دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال سیزدهم، شماره چهل و چهارم، ۱۴۰۰

بررسی پایداری اکولوژیک معرفی گیاهان جدید به الگوی کشت از دیدگاه امرژی

ثمین فلاحی نژاد[۱]، محمد آرمین[۲]، محمدرضا اصغری پور[۳]

دریافت: ۹۹/٦/۲۸ پذیرش: ۹۹/۸/۸

چکیده

آنالیز امرژی راهکار مناسبی برای ارزیابی پایداری سیستم‌های تولید محصولات کشاورزی در سطح منطقه‌ای است. در این مطالعه پایداری سیستم‌های تولید چهار محصول زراعی عمده یعنی گندم و جو (به عنوان گیاهان قدیمی الگوی کاشت) و چغندرقند و زعفران (به عنوان گیاهان جدید الگوی کاشت) با استفاده از تکنیک امرژی در شهرستان خوشاب استان خراسان رضوی مقایسه شد. کل امرژی حمایت‌کننده تولید برای سیستم کشت گندم، جو، چغندرقند و زعفران به ترتیب $۲/۳۲\times۱۰^{۱٦}$، $۱/۹۱\times۱۰^{۱٦}$، $٤/۹٥\times۱۰^{۱٦}$ و $۲/۰٤\times۱۰^{۱٦}$، امژول خورشیدی در هکتار بود. بیشترین سهم امرژی از بخش منابع قابل تجدید محیطی در کشت چغندرقند (٤/۱۰ درصد)، از بخش منابع غیرقابل تجدید محیطی در کشت جو (۵۵/۷۰ درصد) و منابع خریداری شده تجدیدپذیر (٤۰/۸۰ درصد) و غیر قابل تجدید خریداری شده (۳٦/٤۸ درصد در کشت زعفران به دست آمد. تغییر الگوی کاشت سبب افزایش شاخص‌های درصد تجدیدپذیری امرژی، نسبت بارگذاری زیست‌محیطی، شاخص پایداری محیط زیست اصلاح شده، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی و کاهش شاخص‌های نسبت عملکرد امرژی، نسبت بارگذاری زیست محیطی اصلاح شده، شاخص پایداری محیط زیست و شاخص امرژی توسعه پایدار شد. بوم‌نظام زعفران و چغندرقند بالاترین شاخص پایداری محیط‌زیست اصلاح شده را داشتند. اگرچه شاخص نسبت بارگذاری زیست‌محیطی در کشت زعفران بالاتر از سایر سیستم‌های کشت بود اما شاخص نسبت بارگذاری زیست محیطی اصلاح شده در این محصول بسیار کمتر از ۳ محصول دیگر به دست آمد، بر این اساس می‌توان کشت زعفران را به عنوان یک گیاه پایدار که حداقل فشار به منابع زیست محیطی را دارد توصیه کرد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز امرژی، الگوی کشت، اثرات زیست محیطی، پایداری تولید

فلاحی نژاد، ث.، م. آرمین و م.ر. اصغری پور. ۱٤۰۰. بررسی پایداری اکولوژیک معرفی گیاهان جدید به الگوی کشت از دیدگاه امرژی. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ٤٤: ۸۹-۷٦.

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

۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران- مسئول مکاتبات. Armin@iaus.ac.ir

۳- استاد، گروه آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

مقدمه

شهرستان خوشاب با وسعت ۱۷۷۰ کیلومتر مربع در فاصله ۱۸۰ کیلومتری از مرکز استان خراسان رضوی قرار گرفته است. توسعه کشاورزی در این منطقه در چند سال اخیر به دلیل تنش های محیطی و توقع درآمد بالاتر از کشت محصول با تغییر الگوی کاشت محصولات زراعی همراه بوده است (بی نام، ۱۳۹۹). بر این اساس کشاورزان در الگوی کشت خود به جای استفاده از گیاهان زراعی با نیاز آبی بالا مانند پنبه یا هندوانه به سمت کشت گیاهان با مصرف آب کم مانند زعفران و پسته روی آورده‌اند. در این میان اصلی‌ترین سوالی که تاکنون به آن جوابی داده نشده است تعیین بهره‌وری محصولات مختلف و تعیین پایدارترین محصول در الگوی کشت این منطقه است. امروزه ضرورت گنجاندن فاکتورهای اجتماعی، اقتصادی و اکولوژیکی در ارزیابی پایداری نظام‌های کشاورزی به خوبی شناخته شده است. پایداری در کشاورزی به صورت توانایی حفظ و نگهداری تولید در درازمدت و مدیریت موفق منابع است تا بتواند نیازهای متغیر انسانی را برطرف و از سویی خصوصیات کیفی محیط‌زیست را حفظ کرده و از منابع طبیعی محافظت کند. امروزه پایداری به عنوان یکی از متداول‌ترین اصطلاحات در عرصه‌های اقتصادی، اجتماعی به طور عام و در علوم محیطی به طور خاص تبدیل شده است (مور و همکاران، ۲۰۰۵). کشاورزی زمانی پایدار است که از لحاظ فنی امکان پذیر، از نظر اقتصادی موجه و از نظر سیاسی مناسب، از جنبه مدیریتی اجراشدنی، از دیدگاه اجتماعی پذیرفتنی و به لحاظ محیطی سازگار باشد (کوچکی و همکاران، ۱۳۹۶). در میان روش‌های مختلف اندازه‌گیری پایداری تولید، استفاده از تکنیک تحلیل امرژی به عنوان یک روش مناسب مورد توجه محققان قرار گرفته است.

در طول سه دهه گذشته تحلیل امرژی به عنوان ابزاری موثر و قوی ثابت کرده است می‌تواند برای حمایت از جریان منابع بوم‌نظام‌های طبیعی و نظام‌های کلان اقتصادی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین امرژی می‌تواند عملکرد کلی و گاهی پایداری یک نظام را اندازه‌گیری کند (براون و اولگیاتی، ۲۰۰۵). بررسی امرژی در نظام‌های مختلف مورد توجه محققین مختلف بوده است. در یک بررسی اورتگا و همکاران (۲۰۰۵) رویکرد زیستی (اکولوژیکی و ارگانیک) نسبت به صنعتی (اگروشیمیایی و بدون شخم با استفاده از علفکش) را در کشت سویا پایدارتر گزارش کرده اند. مارتین و همکاران (۲۰۰۶) سه نظام کشاورزی شامل دو نظام کشت مرسوم ذرت و شاه توت و یک نظام کشت سنتی (طبیعی) را از لحاظ امرژی با هم مورد مقایسه کردند که مشخص شد بیشترین مصرف انرژی مربوط به نظام‌های مرسوم به دلیل اتکا به ورودی‌های خارجی تجدید ناپذیر بود و در بین این دو نظام، ذرت سهم مصرف امرژی بیشتری را دارد که مربوط به آبیاری و کوددهی بود و بیشترین سطح پایداری مربوط به نظام‌های سنتی بود. بنابراین نظام‌های سنتی به دلیل اتکای بیشتر به نهاده‌های تجدیدپذیر داخلی همواره از پایداری بیشتری برخوردار هستند. در دو سیستم کشت معیشتی و تجاری کلزا گزارش شده است که می‌توان پایداری زیست محیطی سیستم تولید کلزا تجاری را از طریق بهبود ماده آلی خاک و جلوگیری از بین رفتن آن افزایش داد (امیری و همکاران ۲۰۱۹). گزارش شده است که امرژی تولید گندم و ذرت به ترتیب، $۲/۰۰\times۱۰^{۱۶}$، و $۱/۵۷\times۱۰^{۱۶}$ امژول خورشیدی در هکتار می باشد. در مطالعه‌ای نسبت بارگذاری بر محیط‌زیست در نظام تولید گندم ۱۰/۵۹ و در ذرت ۰/٤۷ بود، که نشان دهنده وابستگی بیشتر گندم به مواد خریداری‌شده بود (امیری و همکاران ۲۰۱۹).

تعیین مناسب‌ترین سیستم تولید که با وجود درامد اقتصادی مناسب پایداری زیست محیطی مناسب نیزداشته باشد در تحقیقات کشاورزی ضروری به نظر می رسد. از آنجا که در مورد سیستم‌های کشت محصولات زراعی در منطقه خوشاب سبزوار تاکنون مطالعه‌ای صورت نگرفته است و هر ساله تغییر الکوی کشت از محصولات بومی به محصولات جدید در حال گسترش است در این بررسی از روش تحلیل امرژی برای کمی کردن اثرات مستقیم و غیر مستقیم سیستم‌های تولید استفاده شد. هدف از این بررسی مقایسه اثرات زیست محیطی سیستم‌های تولید رایج و غالب در منطقه است که بر روی ٤ گیاه اصلی که در آن گندم و جو به عنوان محصولات پاییزه رایج و قدیمی منطقه، چغندرقند به‌عنوان یک گیاه تابستانه که در چند سال اخیر در الگوی کاشت جایگزین پنبه شده است و زعفران به‌عنوان یک گیاه زراعی جدید در الگوی کشت با درآمد اقتصادی بالا انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در عرض جغرافیایی ۵۸ و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳٦ درجه و ٢٤ دقیقه عرض شمالی در ارتفاع ۱۲۲٤ متر از سطح دریا قرار دارد. درجه حرارت متوسط ماهانه این شهرستان، بین حداقل ۳/۳ در دی تا ۳۱/۵ درجه سانتی‌گراد در تیر بامتوسط

سالیانه ۱۷.۸ درجه سانتی‌گراد متغیر است. متوسط سالیانه سرعت باد این شهرستان ۳/۲ متر بر ثانیه و متوسط بارش ۲۰۰ میلی متر است. اراضی مورد مطالعه در شهرستان خوشاب در واحد فیزیوگرافی دشت آبرفتی واقع شده و دارای شیب ملایم و بدون پستی و بلندی و فرسایش است. این اراضی دارای خاک بسیار عمیق با بافت لوم سیلتی ، سیلتی لوم و خاک رس است.

داده‌ها مورد نیاز برای این مطالعه با استفاده از پرسشنامه چهره‌به‌چهره از کارگران وکارشناسان کشاورزی جمع آوری شد. برای تعیین تعداد نمونه از فرمول کوکران بر اساس معادلات ۱ و ۲ استفاده شد (سندکر و کوکران، ۱۹۸۹).

معادله (۱)

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

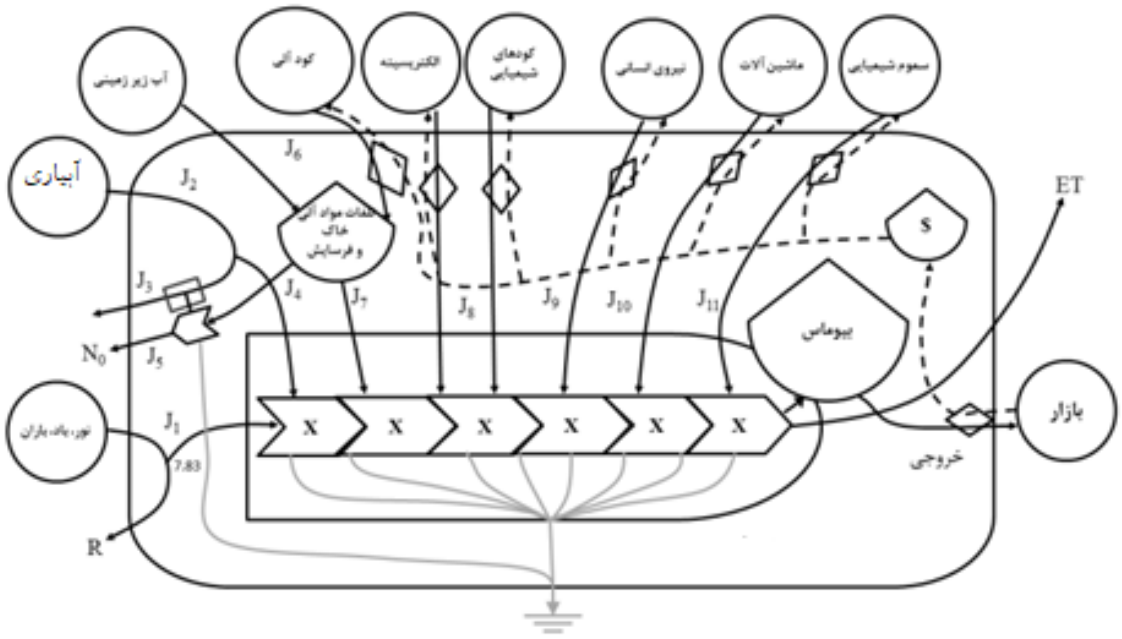
معادله (۲)

$$d = \frac{t \times s}{\sqrt{n}}$$

در این معادلات، t: ۱/۹۶ (در سطح اطمینان ۹۵ درصد)، s: پیش برآورد انحراف معیار جامعه، d: دقت احتمالی مطلوب، N: حجم جامعه، و n: حجم نمونه است.

روش تحلیل امرژی

اولین گام برای تحلیل امرژی تعیین مرزهای مکانی و زمانی نظام‌های مورد بررسی و ترسیم دیاگرام امرژی برای طبقه بندی نهاده‌های نظام‌های مورد بررسی به منابع تجدید پذیر یا تجدید ناپذیر، محلی یا وارداتی است. از زبان تئوری سیستم‌های انرژی برای ترسیم مدل تولید گیاهان زراعی گندم، جو، چغندرقند و زعفران استفاده شد. شکل ۱دیاگرام تجمعی جریان امرژی برای سیستم‌های تولید در این بررسی را نمایش می‌دهد. نهاده‌های محرک نظام‌های کشاورزی از دو منبع نشأت می‌گیرد: نهاده‌های محیطی و نهاده‌های به دست آمده از اقتصاد انسانی. در مدل جعبه مستطیلی مرزهای نظام را نشان می‌دهد. در سمت چپ مدل، ورودی‌های طبیعی نشان داده شده است؛ در قسمت بالای مدل، ورودی‌های بازاری فهرست شده است، و در نهایت در سمت راست مدل عملکرد مفید نظام‌های تولیدی نشان داده شده است. برای تحلیل نظام‌های تولید و محاسبه شاخص‌ها، ورودی‌ها به چهار نوع تقسیم شدند (اودوم، ۲۰۰۰): نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدپذیر (R)، مانند نورخورشید، باران و باد؛ نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدناپذیر (N)، مانند آب آبیاری، فرسایش خاک، تلفات مواد آلی خاک؛ نهاده‌های تجدیدپذیر غیر رایگان (F_R) مانند بذر، کود آلی که از خارج از نظام خریداری شده‌اند؛ و نهاده‌های تجدیدناپذیر غیر رایگان (F_N) نظیر کود، آفت کش‌ها، ماشین آلات، سوخت و الکتریسیته.



شکل ۱- دیاگرام جریان امرژی نظام‌های تولید گندم، جو، چغندر قند و زعفران در منطقه خوشاب

برای به دست آوردن مقدار امرژی هر نهاده، اطلاعات خام هر نهاده برحسب ژول، گرم یا ریال در ضرایب تبدیل آن‌ها ضرب می‌شود. امرژی کل، مجموع امرژی از تمام نهاده‌های مستقل است. در نهایت، شاخص‌های امرژی برای ارزیابی نظام‌ها محاسبه و تفسیر می‌شوند (جدول ۱).

پس از محاسبه همه جریان‌های ورودی و خروجی انرژی و مواد برای هر نظام تولیدی، این مقادیر از طریق ضرب کردن در ضرایب مربوط، به واحد امرژی (sej) تبدیل می‌شود. این ضرایب تبدیل برای هر آیتم از مطالعات قبلی اقتباس شده است (لان و همکاران، ۲۰۰۲ ؛ جعفری و همکاران، ۲۰۱۸ ؛ امیری و همکاران ، ۲۰۱۹ ؛ اصغری پور و همکاران ، ۲۰۱۹). ضرایب تبدیل مختلفی برای هر مورد در منابع مختلف محاسبه شده است، و ضرایب تبدیلی از مطالعاتی انتخاب شد که با شرایط این مطالعه بیشترین شباهت را داشتند. شاخص‌های مبتنی بر امرژی متعددی برای ارزیابی وضعیت محیطی، اکولوژیکی و اقتصادی نظام‌ها به کار رفته است (ادوم، ۱۹۹۶).

برای زراعت زعفران که گیاهی چند ساله است و کشاورزان منطقه به طور متوسط هفت سال بهره‌برداری مفید از آن دارند، نهاده‌ها به دو دسته نهاده‌های سرمایه‌ای که در طول عمر مزرعه یک بار مصرف می‌شوند و نهاده‌های جاری که هر ساله مصرف می‌شوند تقسیم شدند. در این نظام در سال‌های اولیه عمر که مزرعه مستقر شده است عملکرد پایین است و در سال‌های پایانی عمر مزرعه نیز عملکرد کاهش می‌یابد. به همین دلیل از مزراع با عمر پنج سال استفاده شد که بالاترین عملکرد اقتصادی را داشتند. ورودی‌های جاری و سرمایه‌ای محیطی و اقتصادی برای کشت زعفران در ضمیمه ارائه شده است. بعد از محاسبه ورودی‌های جاری و سرمایه‌ای محیطی برای سال اول سهم ورودی های تجدید پذیر و ورودی های تجدید ناپذیر خریداری شده در امرژی کل به هر بخش به صورت جداگانه اضافه شد. در زراعت زعفران پس از تخریب مزرعه در سال هفتم، بنه خروجی از خاک نیز به عنوان خروجی نظام در نظر گرفته می‌شود.

نتایج و بحث

ساختار جریان امرژی در سیستم های تولید

کلیه جریان‌های ورودی و خروجی انرژی و مواد برای هر نظام تولیدی در جدول ۲ آورده شده است. کلیه منابع مورد استفاده با ضرب در مقادیر امرژی مربوط به هر نهاده که از منابع مختلف به دست امده محاسبه و در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- ورودی‌های رایگان و غیر رایگان و ضرایب تبدیل آن‌ها در نظام‌های تولید تولید گندم، جو، چغندر قند و زعفران در منطقه خوشاب

آیتم‌های امرژی	واحد	نماد در نمودار	گندم	جو	چغندر فند	زعفران	ضرایب تبدیل (**sej unit^{-1}**)
نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدپذیر							
انرژی تابشی خورشید	J	J_1	۱/۳٤×۱۰^{۱۳}	۱/۲۷×۱۰^{۱۳}	۱/۲۳×۱۰^{۱۳}	۱/۲۱×۱۰^{۱۳}	۱
انرژی جنبشی باد	J	J_1	۱/۰۰×۱۰^{۱۱}	۱/۰۱×۱۰^{۱۱}	۹/۹٤×۱۰^{۱۰}	٤/۷٤×۱۰^{۱۰}	۱/۲۵×۱۰^{۳}
انرژی شیمیایی باران	J	J_1	۱/٦۰×۱۰^{۱۰}	۱/۳۸×۱۰^{۱۰}	۷/۷۸×۱۰^{۱۰}	۱/۰۲×۱۰^{۱۰}	۲/۲۵×۱۰^{٤}
تبخیر و تعرق	J	J_{15}	۱/۲۰×۱۰^{۱۰}	۹/٦۷×۱۰^{۰۹}	۷/۰۰×۱۰^{۱۰}	٦/۱۱×۱۰^{۰۹}	۲/۸۸×۱۰^{٤}
نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدناپذیر							
فرسایش خاک	g	J5	٦/٦۵×۱۰^{۱۰}	۵/۷۰×۱۰^{۱۰}	۱/۲۳×۱۰^{۱۱}	۸/٦٤×۱۰^{۹}	۱/۲۷×۱۰^{۹}
تلفات ماده آلی خاک	J	J_5	٦/۰۰×۱۰^{۵}	٦/۰۰×۱۰^{۵}	٦/۰۰×۱۰^{۵}	٦/۰۰×۱۰^{۵}	۹/۳٦×۱۰^{٤}
آب زیرزمینی	J	J_4	۲/۸۸×۱۰^{۱۰}	۲/۳۷×۱۰^{۱۰}	٦/۵۷×۱۰^{۱۰}	۱/٤۷×۱۰^{۱۰}	۱/۹۲×۱۰^{۵}
نهاده‌های غیر رایگان							۸/٦۰×۱۰^{٤}
نیروی انسانی	J	J_{12}	۲/۹۹×۱۰^{۸}	۲/۵۲×۱۰^{۸}	۱/۷۷×۱۰^{۹}	۲/۲٦×۱۰^{۹}	۲/۲۲×۱۰^{٦}
ماشین آلات	gr	J_{13}	۲/٤٤×۱۰^{۳}	۲/٤۹×۱۰^{۳}	۲/۲۳×۱۰^{۳}	۱/۹٤×۱۰^{۳}	۳/۰۹×۱۰^{۱۰}
کود نیتروژن	gr	J_8	٦/٦۳×۱۰^{۹}	٦/۵٤×۱۰^{۹}	۷/۱۰×۱۰^{۹}	۲/٤٤×۱۰^{۹}	۲/۸۲×۱۰^{۱۰}
کود فسفر	gr	J_{10}	۱/۱۵×۱۰^{۵}	۱/۰۲×۱۰^{۵}	۲/۰۰×۱۰^{۵}	۱/۱٤×۱۰^{۵}	۲/۲۳×۱۰^{۹}
کود پتاسیم	gr	J_{10}	۱/۰۰×۱۰^{۵}	۷/۰۰×۱۰^{٤}	۱/۵۰×۱۰^{۵}	۱/۰٤×۱۰^{۵}	۳/۹۱×۱۰^{۹}
کودهای میکرو	gr	J_{10}	۰/۰۰×۰۰	۰/۰۰×۰۰	۱/۰۰×۱۰^{۵}	۱/۰٤×۱۰^{۵}	۲/۹٦×۱۰^{۸}
کود آلی	gr	J_{10}	۰/۰۰×۰۰	۰/۰۰×۰۰	۰	۹/۱۱×۱۰^{۵}	۲/۹٦×۱۰^{۸}
حشره کش	gr	J_6	۰/۰۰×۰۰	۰/۰۰×۰۰	٦/۰۰×۱۰^{۳}	۵/۷۱×۱۰^{۳}	٦/۳۰×۱۰^{۱۰}
علف کش	gr	J_{14}	٦/۲۵×۱۰^{۲}	۰/۰۰×۰۰	۸/۲۵×۱۰^{٦}	۱/۰۱×۱۰^{۷}	٦/۳۰×۱۰^{۱۰}
الکتریسیته	J	J_{14}	۲/۰۰×۱۰^{۳}	۰/۰۰×۰۰	۳/۵۰×۱۰^{۳}	۰/۰۰×۰۰	۲/۳۱×۱۰^{۵}
بذر/پیاز زعفران	ریال	J_9	٤/۳۲×۱۰^{۱۲}	۱/۱۰×۱۰^{۳}	۵/۵۰×۱۰^{۳}	۲/۲۱×۱۰^{۱۲}	۲/۵۰×۱۰^{۸}
سوخت فسیلی	J	J_{11}	٦/٦۳×۱۰^{٦}	۳/٦۰×۱۰^{۱۲}	۱/۲۲×۱۰^{۱۳}	۱/۳٦×۱۰^{۷}	۸/٦۰×۱۰^{٤}
خروجی‌ها							
عملکرد اقتصادی	gr	J_{16}	۲/٤۳×۱۰^{٦}	۱/۹۸×۱۰^{٦}	۱/۷۳×۱۰^{۷}	۳/۳۱×۱۰^{۳}	
عملکرد اقتصادی	J	J_{16}	۳/۵۱×۱۰^{۱۰}	۲/۹۰×۱۰^{۱۰}	۲/۸۲×۱۰^{۱۱}	٦/۵٤×۱۰^{۷}	
عملکرد کاه و کلش	gr	J_{17}	۳/۸۸×۱۰٦	۲/۸٦×۱۰^{٦}		۲/۸۵×۱۰^{٦}	
عملکرد کاه و کلش	J	J_{17}	۳/۵۹×۱۰^{۱۰}	۳/۳۲×۱۰^{۱۰}		۳/۹٤×۱۰^{۱۰}	

اختلاف زیادی از نظر امرژی کل ورودی در ٤ سیستم تولید مشاهده شد. کل امرژی حمایت کننده تولید برای سیستم کشت گندم^{۱٦}×۲/۳۲، برای سیستم کشت جو ^{۱٦}×۱/۹۱ ، برای سیستم کشت چغندر قند ^{۱٦}×٤/۹۵ و برای سیستم کشت زعفران ^{۱٦}×۲/۰٤ امژول خورشیدی در هکتار در سال بود (جدول ۳). کشت چغندرقند در مقایسه با کشت گندم، جو و زعفران، به ترتیب ۵۳/۱، ٦۱/٤٤ و ۵۵/۷۸ درصد، امرژی کل بیشتری را نیاز داشت. بیشتر بودن درجه مکانیزاسیون، آب‌بر بودن این محصول، نیاز کودی بالا به‌منظور تولید بیوماس بر پایه پتانسیل تولید آن و غیره موجب افزایش امرژی حمایت‌کننده در گیاه چغندرقند است. در این محصول ارتباط دارد. گزارش شده است که با افزایش درجه مکانیزاسیون مقدار کل امرژی ورودی نیز افزایش می‌یابد (لو و همکاران، ۲۰۱۰). مطابق با نتایج فوق امیری و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش کردند که کشت تجاری کلزا در مقایسه با کشت معیشتی ٦۷٪ امرژی ورودی بیشتری نیاز داشت.

جدول ۳- نتایج تحلیل امرژی نظام‌های تولید گندم، جو، چغندر قند و زعفران در منطقه خوشاب ($sej\ ha^{-1}$)

آیتم‌های امرژی	گندم		جو		چغندر قند		زعفران	
نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدپذیر	امرژی (**sej ha^{-1}**)	درصد از کل	امرژی (**sej ha^{-1}**)	درصد از کل	امرژی (**sej ha^{-1}**)	درصد از کل	امرژی (**sej ha^{-1}**)	درصد از کل
انرژی تابشی خورشید	۱/۳٤×۱۰^{۱۳}	۰/۰٦	۱/۲۷×۱۰^{۱۳}	۰/۰۷	۱/۲۳×۱۰^{۱۳}	۰/۰۲	۱/۲۱×۱۰^{۱۳}	۰/۰٦
انرژی جنبشی باد	۱/۲۵×۱۰^{۱٤}	۰/۵٤	۱/۲٦×۱۰^{۱٤}	۰/٦٦	۱/۲٤×۱۰^{۱٤}	۰/۲۵	۵/۹۳×۱۰^{۱۳}	۰/۲۹
انرژی شیمیایی باران	۳/٦۰×۱۰^{۱٤}	۱/۵۵	۳/۱۱×۱۰^{۱٤}	۱/٦۳	۱/۷۵×۱۰^{۱۵}	۳/۵۳	۲/۲۹×۱۰^{۱٤}	۱/۱۲
تبخیر و تعرق	۳/٤۵×۱۰^{۱٤}	۱/٤۹	۲/۷۸×۱۰^{۱٤}	۱/٤٦	۲/۰۰×۱۰^{۱۵}	٤/۰۷	۱/۷٦×۱۰^{۱٤}	۰/۸٦
جمع	۳/۷۵۵×۱۰^{۱٤}	۱/٦۱	۳/۲٤×۱۰^{۱٤}	۱/۷۰	۲/۰۳×۱۰^{۱۵}	٤/۱۰	۲/٤۱×۱۰^{۱٤}	۱/۱۸
نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدناپذیر								
فرسایش خاک	٦/۲۲×۱۰^{۱۵}	۲٦/۸	۱/۱٦×۱۰^{۱٦}	۲۷/۸۹	۱/۱٦×۱۰^{۱٦}	۲۳/۳۲	۸/۰۹×۱۰^{۱٤}	۳/۹٦
تلفات ماده آلی خاک	۷/٦۲×۱۰^{۱٤}	۳/۲۸	۷/۲٦×۱۰^{۱٤}	۳/۹۹	۷/۲٦×۱۰^{۱٤}	۱/۵٤	۷/٦۲×۱۰^{۱٤}	۳/۷۳
آب زیرزمینی	۵/۵۳×۱۰^{۱۵}	۲۳/۸	۱/۲٦×۱۰^{۱٦}	۲۳/۸۳	۱/۲٦×۱۰^{۱٦}	۲۵/٤۷	۲/۸۲×۱۰^{۱٤}	۱۳/۸۳
جمع	۱/۲۵۸×۱۰^{۱٦}	۵۳/۸	۱/۰٦×۱۰^{۱٦}	۵۵/۷۰	۵/۹٦×۱۰^{۱٦}	۵۰/۳۳	٤/۳۹×۱۰^{۱۵}	۲۱/۵۲
نهاده‌های غیر رایگان								
نیروی انسانی	٦/٦۳×۱۰^{۱٤}	۲/۸٦	۵/۵۹×۱۰^{۱٤}	۲/۹۲	۳/۹۳×۱۰^{۱۵}	۷/۹۳	۵/۷٦×۱۰^{۱۵}	۲۸/۲۱
ماشین آلات	۲/٤٦×۱۰^{۱۳}	۰/۱۱	۲/۵۲×۱۰^{۱۳}	۰/۱۳	۲/۲۵×۱۰^{۱۳}	۰/۰۵	۱/۹٦×۱۰^{۱۳}	۱/۱۰
کود نیتروژن	۵/۷۰×۱۰^{۱٤}	۲/٤٦	۵/٦۲×۱۰^{۱٤}	۲/۹٤	٦/۱۰×۱۰^{۱٤}	۱/۲۳	۲/۱۰×۱۰^{۱٤}	۱/۰۳
کود فسفر	۳/۵۵×۱۰^{۱۵}	۱۵/۳۰	۳/۱۵×۱۰^{۱۵}	۱٦/٤۹	٦/۱۸×۱۰^{۱۵}	۱۲/٤۸	۳/۵۳×۱۰^{۱۵}	۱۷/۳۰
کود پتاسیم	۲/۸۲×۱۰^{۱۵}	۱۲/۱۵	۱/۹۷×۱۰^{۱۵}	۱۰/۳۳	٤/۲۳×۱۰^{۱۵}	۸/۵٤	۲/۹۲×۱۰^{۱۵}	۱٤/۳۱
کودهای میکرو	۰	۰	۰	۰	۲/۲۳×۱۰^{۱٤}	۰/٤۵	۲/۰۳×۱۰^{۱٤}	۱
کود آلی	۰	۰	۰	۰	۲/٤٤×۱۰^{۱۵}	۰/۰۵	۲/۲۳×۱۰^{۱۳}	۰/۱۱
حشره کش	۱/۱۹×۱۰^{۱۳}	۰/۰۵	۰	۰	٦/٦۵×۱۰^{۱۳}	٤/۹۳	۲/۱۵×۱۰^{۱۵}	۱۰/۵۱
علف کش	۳/۸۰×۱۰^{۱۳}	۰/۱٦	۲/۰۹×۱۰^{۱۳}	۰/۱۱	۱/۰۵×۱۰^{۱٤}	۰/۲۱	۲/۸۵×۱۰^{۱۳}	۰/۱٤
الکتریسیته	۹/۹۸×۱۰^{۱٤}	٤/۳۰	۸/۳۲×۱۰^{۱٤}	٤/۳۵	۲/۸۳×۱۰^{۱۵}	۵/۷۱	۵/۱۱×۱۰^{۱٤}	۲/۵۰
بذر/ کروم زعفران	۱/٦٦×۱۰^{۱۵}	۷/۱۳	۱/۰۲×۱۰^{۱۵}	۵/۳٤	۱/۹۲×۱۰^{۱۵}	۳/۸۸	۲/۱۵×۱۰^{۱۵}	۱۰/۵۱
جمع	۱/۰۳×۱۰^{۱٦}	٤٤/۵	۸/۱٤×۱۰^{۱۵}	٤۲/٦۰	۲/۲٦×۱۰^{۱٦}	٤۵/۵۸	۱/۵۸×۱۰^{۱٦}	۷۷/۲۹
جمع کل	۲/۳۲×۱۰^{۱٦}		۱/۹۱×۱۰^{۱٦}		٤/۹۵×۱۰^{۱٦}		۲/۰٤×۱۰^{۱٦}	
خروجی‌ها								
عملکرد اقتصادی (**gr**)	۹/۵۷×۱۰^{۱۹}		۱/۰٦×۱۰^{۱۰}		٤/۸۷×۱۰^{۹}		۳/۳۱×۱۰^{۳}	
عملکرد اقتصادی (**J**)	٦/٦۱×۱۰^{۱۵}		۷/۲۰×۱۰۰^{۵}		۲/۹۹×۱۰^{۵}		٦/۵٤×۱۰^{۷}	
عملکرد کاه و کلش (**gr**)	۵/۹۸×۱۰^{۹}		۷/۳۰×۱۰^{۹}				۲/۸۵×۱۰^{٦}	
عملکرد کاه و کلش (**J**)	٦/٤۷×۱۰^{۵}		٦/۲۹×۱۰^{۵}				۳/۹٤×۱۰^{۱۰}	

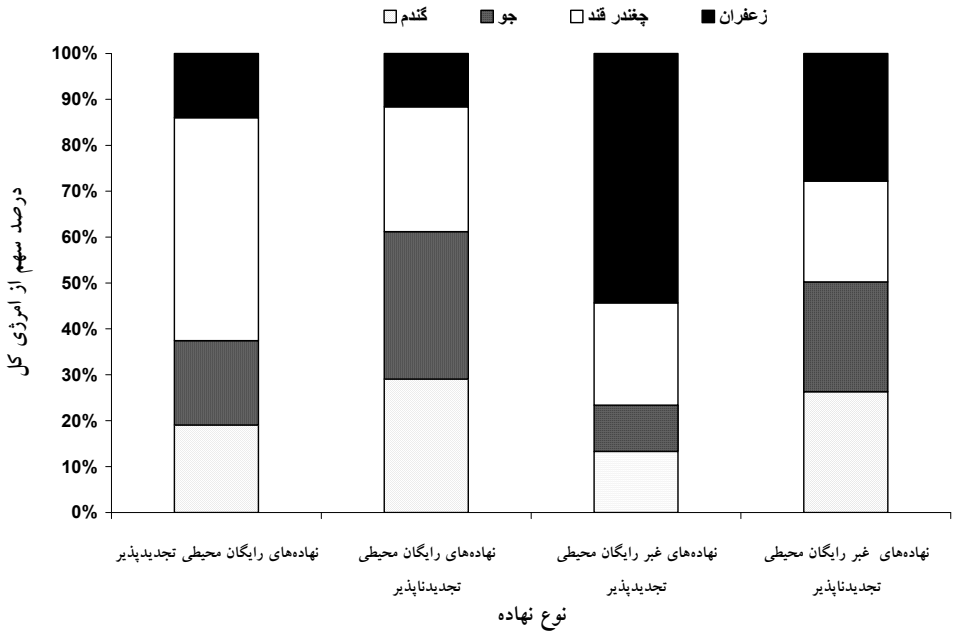
معادل انرژی گندم برای عملکرد دانه و کاه و کلش به ترتیب گندم ۱٤/٤۸و ۹.۲۵ **MJ kg^{-1}** ، برای جو ۱٤/۷۰ و ۱۱.٦۰ **MJ kg^{-1}** ، (ضیایی ، و همکاران ، ۲۰۱۵). چغندرقند ۱٦.۳ و زعفران (۱۹.۷٦) و ۱۳.۸۱ **MJ kg^{-1}** کلاله و بنه (بختیاری و همکاران ، ۲۰۱۵)

نهاده‌های طبیعی در تولید یک محصول شامل نهاده های رایگان محیطی تجدیدپذیر (R)، مانند آفتاب، باران و باد و نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدناپذیر (N)، مانند فرسایش خاک، تلفات مواد آلی خاک می باشد. به منظور جلوگیری از محاسبه

مجدد سهم منابع طبیعی تجدید پذیر، بالاترین مقدار هر منبع در تولید هر محصول به عنوان جریان امرژی در نظر گرفته شد (اصغری پور و همکاران، ۲۰۱۸).

منابع قابل تجدید محیطی

نتایج دسته بندی کلی منابع مختلف امرژی دخیل در نظام‌های تولید مورد بررسی در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج گندم، جو، چغندرقند و زعفران به ترتیب ۱/٦۱، ۱/۷۰، ٤/۱۰ و ۱/۸۱ درصد از مجموع کل امرژی های مصرف شده را از بخش منابع قابل تجدید محیطی دریافت کردند. بالاترین امرژی مصرفی از منابع قابل تجدید محیطی را کشت چغندرقند به خود اختصاص داد که در مقایسه با کشت گندم، جو و زعفران، به ترتیب ٦۰/۷۳، ۵۸/۵۳ و ۵۵/۸۵ درصد، امرژی بیشتری از منابع قابل تجدید محیطی را استفاده کرده بود (جدول ۳). بیشتر بودن سهم نهاده های رایگان محیطی تجدیدپذیردر کشت چغندرقند به دلیل طولانی تر بودن دوره رشد این محصول و طولانی تر بودن طول روز در دوره رشد و نمو چغندرقند می باشد. طول دوره رشد چغندرقند در منطقه مورد بررسی ۲۱٦ روز بود که بخش اعظم آن در تابستان که متوسط طول روز بیشتر از ۱۲ ساعت است انجام شده است. گزارش شده است انجام عملیات به زراعی مانند کشت در تاریخ مناسب یا استفاده از ارقامی که طول دوره رشد بیشتری دارند سبب می شود که از منابع محیطی استفاده بیشتری انجام شود (امیری و همکاران، ۲۰۱۹).



شکل ۲- سهم منابع امرژی نظام‌های تولید گندم، جو، چغندر قند و زعفران در منطقه خوشاب

منابع غیر قابل تجدید محیطی

در کشت گندم و جو، تلفات ماده آلی خاک و در کشت چغندرقند و زعفران امرژی آب آبیاری بالاترین مقدار منابع تجدید ناپذیر محیطی را به خود اختصاص دادند. سهم تلفات ماده آلی در تولیدگندم و جو، به ترتیب $۶/۲۲\times۱۰^{۱۵}$، $۷/۱۱\times۱۰^{۱۵}$، و سهم امرژی آب آبیاری در چغندرقند و زعفران $۱/۲۶\times۱۰^{۱۶}$ و $۲/۸۲\times۱۰^{۱٤}$ امژول در سال در هکتار بود. در دو سیستم کشت چغندرقند و زعفران استفاده از کود دامی باعث تغییرات اندک ماده آلی خاک در طول فصل رشد شده است. طولانی‌تر بودن دوره رشد در چغندرقند به همراه بالا بودن درجه حرارت در طی فصل رشد باعث شده است

که این محصول بالاترین امرژی آب آبیاری را داشته باشد. در عوض رشد زعفران در زمان های سرد سال که تبخیر و تعرق کمتر است و نیاز آبی کم زعفران سهم این منبع تجدید ناپذیری محیطی را کاهش داده است. تلفات ماده آلی خاک در کشت جو ۱۲/۵۱ درصد از کشت گندم بیشتر بود. با وجود کمتر بودن سهم تلفات ماده آلی خاک در کشت چغندرقند در مقایسه با سهم امرژی آب آبیاری، اما بیشترین تلفات ماده آلی خاک در کشت چغندرقند مشاهده شد $۱/۰۶\times۱۰^{۱۶}$امژول در هکتار). بالاتر بودن مقدار تلفات ماده آلی خاک در کشت چغندرقند به عوامل متعد محیطی و زراعی ارتباط دارد. از آنجا که در این سیستم کشت استفاده از نیتروژن به عنوان منبع اصلی تغذیه میگروارگانیسم ها در مقایسه با سایر محصولات مورد مطالعه بیشتر بوده است لذا فعالیت میکروارگانیسم ها که ماده آلی را به صورت CO_2 تلف می‌کنند نیز بیشتر است. از طرف دیگر طول دوره رشد طولانی به همراه مناسب تر بودن شرایط دمایی برای فعالیت میکرواگانیسم ها نیز سبب افزایش تلفات ماده آلی در کشت چغندرقند شده است. عملیات کنترل مکانیکی و شیمیایی علف های هرز به عنوان منبع ماده آلی خاک نیز از دیگر دلایل بیشتر بودن امرژی تلفات ماده آلی خاک در کشت چغندرقند می باشد. گزارش شده است که در دوسیستم تجاری و معیشتی کلزا نیز سهم تلفات ماده آلی خاک بخش بزرگی از کل امرژی را به خود اختصاص داده است و کشت تجاری ۸۶/۳۶ درصد تلفات ماده آلی خاک بیشتری در مقایسه با کشت معیشتی داشته است (مقدار تلفات ماده آلی خاک در سیستم تجاری ۰/۲۲ و معیشتی۰/۰۳ بوده است). در این بررسی استفاده از ارقام با شاخص برداشت بالا، کشت تک محصولی، از بین بردن علف های هرز ، استفاده از علف کش ها و عملیات خاکورزی فشرده تر را عامل اصلی کاهش بیشتر ماده آلی خاک در کشت تجاری در مقایسه با کشت معیشتی دانسته شده است (امیری و همکاران، ۲۰۱۹). مطابق با نتایج فوق ژائو و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی تغییرات ماده آلی خاک در اقلیم‌های مختلف چین گزارش کردند در مناطق با آب و هوایی سرد تجمع ماده آلی در مقایسه با مناطق با آب و هوای گرم کمتر است. کمبود مواد آلی در خاک سبب می‌شود که سیستم‌های تولید به منابع خریداری شده غیر قابل تجدید وابسته شوند که در نتیجه سهم انرژی‌های غیر قابل تجدید در یک سیستم تولید افزایش پیدا می‌کند

منابع قابل تجدید و غیر قابل تجدید خریداری شده

آنالیز دادهای مربوط به امرژی ورودی‌ها و خروجی‌های تولید در سیستم‌های زارعی مختلف مورد بررسی در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج ارایه شده در شکل ۲ و جدول‌های ۲ و ۳ بیشترین مقدار امرژی در نظام های تولید گندم، جو و چغندرقند به کود نیتروژن (به ترتیب ۱۵/۳۰، ۱۶/۴۹ و ۱۲/۴۸ درصد) به ترتیب با میزان به ترتیب $۳/۵۵\times۱۰^{۱۵}$، $۳/۱۵\times۱۰^{۱۵}$ و $۶/۱۸\times۱۰^{۱۵}$ امژول خورشیدی در هکتار و در نظام تولید زعفران به نیروی انسانی (۲۸/۲۱ درصد) با میزان $۵/۷۶\times۱۰^{۱۵}$ امژول خورشیدی در هکتار اختصاص داشت. از نظر نیروی انسانی بعد از سیستم کشت زعفران، کشت چغندرقند بالاترین مقدار را به خود اختصاص داد. در کشت زعفران به دلیل کمتر بودن درجه مکانیزاسیون، اغلب فعالیت‌های کشاورزی با نیروی کارگری انجام می‌شود. در چغندرقند نیز کنترل علف‌های هرز و برداشت این محصول در منطقه هنوز توسط نیروی کارگری انجام می‌شود. در سیستم کاشت جو، کود آلی، کود پتاسیم، علف کش و حشره کش‌ها سهمی در امرژی کل ندارند و در سیستم کاشت زعفران از حشره کش‌ها استفاده نشده است. دلیل عدم استفاده از کود پتاسیم در مزارع گندم و جو بالا بودن مقدار پتاسیم موجود در خاک و دلیل عدم استفاده از حشره کش در زعفران نبود آفت و یا بیماری خاص در طول دوره فصل رشد می‌باشد. اگرچه در سالیان اخیر گزارش‌های مربوط به خسارت در زعفران گزارش شده است اما هنوز کشاورزان در مزارع زعفران از آفت کشی برای کنترل استفاده نمی کنند. در سایر مطالعات نیز نشان داده شده است که کودهای شیمیایی سهم عمده ای در کل ورودی امرژی یک سیستم کشت دارند. کودهای نیتروژن، فسفر و پتاس ۹۷ درصد از منابع خریداری شده غیر قابل تجدید در زراعت گندم (هوشیار و همکاران، ۲۰۱۸)، تناوب گندم/لوپن (لفروی و ریدبرگ، ۲۰۰۳) را به خود اختصاص داده بودند. ژانگ و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش کردند که کود نیتروژن و نیروی کارگری بیشترین سهم ورودی امرژی را در تولید گندم دارند. در کشت چغندرقند نیز، نیاز نیتروژن بالای این محصول و تمایل کشاورزان به استفاده از کودهای شیمیایی جهت افزایش عملکرد کمی (عملکرد ریشه) سبب بالارفتن سهم کودهای شیمیایی و استفاده از نیروی کارکری در کنترل علف‌های هرز و سایر عملیات داشت مانند آبیاری و برداشت سبب بالا رفتن سهم امرژی نیروی کارگری در این محصول شده است.

عملکرد و امرژی خروجی

مقادیر کل امرژی خروجی در چهار سیستم کشت در جدول ۳ نمایش داده شده است. بیشترین و کمترین امرژی تولیدی به کشت چغندرقند $٤/٩٥\times١٠^{١٦}$ و کشت جو $١/٩١\times١٠^{١٦}$ اختصاص داشت. دلیل اصلی تفاوت در مقدار امرژی خروجی در سیستم های مختلف کشت، متفاوت بودن مقدار و نهادهای مصرفی در هر سیستم کاشت می باشد.

شاخص‌های مبتنی بر امرژی نظام‌های تولید

مقدار امرژی واحد برای بازده اقتصادی[1] (UEV_E)

مقادیر محاسبه شده UEV_E برای کشت گندم $٦/٦١\times١٠^{٥}$، برای جو $٦/٥٩\times١٠^{٦}$ برای چغندرقند $١/١٨\times١٠^{٥}$ و برای زعفران $٣/١٢\times١٠^{٨}$ $sej\ J^{-1}$ به دست آمد. مقایسه مقادیر UEV_E برای چهار سیستم مورد مطالعه نشان داد این مقدار برای کشت زعفران به طور قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با سایر گیاهان مورد بررسی بیشتر است. دلیل اصلی بیشتر بودن UEV_E در کشت زعفران، بالاتر بودن ارزش اقتصادی محصول تولیدی و وزن بسیار پایین کلاله و بنه زعفران به عنوان محصول اقتصادی این گیاه بوده است. محققان مقادیر متفاوتی برای UEV_E در محصولات زراعی و باغی مختلف گزارش کرده اند. به عنوان مثال وانگ و همکاران (۲۰۱٤) ، UEV_E برای کشت گندم را $١٠^{٥}\times١/٦٣$ $sej\ J^{-1}$ گزارش کرد که با مقدار UEV_E گزارش شده در این تحقیق تقریبا همخوانی دارد. UEV_E برای ذرت $sej\ J^{-1}$ $١٠٥\times١/٠١$ و سویا $١٠^{٤}\times٨/٣٧$ لوبیا بر اساس نوع سیستم کشت بین $١٠^{٥}\times٣/٠٢$ تا $١٠^{٥}\times١/٧١$ $sej\ J^{-1}$ گزارش شده است.

شاخص درصد تجدید پذیری امرژی (R%)

شاخص تجدید پذیری برای گندم، جو و چغندرقند به ترتیب برابر با ۱۱/٦۰، ۹/۹٥و ۲۰/۸۳ درصد بود و بالاترین شاخص درصد تجدید پذیری در کشت زعفران برابر ٤۱/۹۹ به دست آمد. شاخص درصد تجدید پذیری امرژی گندم و جو تقریبا مشابه بود. مقدار به دست آمده برای این شاخص برای زعفران از متوسط جهانی شاخص درصد تجدید پذیری امرژی (۳٤ درصد) و متوسط ایران (۲۲ درصد) که توسط براون و همکاران (۲۰۰۷) محاسبه شده است بیشتر بود. اما شاخص درصد تجدید پذیری امرژی در سیستم‌های کشت گندم، جو و چغندرقند از متوسط ایران کمتر به دست آمد. در نظام تولید چغندرقند به دلیل مصرف مقادیر زیاد کودهای شیمیایی و آلی و استفاده بیشتر از آب‌های زیر زمینی بجای آب باران برای تامین نیازهای غذایی و آبی در مقایسه با سایر سیستم‌های کشت وابستگی کمتری به نهاده‌های امرژی تجدیدپذیر داشت. در مقابل بخش اعظم نهاده‌های مورد استفاده در کشت زعفران از نهاده‌های تجدیدپذیر بود و کشاورزان منطقه تمایل کمتری به مصرف کودهای شیمیایی و آفت کش در این سیستم تولید داشتند و بخش اعظم عملیات مزرعه‌ای توسط نیروی انسانی انجام می‌شود. درکلزا شاخص درصد تجدید پذیری امرژی در کشت معیشتی ۱۹/۹۰ و در سیستم تجاری ٥/۳۰ درصد (امیری و همکاران، ۲۰۱۹)، درانگور یاقوتی ٦٤/۹٤ (کوهکن و همکاران، ۲۰۱۷) ذرت ۲۷٪ (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۲) و سویا ۳٥/۳٦٪ (کاوالت و اورتگا، ۲۰۰۹)گزارش شده است.

1 Unit emergy value for the economic yield

جدول ٤- شاخص‌های مبتنی بر امرژی نظام‌های تولید گندم، جو، چغندر قند و زعفران در منطقه خوشاب

شاخص	گندم	جو	چغندر قند	زعفران
UEV_E	٦/٦١×١٠٠٥	٦/٥٩×١٠٠٥	١/٧٦×١٠٠٥	٣/١٢×١٠٠٨
R	١١/٦٠	٥/٩٥	٠/٨٣	٤١/٩٩
EER_Y	١/٠٧	٠/٨٣١	٧/٥٨	٣٦٥
EYR	٢/٢٥	٢/٣٥	٢/١٩	١/٢٩
ELR	٦١/٢٧	٥٧/٩٨	٢٣/٤٢	٨٣/٥٥
ELR*	٣/١٢	٣/٦٢	١/٥٨	٠/٩٠
ESI	٠/٠٤	٠/٠٤	٠/٠٩	٠/٠٢
ESI*	٠/٧٢	٠/٦٥	١/٣٩	١/٤٤
EISD	٠/٠٤	٠/٠٣	٠/٧١	٠/٠٠٠٥
EIR	٠/٨٠	٠/٧٤	٠/٨٤	٣/٤٠
EIR*	٢٧/٧٢	٢٥/١٣	١١/١٣	٦٥/٣٦

شاخص نسبت عملکرد امرژی (EYR)

شاخص نسبت عملکرد امرژی در سیستم های کاشت گندم، جو و چغندرقند مشابه و زعفران کمترین و جو بالاترین شاخص نسبت عملکرد امرژی را دارا بود و بعد از جو بالاترین شاخص نسبت عملکرد امرژی در کشت گندم (۲/۲۵) مشاهده شد. متوسط جهانی این شاخص ۷/۳۸ و متوسط کشور ایران ۷/۷۲ (براون و همکاران، ۲۰۰۷) گزارش شده است که هر چهار سیستم مورد بررسی هم نسبت به متوسط جهانی و هم نسبت به متوسط ایران شاخص نسبت عملکرد امرژی کمتری داشتند. (لاروزا و همکاران، ۲۰۰۸) در بررسی امرژی پرتقال در ایتالیا مقدار این شاخص را ۱/۵ گزارش کردند. فنگ و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای که بر روی انگور در جنوب غرب چین انجام دادند شاخص نسبت عملکرد امرژی انگور را ۱/۰۷ به دست آوردند.

شاخص نسبت سرمایه گذاری امرژی (EIR)

شاخص نسبت سرمایه گذاری امرژی در چهار سیستم کشت گندم، جو، چغندرقند و زعفران به ترتیب برابر با ۰/۸۰، ۰/۷٤، ۰/۸٤ و ۳/٤۰ بود. متوسط شاخص نسبت سرمایه گذاری امرژی در جهان ۱/۵۸ و در ایران ۰/۱۵ گزارش شده است. سیستم کشت گندم، جو و چغندرقند شاخص نسبت سرمایه گذاری امرژی کمتر از متوسط ایران داشتند و در سیستم کشت زعفران این شاخص از متوسط جهانی نیز بالاتر بود. شاخص نسبت سرمایه‌گذاری امرژی متفاوتی برای گیاهان زراعی مختلف گزارش شده است به عنوان مثال در گندم (ژائو و همکاران؛ ۲۰۱۹) بسته به اقلیم‌های مورد بررسی این شاخص را ۷/۱۸-٤/۱۵ گزارش کردند. شاخص نسبت سرمایه‌گذاری امرژی در کلزا، در موز ١٦/٩٦ (دی باروس و همکاران، ۲۰۰۹)، در انگور ۵۱/۳۳ (فنگ و همکاران، ۲۰۱۳)، در کلم ۱۹/۰۳، گندم و کتان (۱/۳۰)، یولاف (۱/۳۱) و سیب زمینی ۲۷/۱۸ (ژایی و همکاران، ۲۰۱۷)، و در سویا ۱/۲۵ (کاوالت و اورتگا، ۲۰۰۹) گزارش شده است.

شاخص نسبت بارگذاری زیست محیطی (ELR) و شاخص نسبت بارگذاری زیست محیطی اصلاح شده(*ELR)

در سیستم کشت گندم شاخص نسبت بارگذاری زیست محیطی استاندارد و اصلاح شده به ترتیب برابر با ٦١/٢٧ و ٣/١٢ بود که شاخص نسبت بارگذاری زیست محیطی در مقایسه با جو و چغندرقند به ترتیب ۵/۳ و بیشتر و در مقایسه با زعفران ٣٦/٣٦ درصد کمتر بود. در حالیکه شاخص نسبت بارگذاری زیست محیطی اصلاح شده گندم در مقایسه با جو ١٦/٠٢ درصد کمتر و در مقایسه با چغندرقند و زعفران ٩٧/٤٦ و ٢٤٦ درصد بیشتر بود. در میان سیستم‌های مورد بررسی کمترین فشار محیطی مربوط به کشت زعفران با شاخص نسبت بارگذاری زیست محیطی اصلاح

شده برابر با ۰/۹۷ وارد کرد. به طور کلی، مقادیرELR کمتر از دو نشان دهنده فشار محیطی کم، مقادیر بین سه و ده نشان دهنده فشار محیطی متوسط و مقادیرELR بیشتر از ده فشار محیطی زیاد را نشان می‌دهد (براون و اولگیاتی، ۲۰۰۵). فشار زیاد محیطی می‌تواند به دلیل مصرف مقادیر زیاد نهاده‌های تجدیدناپذیر در مقیاس مکانی کوچکی باشد که نمی‌تواند تاثیرش را رقیق کند (کاوالت و همکاران، ۲۰۰٦). در کلزا در سیستم کشت معیشی مقدار ELR و در سیستم تجاری مقادیر ELR، ۱۹/۷۵ و ۱۲/٦۸ ومقادیر *ELR در دو سیستم موردبررسی ۱۷/۸۵ و ٤ گزارش شده است (امیری و همکاران، ۲۰۱۹). دلیل تشابه مقادیر دو ELR محاسبه شده در سیستم کشت تجاری سهم ۰/۵ درصدی منابع تجدید ناپذیر محیطی از کل ورودی‌های انرژی به سیستم است. در حالیکه در سیستم معیشتی ۱۳ درصد از انرژی‌های ورودی به سیستم از منابع تجدید ناپذیر محیطی بود.

شاخص پایداری محیط زیست (ESI) و شاخص پایداری محیط زیست اصلاح شده *ESI

شاخص پایداری محیط زیست در دو سیستم کشت گندم و جو با هم برابر (۰/۰٤) بود و کشت چغندرقند بالاترین شاخص پایداری محیط زیست (۰/۰۹) و کشت زعفران پایین‌ترین شاخص پایداری محیط زیست (۰/۰۲) را داشت. شاخص پایداری محیط زیست برای جهان ۰/٤۸ و در ایران ۲/۱٤ گزارش شده است که در تحقیق حاضر هر ٤ سیستم کاشت از متوسط جهانی و ایران شاخص پایداری محیط زیست کمتری داشتند. از نظر شاخص پایداری محیط زیست اصلاح شده کشت زعفران بالاترین شاخص (۱/٤٤) و کشت جو پایین‌ترین شاخص (۰/٦۵) را داشتند. شاخص پایداری محیط زیست بین صفر تا بی نهایت تغییر می‌کند. بر اساس تحقیقات اولگیاتی و براون (۲۰۰۹) مقادیر بیش از ۱۰ نظام‌های پایدار با حداقل فشار، مقادیر بین ۱ و ۱۰ پتانسیل خوب، در حالی که مقادیر کمتر از ۱ نشان دهنده نظام پر مصرف است که منابع سیستم را تخلیه کرده و تاثیرات محیطی زیاد دارد و برای بقا نیاز به مصرف زیاد انرژی دارد. شاخص پایداری محیط زیست میزان پایداری یک نظام کشت را نشان می‌دهد. هر چه سهم منابع تجدید پذیر نسبت به منابع تجدید ناپذیر پذیر بیشتر باشد مقدار این شاخص بالاتر خواهد بود و مطلوب تر است. این شاخص می‌تواند در شناسایی اکوسیستم‌های زراعتی که کمتر به محیط زیست نیاز دارند و برای تولید به منابع تجدیدپذیر محلی وابسته هستند کمک کند. برنت ویلیامز (۲۰۰۱) در ارزیابی امرژی سیستم‌های مختلف کشت در ایالت فلوریدا شاخص پایداری را برای یولاف ۰/٦۸ و برای سیب زمینی ۰/۱٦ گزارش نمود. در ارزیابی امرژی سیستم کشت برنج در چین (لو و همکاران ۲۰۱۰) مقدار این شاخص را ۱/۸۳ به دست آوردند. این شاخص در گندم، کتان و یولاف به ترتیب ۱/۱۳۹۸، ۱/۱۳۹۵ و ۱/۱۲۸۹ توسط (ژایی و همکاران، ۲۰۱۷) گزارش شده است.

نتیجه گیری

رشد و نمو گیاهان به استفاده از منابع طبیعی (مانند نور خورشید، آب و باد) و منابع خریداری شده (مانند کود، آفت کش، و علف کش) وابستگی کامل دارد. معرفی گیاهان جدید در یک منطقه در صورت سازگاری مناسب می‌تواند عملکرد اقتصادی قابل قبولی را تولید کند. اما این گیاهان جدید به دلیل عدم سازگاری با منطقه مورد نظر به استفاده از منابع انسانی وابستگی کاملی دارند. سهم منابع قابل تجدید محیطی و خریداری شده در زعفران ۵۵/۸۰، در گندم ۱۸/۳٦، در جو ۱٤/٤٤ و در چغندرقند ۱٤/۸٤ درصد از کل انرژی‌های وارد شده به سیستم بود. از میان تمام نهاده‌های دخیل در تولید گندم و جو تلفات ماده آلی خاک (۲٦/۸ و ۳٤/۰۲ درصد)، در کشت چغندرقند آب آبیاری (۲۵/٤۷ درصد) و در سیستم کاشت زعفران نیروی انسانی (۲۸۲/۲۱ درصد) بیشترین امرژی ورودی را به خود اختصاص دادند. از میان منابع خریداری شده در کشت زعفران نیروی کارگری، کود نیتروژن و کود فسفر، در سیستم کشت چغندرقند کود نیتروژن، کود فسفر و نیروی کارگری، و در دو سیستم کاشت گندم و جو، کود نیتروژن، کود فسفره و بذر مصرفی به عنوان سه منبع اصلی بودند که بالاترین امژی ورودی را داشتند. نسبت بارگذاری محیطی اصلاح شده (*ELR) در چهار گیاه زراعی مورد مطالعه در محدوده ۳/٦۹- ۰/۹۰ بود که کشت جو بالاترین و کشت زعفران کمترین نسبت بارگذاری محیطی اصلاح شده را داشتند. در کشت زعفران سهم منابع تجدید پذیر نسبت به منابع تجدید ناپذیر پذیر بیشتر بود که این امر سبب افزایش شاخص پایداری محیط زیست اصلاح شده در این گیاه شد. بر این اساس می توان گفت در منطقه مورد بررسی معرفی زعفران سبب افزایش پایداری تولید شده است.

منابع

بی نام. ۱۳۹۹. http://khorazavi.frw.ir/00/Fa/StaticPages/Page.aspx?tid=14988h

کوچکی، ع.، م. نصیری محلاتی، ا. مرادی و ح. منصوری. ۱۳۹۶. راهبردهای گذار از کشاورزی رایج به پایدار در ایران الف- جایگزینی نهاده‌ها و طراحی بومنظام کشاورزی. بوم شناسی کشاورزی. جلد ۹، شماره ٤: ۹۳۵-۹۵۹.

Altieri, M. A. 2018. Agroecology: the science of sustainable agriculture. CRC Press.

Amiri, Z., M. R. Asgharipour, D. E. Campbell, and M. Armin. 2019. A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran, based on emergy and economic analyses. J. Clean. Prod., 226:1051-1066.

Asgharipour, M. R., H. Shahgholi, D. E. Campbell, I. Khamari, and A. Ghadiri. 2018. Comparison of the sustainability of bean production systems based on emergy and economic analyses. Environ. Monit. Assess. 191:202-223.

Brown, M. T., and S. Ulgiati. 2005. Emergy, transformity and ecosystem health. In (Edits, S. Jørgensen, L. Xu, R. Costanza) Handbook of Ecological Indicators for Assessment of Ecosystem Health. CRC Press.

Cavalett, O., and E. Ortega. 2009. Emergy, nutrients balance, and economic assessment of soybean production and industrialization in Brazil. J. Clean. Prod.,17:762-771.

De Barros, I., J. M. Blazy, G. S. Rodrigues, R. Tournebize, and J. P. Cinna. 2009. Emergy evaluation and economic performance of banana cropping systems in Guadeloupe (French West Indies). Agric. Ecosyst. Environ., 129:437-449.

Edwards-Jones, G., B. Davies, and S. S. Hussain. 2009. Ecological Economics: An introduction. John Wiley & Sons.

Feng, J. Y., S. Z. Lu, Z. T. Fu, and D. Tian. 2013. Emergy analysis of protected grape production system in China. Pages 3938-3942 in Advanced Materials Research. Trans Tech Publ.

Houshyar, E., X. Wu, and G. Chen. 2018. Sustainability of wheat and maize production in the warm climate of southwestern Iran: an emergy analysis. J. Clean. Prod., 172:2246-2255.

Houshyar, E., X. Wu, and G. Chen. 2018. Sustainability of wheat and maize production in the warm climate of southwestern Iran: an emergy analysis. J. Clean. Prod.,172:2246-2255.

Kohkan, S. A., A. Ghanbari, M. R. Asgharipour, and B. A. Fakheri. 2017. Emergy evaluation of Yaghuti grape of Sistan. Arid Biome Scientific and Research Journal 7:73-84.

Koohkan, S. A., A. Ghanbari, M. R. Asgharipour, and B. A. Fakheri. 2018. Emergy Analysis of Greenhouse Cucumber Production in Sistan Region. International Journal of Agricultural Management and Development 8:377-387.

La Rosa, A., G. Siracusa, and R. Cavallaro. 2008. Emergy evaluation of Sicilian red orange production. A comparison between organic and conventional farming. J. Clean. Prod.,16:1907-1914.

Lefroy, E., and T. Rydberg. 2003. Emergy evaluation of three cropping systems in southwestern Australia. Ecol. Modell., 161:195-211.

Lu, H., Y. Bai, H. Ren, and D. E. Campbell. 2010. Integrated emergy, energy and economic evaluation of rice and vegetable production systems in alluvial paddy fields: implications for agricultural policy in China. J. Environ. Manage. 91:2727-2735.

Martin, J. F., S. A. Diemont, E. Powell, M. Stanton, and S. Levy-Tacher. 2006. Emergy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management. Agric. Ecosyst, Environ., 115:128-140.

Moore, J., F. Pagani, M. Quayle, J. Robinson, B. Sawada, G. Spiegelman, and R. Van Wynsberghe. 2005. Recreating the university from within. International Journal of Sustainability in Higher Education 6:65-80.

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

Ortega, E., O. Cavalett, R. Bonifácio, and M. Watanabe. 2005. Brazilian soybean production: emergy analysis with an expanded scope. Bulletin of Science, Technology & Society 25:323-334.

Ulgiati, S., and M. T. Brown. 2009. Emergy and ecosystem complexity. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation 14:310-321.

Veisi, H., A. Torbak, J. Kambozia, A.-M. Maddavi-Damghani, and R. Deihimfard. 2016. Emergy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems: Case of winter wheat, grain corn and spring forage corn in Dezful at Khozestan province, Iran. Iran. Journal of Agroecology 6.

Wang, X., Y. Chen, P. Sui, W. Gao, F. Qin, J. Zhang, and X. Wu. 2014. Emergy analysis of grain production systems on large-scale farms in the North China Plain based on LCA. Agric. Syst., 128:66-78.

Wang, X., Y. Chen, P. Sui, W. Gao, F. Qin, J. Zhang, and X. Wu. 2014. Emergy analysis of grain production systems on large-scale farms in the North China Plain based on LCA. Agric. Syst., 128:66-78.

Zhai, X., D. Huang, S. Tang, S. Li, J. Guo, Y. Yang, H. Liu, J. Li, and K. Wang. 2017. The emergy of metabolism in different ecosystems under the same environmental conditions in the agro-pastoral ecotone of northern China. Ecol. Indic., 74:198-204.

Zhai, X., D. Huang, S. Tang, S. Li, J. Guo, Y. Yang, H. Liu, J. Li, and K. Wang. 2017. The emergy of metabolism in different ecosystems under the same environmental conditions in the agro-pastoral ecotone of northern China. Ecol. Indic.,74:198-204.

Zhang, L., B. Song, and B. Chen. 2012. Emergy-based analysis of four farming systems: insight into agricultural diversification in rural China. J. Clean. Prod.,28:33-44.

Zhao, H., X. Zhai, L. Guo, K. Liu, D. Huang, Y. Yang, J. Li, S. Xie, C. Zhang, and S. Tang. 2019. Assessing the efficiency and sustainability of wheat production systems in different climate zones in China using emergy analysis. J. Clean. Prod.,235:724-732.

Evaluation of the ecological sustainability of introducing new crops in the cropping pattern based on an analysis of emergy

S. Fallahinejad[1], M. Armin[2], M.R. Asgharipour[3]

Received: 2019-12-19 Accepted: 2020-10-29

Abstract

Emergy analysis is an appropriate strategy for assessing the sustainability of agricultural production systems in a region. In this study, the sustainability of production of four widely grown crops, including wheat and barley,sugar beet and saffron were compared using emergy approach in Khoushab County, Khorasan Razavi province, Iran. The total supporting emergy for wheat, barley, sugar beet and saffron was respectively 2.32E+16, 1.91E+16, 4.95E+16, and 2.04E+16 sej ha^{-1}. The greatest portion of renewable environmental resources were obtained in sugar beet production systems (4.1% of total emergy), and non-renewable environmental resources occurred in barley production systems (55.7% of total emergy). Saffron production systems showed the greatest portion of renewable and non-renewable purchased resources (40.80 and 36.48%). Introduction of saffron and sugar beet as new crops in a given region, compared to wheat and barley as preceding crops in the cropping pattern, caused enhancement in renewable emergy ratio, environmental loading ratio, modified environmental sustainability index, and emergy input ratio, while decreased emergy yield ratio, modified environmental loading ratio, environmental sustainability index, and sustainable development emergy index. Saffron and sugar beet production as new introduced crops to the region resulted in the highest modified environmental sustainability index. Although the environmental loading ratio index of saffron cultivation was higher than other production systems, modified environmental loading ratio was lower than the three other production systems. Therefore, saffron can be recommended as a sustainable crop that has put the lowest pressure on environmental resources.

Keywords: Emergy analysis, cropping pattern, environmental impacts, production sustainability

1- Ph.D. Candidate, Department of Agronomy and Plant Breeding, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran
2- Associate professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran
3- Professor Department of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran