می‌شود (آرتوز^۳ و همکاران، ۲۰۲۱). مقادیر ELR در پژوهش حاضر برای نظام تولید مکانیزه و سنتی زیتون به‌ترتیب $10^4 \times 2/09$ و $10^4 \times 3/72$ گزارش شد. ارزیابی مقادیر ELR و ELR^* نشان‌دهنده سطح بالای بار زیست‌محیطی نظام سنتی زیتون می‌باشد. به عنوان یک قاعده کلی، ELR کمتر از ۲ به معنی بار محیطی نسبتاً کم، ۱۰ نشان‌دهنده بار محیطی متوسط و ELR بیش از ۱۰ نشان‌دهنده سطح بسیار بالای بار محیطی است (برون و الگیاتی، ۲۰۰۴). مقدار شاخص ELR گزارش شده به‌دست آمده برای سیستم تولید ذرت در شمال شرقی چین ۱۰/۶۲ بود (وانگ و همکاران، ۲۰۱۴).

شاخص پایداری محیط زیست استاندارد (ESI) و نسخه اصلاح شده (ESI^*)

دو شاخص پایداری ESI و ESI^* در جستجوی فرآیندی است که ضمن بهره‌مندی حداکثری از ورودی‌های رایگان محیطی توأم با حداقل فشار وارده بر محیط زیست باشد (ادوم، ۱۹۹۶). در پژوهش حاضر، ESI برای نظام‌های تولید مکانیزه و سنتی زیتون به‌ترتیب ۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۳ محاسبه شد. مقایسه مقادیر ESI و ESI^* نظام‌های تولید مکانیزه و سنتی زیتون حاکی از وضعیت ناپایدار و فشار بالای زیست

افزایش سطح مکانیزاسیون بوم نظام، برداشت مکانیزه زیتون برای بهینه‌سازی تولید انتخاب گردد.

سیاسگزاری

این مطالعه در قالب رساله دکتری و با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه زابل با پروژه‌نامه شماره IR-UOZ-GR-6673 انجام گردید. از همکاری باغداران زیتون شهرستان نهبندان در تکمیل پرسشنامه کمال تشکر را داریم.

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل راهی برای طراحی بیشتر سیستم‌های تولید محصول از نظر اکولوژیک است که می‌تواند منافع اقتصادی برای نظام‌های تولید را به حداکثر برساند. بنابراین با توجه به نتایج پژوهش حاضر، پیشنهاد می‌شود که استراتژی‌های مدیریتی در نظام‌های تولید محصولات کشاورزی به گونه‌ای طراحی شود که نوع و میزان مناسب نهاده‌ها از قبیل استفاده از ارقام مناسب با شرایط اقلیمی منطقه، استفاده از دانش و فناوری مورد نیاز مانند:

منابع

- شفیعی، ل. ۱۳۸۶. شناسایی عوامل مؤثر بر توسعه کاشت زیتون در استان کرمان، اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۵۸(۱۵): ۱-۲۲.
- عزیزی، خ.، اصغری‌پور، م.ر.، امیری، ر.، کمپبل، دی. و کاکلون، ع. ۱۴۰۰. مقایسه پایداری سیستم کشاورزی و محیط طبیعی بر پایه تحلیل امرژی تولید موسیر در شهرستان الشتر، استان لرستان. دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۳: ۳۰۴-۳۲۳.
- معصومی، ح. و محلوجی، ت. ۱۳۸۹. باغ‌های زیتون بسیار مترکم. فصلنامه مهندس مشاور، ۴۹: ۳-۴۴.
- خبرگزاری مهر. (۱۳۹۹). علاقه‌مندی باغداران نهبندان به کشت زیتون به دلیل سازگاری با شرایط کم‌آبی. قابل دسترسی در <https://www.mehrnews.com/news> تاریخ دسترسی: ۱۵ آبان ۱۴۰۴.
- Aguilera, E., Guzmán, G.I., de Molina, M.G., Soto, D. and Infante-Amate, J. 2019. From animals to machines. The impact of mechanization on the carbon footprint of traction in Spanish agriculture: 1900–2014. *Journal of Cleaner Production*, 221: 295-305.
- 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.
- 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.
- 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.
- Artuzo, F.D., Allegratti, G., Santos, O.I.B., da Silva, L.X. and Talamini, E. 2021. Emergy unsustainability index for agricultural systems assessment: A proposal based on the laws of thermodynamics. *Science of the Total Environment*, 759: 143524.
- 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(4): 365-373.
- Bastianoni, S., Campbell, D.E., Ridolfi, R. and Pulselli, F.M. 2009. The solar transformity of petroleum fuels. *Ecological modelling*, 220(1): 40-50.
- Bongi, G. and Palliotti, A. 2018. Olive. In *Handbook of environmental physiology of fruit crops* (pp. 165-187). CRC Press.
- Brandt-Williams, S.L., 2002. *Handbook of emergy evaluation folio 4: emergy of Florida agriculture*. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, FL, USA.
- Brown, M.T. and Bardi, E. 2001. *Handbook of emergy evaluation. A compendium of data for emergy computation issued in a series of folios Folio, 3. Emergy of ecosystems**. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, FL, USA. <https://emergydatabase.org/wp-content/uploads/Folio-3-Emergy-of-Ecosystems.pdf>
- 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.
- Campbell, C. and Laherrere, J. 1998. The end of cheap oil. *Scientific American*, 278 (3): 78–83.
- Campbell, D.E., Brandt-Williams, S.L. and Meisch, M.E. 2005. *Environmental accounting using emergy: Evaluation of the state of West Virginia*. Narragansett, RI, USA: US Environmental

- Protection Agency, Office of Research and Development, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Atlantic Ecology Division.
- Campbell, D.E. and Ohrt, A. 2009. Emergy 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.
- Cuadra, M. and Rydberg, T. 2006. Emergy evaluation on the production, processing and export of coffee in Nicaragua. *Ecological Modelling*, 196(3-4): 421-433.
- 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.
- Giannetti, B.F., Ogura, Y., Bonilla, S.H. and Almeida, C.M.V.B. 2011. Emergy assessment of a coffee farm in Brazilian Cerrado considering in a broad form the environmental services, negative externalities and fair price. *Agricultural Systems*, 104(9): 679-688.
- Golshani, F., Asgharipour, M.R., Ghanbari, A. and Seyedabadi, E. 2023. Environmental accounting for croplands, livestock husbandry, and integrated systems based on emergetic indicators. *Energy, Ecology and Environment*, 8(1): 28-49.
- Gomez, J.A., Amato, M., Celano, G. and Koubouris, G.C. 2008. Organic olive orchards on sloping land: More than a specialty niche production system?. *Journal of Environmental Management*, 89(2): 99-109.
- 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.
- Lan, S.F., Qin, P. and Lu, H.F. 2002. Emergy assessment of eco-ecological systems. Chemical Industry Press, Beijing (in Chinese).
- La Rosa, A.D., 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): 1907-1914.
- Li, L., Lu, H., Ren, H., Kang, W. and Chen, F. 2011. Emergy evaluations of three aquaculture systems on wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. *Ecological Indicators*, 11(2): 526-534.
- 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., Bai, Y., Ren, H. and Campbell, D.E. 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(12): 2727-2735.
- Lu, H.F., Tan, Y.W., Zhang, W.S., Qiao, Y.C., Campbell, D.E., 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.
- Lu, H.F., Cai, C.J., Zeng, X.S., Campbell, D.E., Fan, S.H. and Liu, G.L. 2018. Bamboo vs. crops: An integrated emergy and economic evaluation of using bamboo to replace crops in south Sichuan Province, China. *Journal of Cleaner Production*, 177: 464-473.
- Martin, J.F., Diemont, S.A., Powell, E., Stanton, M. and Levy-Tacher, S. 2006. Emergy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 115(1-4): 128-140.
- Odum, H.T. 1996. *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making*. John Wiley and Sons, New York. USA.
- Odum, H.T., Brown, M.T. and Brandt-Williams, S. 2000. *Introduction and Global Budget, Handbook of Emergy Evaluation*. First Edition, USA: University of Florida, Gainesville Center for Environmental Policy, PP. 1-17.
- Odum, H.T. 2007. *Environment, power, and society for the twenty-first century: the hierarchy of energy*. Columbia University Press.
- Ortega, E., Anami, M. and Diniz, G. 2002. Certification of food products using emergy analysis. In *Proceedings of III International Workshop Advances in Energy Studies*, pp. 227-237.
- Özkaya, M.T., Ulaş, M. and Çakır, E. 2008. Zeytin ağacı ve zeytin yetiştiriciliği, 1-25 s;(in) Zeytinyağı (ed: Göğüş, F., Özkaya, M.T. ve Ötleş, S.), Eflatun Yayınevi. 267 s.

- Shen, J., Zhang, X., Lv, Y., Yang, X., Wu, J., Lin, L. and Zhang, Y. 2019. An improved emergy evaluation of the environmental sustainability of China's steel production from 2005 to 2015. *Ecological Indicators*, 103: 55-69.
- Wang, X., Chen, Y., Sui, P., Gao, W., Qin, F., Wu, X. and Xiong, J. 2014. Efficiency and sustainability analysis of biogas and electricity production from a large-scale biogas project in China: an emergy evaluation based on LCA. *Journal of Cleaner Production*, 65: 234-245.
- Yang, Q., Chen, G.Q., Liao, S., Zhao, Y.H., Peng, H.W. and Chen, H.P. 2013. Environmental sustainability of wind power: an emergy analysis of a Chinese wind farm. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25: 229-239.
- Yildizhan, H. and Taki, M. 2018. Assessment of tomato production process by cumulative exergy consumption approach in greenhouse and open field conditions: Case study of Turkey. *Energy*, 156: 401-408.
- Zhang, L.X., Yang, Z.F. and Chen, G.Q. 2007. Emergy analysis of cropping–grazing system in Inner Mongolia Autonomous Region, China. *Energy Policy*, 35(7): 3843-3855.