

## ارزیابی پایداری مبتنی بر امرژی در پنج بوم‌نظام عمده کشاورزی هیرمند، استان سیستان و بلوچستان

سمیه میرشکاری<sup>۱\*</sup>، مهدی دهمرده<sup>۳\*</sup>، محمدرضا اصغری پور<sup>۳</sup>، سید احمد قنبری<sup>۲</sup>، اسماعیل سیدآبادی<sup>۳</sup>

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

۲- عضو هیئت علمی پژوهشی گروه زراعت و اصلاح نباتات، پژوهشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

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

\* مسئول مکاتبه: [dr.dahmardeh@uoz.ac.ir](mailto:dr.dahmardeh@uoz.ac.ir)

DOI: 10.22034/CSRAR.2021.311181.1146

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۷

### چکیده

کشاورزی نقش اساسی در حمایت از معیشت خانواده و توسعه اقتصاد ملی دارد. شیوه‌های کشاورزی تا حد زیادی میزان تولید غذا و وضعیت محیط را تعیین می‌نمایند. رهیافت تحلیل امرژی با کمی‌سازی جریان‌های ورودی محیطی و اقتصادی به واحد یکسان امژول خورشیدی توانایی مقایسه جامع نظام‌های تولیدی مختلف را داراست. در مطالعه حاضر، پایداری بوم‌شناختی پنج نظام تولید محصولات زراعی گندم، جو، یونجه، هندوانه و خربزه در سطح شهرستان هیرمند، واقع در استان سیستان و بلوچستان، با استفاده از ارزیابی ساختار امرژی و تحلیل شاخص‌های امرژی بررسی شد. داده‌های موردنیاز برای این پژوهش توسط پرسش‌نامه و اندازه‌گیری‌های میدانی از سطح نظام‌های کشاورزی خرده مالکی شهرستان هیرمند در سال ۱۳۹۹ جمع‌آوری گردید. جریان‌های رایگان تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر به ترتیب ۴۶/۷۷، ۴۵/۸۷، ۶۴/۳۹، ۶۳/۹۴ و ۶۲/۴۰ درصد از کل امرژی ورودی نظام‌های تولید گندم، جو، یونجه، هندوانه و خربزه را به خود اختصاص دادند. سهم زیاد نهاده‌های رایگان داخلی نشان می‌دهد که غالب مزارع مورد مطالعه، نظام‌هایی غیر صنعتی هستند که به شیوه نیمه‌سنتی و کم‌نهاد مدیریت می‌شوند. مقادیر محاسبه‌شده برای شاخص پایداری امرژی (ESI) نشان داد، پایداری بوم‌شناختی نظام تولید یونجه بیشتر از سایر نظام‌های مورد مطالعه است. دلیل اصلی پایداری بیشتر این نظام سهم زیاد انرژی ورودی مربوط به نهاده‌های محیطی رایگان و منابع تجدید پذیر اقتصادی بود. همچنین بالا بودن نسبت عملکرد امرژی، مقدار انرژی صرف شده کمتر در تولید هر واحد خروجی و بهره‌وری بیشتر کل عوامل تولید حاکی از مزیت نسبی بیشتر نظام تولید یونجه است. در مجموع ارزیابی‌های انجام‌شده بر اساس محاسبه شاخص‌های مبتنی بر امرژی نشان داد در نظام‌های زراعی غالب شهرستان هیرمند، توجه به راهکارهای عملی در مدیریت جامع بوم‌نظام تولیدی به‌ویژه حفاظت از مواد آلی خاک و جلوگیری از فرسایش خاک و تلفات مواد آلی خاک، می‌تواند در پایداری بوم‌شناختی این نظام‌ها تأثیر چشمگیری داشته باشد.

**واژه‌های کلیدی:** تحلیل امرژی، سیستان، کشاورزی پایدار، کمی‌سازی پایداری، مطالعه میدانی

### مقدمه

تقاضای جهانی مواد غذایی تا سال ۲۰۵۰ از نظر برآوردن نیاز روزافزون به تولید غذا، از بین بردن اثرات نامطلوب محیطی، تغییرات آب‌وهوایی و افزایش رقابت برای منابع طبیعی، چالش‌های بزرگی را برای پایداری کشاورزی ایجاد کرده است (Zhang et al., 2021). جلوگیری از آلودگی، تخریب، حفاظت از محیط‌زیست و همچنین مصرف بهینه منابع از مهم‌ترین عوامل دستیابی به توسعه پایدار محسوب می‌شود (Astanboos and Parvian, 2021). از سویی کمبود منابع آب‌وخاک، فشار بر بوم‌نظام‌های طبیعی، تغییرات اقلیمی و خشک‌سالی، تغییر کاربری اراضی، عدم باقی گذاشتن بقایای گیاهی، تک‌کشتی و

یکی از بخش‌های اصلی در هر اقتصاد که موجب رشد و توسعه اقتصادی کشورها می‌گردد، کشاورزی می‌باشد، از این‌رو از این بخش به‌عنوان موتور محرک هر کشور نام برده می‌شود. برای عبور از بحران‌های عدم توسعه، کلیه کشورهای کمتر توسعه‌یافته باید به این بخش رجوع کرده و کشاورزی را برای حرکت به سمت کارایی تولید با فن‌آوری‌های پیشرفته تلفیق نمایند (Khosravipour and Soleimani Harooni, 2019). شیوه‌های کشاورزی تا حد زیادی میزان تولید غذا و وضعیت محیط را تعیین می‌نمایند (Su et al., 2020). دو برابر شدن

تحلیل امرژی و آلودگی محیط زیست نشان داد که نظام‌های فشرده غیر زراعی (NGP)<sup>۱</sup>، به‌ویژه پرورش اردک و پرورش ماهی در استخر، به دلیل فشار محیطی بالا و پایداری زیست‌محیطی پایین از پایداری مطلوبی برخوردار نبودند. در حالی که کشت خالص برنج و نظام‌های کشاورزی یکپارچه، پایدار بودند و از لحاظ اقتصادی با نظام‌های فشرده غیر زراعی قابل رقابت نیستند. با افزایش مزایای اقتصادی نظام تولید یکپارچه کشاورزی به میزان ۲/۳۲-۲/۳۵ برابر و کاهش آلودگی از منابع کشاورزی به میزان ۱۰/۲۱٪- ۵۹/۰۱٪ در مقایسه با کشت خالص برنج، ثابت شد که این نظام، الگوی امیدوارکننده‌ای برای کشاورزی پایدار است (Su et al., 2020). در پژوهشی دیگر که به ارزیابی تالاب‌های احیا شده در چین به روش تلفیق ارزیابی اقتصادی و تحلیل امرژی پرداخته شد، محققین به این نتیجه رسیدند که تحلیل امرژی و ارزیابی اقتصادی، درک جامع و کاملی از وضعیت زیست‌محیطی و اقتصادی نظام‌ها را در بعد زمان و مکان بیان می‌کند. در این مطالعه همچنین بیان شد شیوه تولید و خصوصیات نظام‌های کشاورزی، منجر به اثرات زیست‌محیطی و پایداری در مقیاس‌های مکانی و زمانی متفاوت خواهد شد (Lu et al., 2017).

در پژوهشی که به ارزیابی پایداری شش بوم‌نظام تولید محصولات زراعی بر اساس تحلیل امرژی و اقتصادی در شهرستان هیرمند پرداخته شد، بیشترین امرژی حمایت‌کننده در نظام تولید سیر ( $10^{16} \times 4/36$  امژول خورشیدی در هکتار در سال) و کمترین آن مربوط به سیاه‌دانه ( $10^{16} \times 1/82$  امژول خورشیدی در هکتار در سال) بود. همچنین نظام تولید رازیانه با توجه به مقادیر محاسبه‌شده برای شاخص‌های پایداری (ESI و ESI\*) از پایداری بوم‌شناختی بیشتر نسبت به سایر نظام‌ها بهره‌مند بود (Mirshakari et al., 2021).

گندم به‌عنوان اصلی‌ترین محصول کشت‌شده در منطقه سیستان شناخته می‌شود که کلیه نظام‌های کشاورزی بر مبنای این محصول تشکیل شده و اقتصاد مردم منطقه را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای تحت تأثیر قرار داده است. با توجه به خشک‌سالی‌های اخیر در منطقه سیستان به‌خصوص در هیرمند کشت این محصول به‌طور چشم‌گیری کاهش داشته است، به‌گونه‌ای که طبق آمار اخذشده از سازمان جهاد کشاورزی استان

عدم رعایت تناوب زراعی، آبیاری و کوددهی نامتناسب با ساختمان و بافت خاک، به‌کارگیری نامناسب ماشین‌آلات در برخی بوم‌نظام‌ها، ضرورت توجه به کشاورزی پایدار را بیشتر نمایان ساخته است (Laborde et al., 2020).

تجزیه و تحلیل امرژی، نخستین بار توسط اودوم و همکارانش در دهه ۱۹۸۰ برای رفع نگرانی‌های مطرح‌شده پیشنهاد گردید. این روش کلیه منابع زیست‌محیطی رایگان، نیروی انسانی و خدمات بوم‌نظام را که معمولاً در روش‌های دیگر نادیده گرفته می‌شود، در نظر می‌گیرد؛ لذا تحلیل با این روش به نتایج کاملی منجر می‌شود که می‌تواند در انتخاب مناسب‌ترین روش در مدیریت پایدار کشاورزی کمک نماید (Houshyar et al., 2018). علاوه بر این، تجزیه و تحلیل امرژی انواع مختلف انرژی، مواد، کالاها و خدمات را به یک واحد تبدیل کرده و امکان مقایسه این مقادیر را فراهم می‌آورد. این یکپارچه‌سازی به واحد امژول خورشیدی از مشکلاتی که در سایر روش‌ها رخ می‌دهد، جلوگیری می‌نماید (Lan et al., 2002; Odum, 1988; Ugiati and Brown, 2009).

تجزیه و تحلیل امرژی به‌طور گسترده‌ای در ارزیابی نظام‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Chen et al., 2018; Chen et al., 2017). گزارش‌هایی در خصوص بررسی پایداری بوم‌نظام‌های گیاهی با استفاده از روش تحلیل امرژی در دنیا وجود دارد. محققین در مطالعه‌ای به مقایسه سه نظام زراعی مکانیزه، سنتی و حفاظتی تولید موسیر با رویشگاه طبیعی بر اساس تحلیل امرژی پرداختند؛ نتایج آن‌ها نشان داد که نظام حفاظتی بر مبنای شاخص‌های امرژی و جریان ورودی‌های تجدیدپذیر محیطی رایگان، بهینه‌ترین نظام از لحاظ پایداری خاک در تولید موسیر می‌باشد. شاخص‌های مبتنی بر امرژی، مزیت نظام مکانیزه تولید موسیر را نسبت به دو نظام زراعی دیگر نشان داد (Amiri et al., 2021). نتایج پژوهشی که به ارزیابی تولید محصولات پایدار از دیدگاه بوم‌شناختی مبتنی بر تجزیه و تحلیل امرژی پرداخت، نشان داد که خدمات تأمین‌کننده نظام‌های کشاورزی بیشتر از سایر خدمات بوم‌نظام می‌باشد. علاوه بر این تغییر الگوی کشت به‌تنهایی نمی‌تواند موجب تعادل بین سلامت بوم‌نظام و اقتصاد گردد (Wang et al., 2021).

مطالعه پژوهش‌گران در خصوص بررسی پایداری سه نوع نظام تولید کشاورزی در چین با استفاده از تلفیق روش‌های

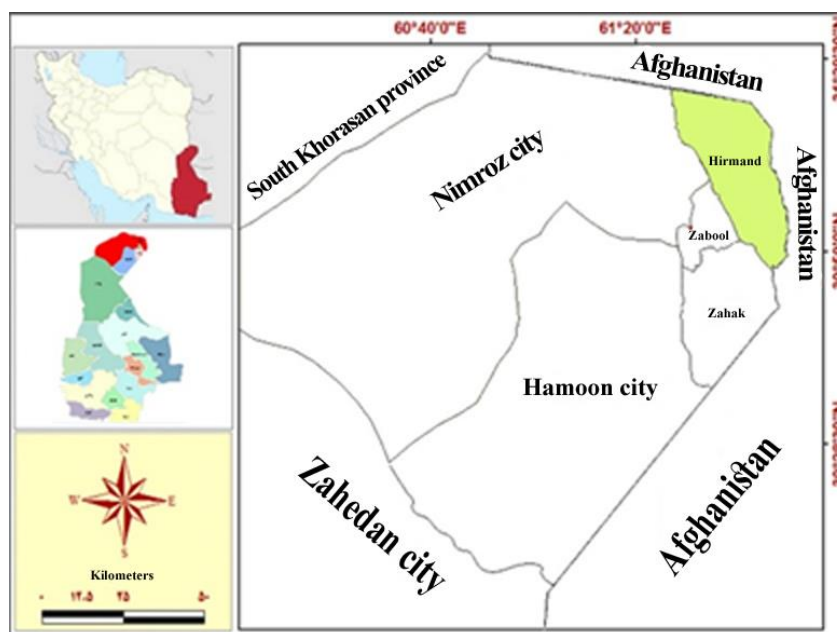
سیستان و بلوچستان، طی ده سال اخیر سطح زیر کشت گندم از ۱۵ هزار هکتار به ۸ هزار هکتار کاهش نشان داده است؛ مقایسه سهم تولید محصولات زراعی استان در سال ۱۳۹۷ نشان می‌دهد که به‌رغم محدودیت منابع آب‌وخاک در منطقه و حاکم بودن شرایط طبیعی، شهرستان هیرمند نقش قابل‌توجهی در تولید برخی از محصولات زراعی در استان دارد؛ به‌طوری‌که درصد قابل‌توجهی از تولید هندوانه و محصولات جالیزی و علوفه‌ای به این منطقه اختصاص دارد (Sistan and Baluchestan Province Statistical Yearbook, 2018).

در این مطالعه چهار محصول مختلف جو، یونجه، هندوانه و خربزه به‌عنوان نماینده محصولات تولیدشده در بوم‌نظام‌های کشاورزی هیرمند انتخاب شد تا مقایسه معتبری با نظام‌های تولید گندم به‌عنوان کشت اصلی منطقه انجام شود. روش تحلیل امرژی برای مقایسه نظام‌های مختلف در منطقه هیرمند استفاده شد. این مطالعه با هدف بررسی پایداری پنج بوم‌نظام تولید محصولات زراعی بر اساس تحلیل امرژی در شهرستان هیرمند صورت پذیرفته است.

## مواد و روش‌ها

### معرفی محل پژوهش

این پژوهش در سطح نظام‌های زراعی خرده مالکی شهرستان هیرمند با موقعیت جغرافیایی ۳۰ درجه و ۷ دقیقه الی



شکل ۱- موقعیت شهرستان هیرمند در استان سیستان و بلوچستان در ایران

Figure 1- Hirmand county location within Sistan and Baluchestan Province and Iran

## جمع‌آوری داده‌ها

داده‌های مورد نیاز از ۱۸ روستای شهرستان هیرمند که در آن تولیدات زراعی قابل توجهی وجود داشت توسط پرسش‌نامه و به‌صورت چهره به چهره با تولیدکنندگان محصولات گندم، جو، یونجه، هندوانه و خربزه شهرستان هیرمند جمع‌آوری گردید. در مجموع ۲۳۳ تولیدکننده محصولات مورد مطالعه با استفاده از فرمول کوکران و روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای از روستاها انتخاب شدند (Cochran, 1977):

$$n = \frac{\frac{Z^2 pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{N} \left( \frac{Z^2 pq}{d^2} - 1 \right)} \quad \text{معادله (۱)}$$

که  $n$  حجم نمونه آماری،  $Z$  مقدار متغیر نرمال با سطح اطمینان  $1-\alpha$ ،  $p$  نسبت بر خورداری از صفت مورد نظر (کشاورز)؛  $q=(1-p)$ ؛ نسبت عدم بر خورداری از صفت مورد نظر؛ معمولاً  $p$  و  $q$  را ۰/۵ در نظر گرفته‌شده؛  $d$  اشتباه مجاز که برابر ۰/۰۵ در نظر گرفته‌شده؛  $N$  حجم جامعه آماری؛ در آزمون دو دامنه مقدار  $Z$  برای سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر ۱/۹۶ و برای سطح اطمینان ۹۹ درصد برابر ۲/۵۸ است؛ این محاسبه با سطح خطای ۵ درصد صورت گرفته‌شده؛ که با توجه به نتایج حاصل از اجرای فرمول کوکران تعداد ۲۳۳ نفر به‌عنوان حجم نمونه انتخاب گردید که ۱۲۷ نمونه برای گندم، ۴۴ نمونه برای جو، ۲۹ نمونه برای یونجه، ۱۹ نمونه برای هندوانه و ۱۴ نمونه برای خربزه انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند.

تمام اطلاعات مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌های نظام‌های زراعی با استفاده از دو روش به دست آمد؛ برآوردهای کلامی با استفاده از پرسشنامه در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸، اندازه‌گیری‌های میدانی و مشاهدات نویسندگان در طول دوره زمانی مشابه، اطلاعاتی که توسط مدیر و کارکنان مزرعه ارائه‌شده بود، دقیق در نظر گرفته شد، زیرا کارکنان به‌قدر کافی تجربه کاری داشته و اطلاعات دقیقی در خصوص هر مرحله از تولید ارائه کردند. علاوه بر داده‌های به‌دست‌آمده از پرسشنامه‌ها، مطالعات قبلی سازمان‌های مرتبط مانند سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) و وزارت جهاد کشاورزی ایران (MAJ) نیز در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت.

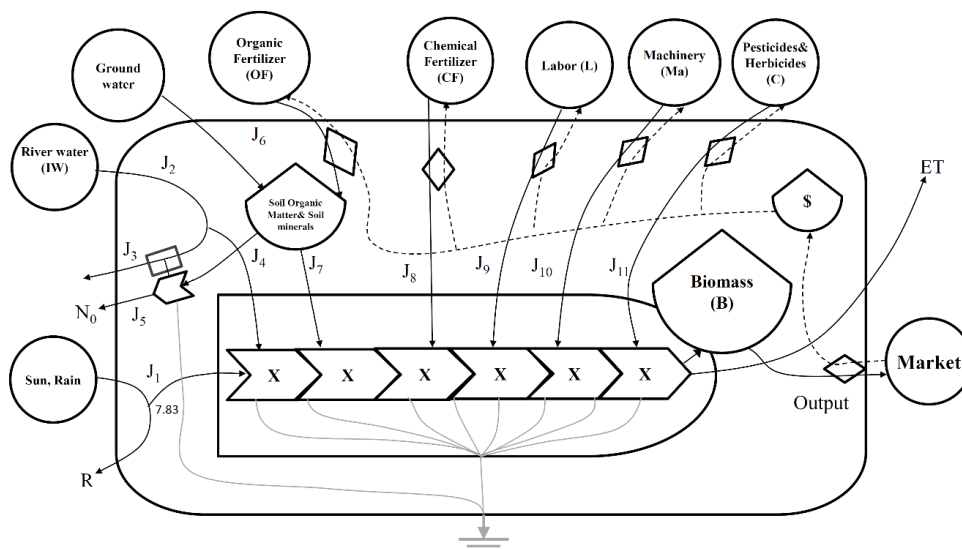
در این مطالعه از داده‌های بلندمدت هواشناسی، ارائه‌شده توسط ایستگاه‌های هواشناسی زابل و زهک استفاده گردید. برای محاسبه جریان‌های انرژی ورودی؛ ساختمان‌ها، ماشین‌آلات و مواد

استفاده‌شده در نظام‌ها با توجه به طول عمر خدمات آن‌ها ارزیابی گردید (Vassallo et al., 2007). برای ماشین‌آلات ۲۵ و ساختمان‌ها ۴۰ سال طول عمر (Asgharipour et al., 2019) محاسبه شد. با توجه به متغیر بودن مساحت نظام‌های مورد مطالعه و جهت سهولت در انجام محاسبات در این پژوهش، مقدار نهاده و خروجی آن‌ها بر اساس ۱ هکتار زمین استانداردسازی گردید. سهم تجدید پذیری نیروی کار با توجه به مطالعات قبل در کشور ایران به میزان ۱۰ درصد لحاظ شد (Jafari et al., 2018; Ulgiati et al., 1994; Vassallo et al., 2007).

## روش تحلیل انرژی

جزئیات فرآیند تحلیل انرژی توسط محققین مختلف ارائه‌شده است (Brown and Ulgiati, 1997; Odum et al., 2000; Odum and Nilsson, 1997; Ulgiati et al., 1994). در ابتدا برای تحلیل انرژی مرزهای مکانی و زمانی پنج نظام تعیین گردید و سپس دیاگرام انرژی برای نظام‌های مورد مطالعه بر اساس طبقه‌بندی نهاده، منابع تجدید پذیر یا تجدید ناپذیر، محلی یا وارداتی رسم گردید، که انجام این کار جهت نمایان ساختن روابط بین بوم‌نظام و پایه‌های زیست‌محیطی و مدیریت بین اجزای آن‌ها ضرورت دارد. شکل ۲ نمودار زبان مفهومی نظام‌های انرژی در بوم نظام‌های مورد مطالعه را نمایش می‌دهد. انرژی با یک زبان نمادین به مدل‌سازی نظام‌ها می‌پردازد که خصوصیات شبکه‌ای آن را نمایان می‌سازد (Odum, 1996). گام دوم جهت ارزیابی و تحلیل انرژی رسم جدول‌های ارزیابی انرژی می‌باشد.

منابع جهت تجزیه و تحلیل به ۴ دسته در نظام‌های تولیدی تقسیم‌بندی می‌گردند (Li et al., 2010): منابع محیطی تجدید پذیر (R)، شامل: نور خورشید، باد، انرژی شیمیایی و انرژی پتانسیل زمین‌شناسی باران، آب رودخانه و تبخیر و تعرق آب‌های تجدید پذیر؛ منابع محیطی تجدید ناپذیر (N)، شامل: فرسایش خاک، تلفات ماده آلی خاک، آب زیرزمینی، تبخیر و تعرق آب‌های زیرزمینی؛ منابع خریداری‌شده تجدید پذیر (FR)، شامل: ۸۰ درصد کود آلی، بین ۱۵ تا ۲۵ درصد بذر، ۱۰ درصد نیروی کارگری و ۷ درصد الکتریسیته؛ منابع خریداری‌شده تجدید ناپذیر (FN)، شامل: ماشین‌آلات کشاورزی، سوخت فسیلی، کودها و سموم شیمیایی، ۹۳ درصد الکتریسیته، ۹۰ درصد نیروی کارگری، ۷۵ تا ۸۵ درصد بذر مصرفی و ۲۰ درصد کود آلی (Asgharipour et al., 2019).



شکل ۲- خلاصه نمودار زبان مفهومی نظام‌های انرژی در بوم‌نظام‌های شهرستان هیرمند، ایران

Figure 2- Summary Energy Systems Language diagram of the energy flows in crop production systems of Hirmand, Iran

بعدی به تخمین کلیه جریان‌های ورودی (U) و خروجی (Y)، داده‌های خام برای تمامی نظام‌های تولید، برحسب ژول، گرم یا ریال با توجه به شرایط ایران در ارزش واحد انرژی<sup>۳</sup> آن‌ها ضرب گردید (Amiri et al., 2021; Asgharipour et al., 2020; Asgharipour et al., 2019; Campbell et al., 2005; Odum et al., 2000).

در تحلیل انرژی از شاخص‌های انرژی برای ارزیابی‌های زیست‌محیطی استفاده می‌شود (Lu et al., 2017; Lu et al., 2010). در این مطالعه ضریب تبدیل ( $Tr^4$ )، درصد تجدید پذیری انرژی ( $R^5$ %)، نسبت عملکرد انرژی ( $EYR^6$ )، نسبت سرمایه‌گذاری انرژی ( $EIR^7$ )، نسبت بار محیط‌زیستی ( $ELR^8$ ) و نسخه اصلاح‌شده آن ( $ELR^*$ )، شاخص پایداری انرژی ( $ESI^9$ ) و نسخه اصلاح‌شده آن ( $ESI^*$ )، و شاخص انرژی سلامت تولید ( $EIPS^{10}$ ) استفاده شد. مشخصات و فرمول شاخص‌های انرژی مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

افزایش مواد آلی و یا تلفات آن در خاک ضمن اهمیت فراوان این امر به‌ندرت در محاسبات دیده می‌شوند (Fan et al., 2018). در پژوهش حاضر تلفات ماده آلی خاک یک نهاده انرژی محسوب شده است و جهت محاسبه تلفات ماده آلی خاک میزان مواد آلی قبل و بعد از کاشت و برداشت گیاه مورد سنجش قرار گرفت. بدین منظور از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری مزارع مورد مطالعه نمونه‌برداری خاک صورت پذیرفت. نخست نمونه‌های برداشت‌شده در هوای آزاد خشک گردیده و پس از کوبیده شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. ماده آلی خاک در کوره الکتریکی و دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از روش LOI<sup>۱</sup> طی مدت‌زمان ۲ ساعت محاسبه گردید (Hashemibeni et al., 2010). مدل RUSLE<sup>۲</sup> جهت محاسبه فرسایش آبی استفاده گردید (Mohammadi et al., 2018). مقدار ۰/۶ گرم بر سانتی‌متر مربع در کلیه مزارع برای فرسایش بادی لحاظ گردید (Soloki et al., 2010). برای محاسبه انرژی ماشین‌آلات، عمر اقتصادی ماشین، ساعات کار ماشین‌آلات در سال با در نظر گرفتن وزن فولاد به‌کاررفته، استفاده شد (Asgharipour et al., 2019).

ضریب انرژی به ازای واحد پول جهت به دست آوردن انرژی بذری مصرف‌شده استفاده گردید (Amiri et al., 2021). در گام

3. Unit Energy Value

4. Transformity

5. Renewable energy ratio

6. Energy yield ratio

7. Energy investment ratio

8. Environmental loading ratio

9. Energy sustainability index

10. Energy index of product safety

1. Loss on ignition

2. Revised Universal Soil Loss Equation

جدول ۱- مشخصات و فرمول شاخص‌های مبتنی بر انرژی مورد استفاده برای ارزیابی نظام‌های تولید گندم، جو، یونجه، هندوانه و خربزه هیرمند

Table 1- Specifications and formulas of indicators based on energy used to evaluate the production systems of Wheat, barley, alfalfa, watermelon and melon of Hirmand

منبع Reference	خصوصیات Specifications	فرمول Formula	شاخص Index
By difintion	جریان‌های محیطی تجدید پذیر Renewable environmental flows	R	ورودی‌های تجدید پذیر از منابع رایگان Renewable inputs from free local resources
By difintion	جریان‌های تجدید ناپذیر از منابع محلی رایگان Non-renewable environmental flows	N	ورودی‌های رایگان محیطی تجدید ناپذیر Non-renewable environmental inputs
By difintion	جریان‌های تجدید پذیر از منابع بازاری Renewable flows from purchased resources	F <sub>R</sub>	ورودی‌های بازاری تجدید پذیر Renewable purchased inputs
By difintion	جریان‌های تجدید ناپذیر از منابع بازاری Non-renewable purchased flows	F <sub>N</sub>	ورودی‌های بازاری تجدید ناپذیر Non-renewable purchased inputs
By difintion	کل منابع انرژی مورد نیاز برای حمایت از نظام تولید Total energy resources required to support the production system	U=R+N+F <sub>R</sub> +F <sub>N</sub>	ورودی انرژی کل Total energy input
Brown and Ulgiati, 2004	مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد خروجی بر حسب ژول، AE محتوای انرژی محصول است. Amount of energy required to produce an output unit in joules. AE is the energy content.	Tr = U/AE	ضریب تبدیل Transformity
Brown and Ulgiati, 2004	مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد خروجی بر حسب گرم محصول است. Amount of energy required to produce an output unit in g.	SE= U/Yield	انرژی ویژه Specific energy
Odum, 2000	درصد انرژی تجدید پذیر استفاده شده توسط نظام Percentage of the renewable energy used by the system	%R= (R+F <sub>R</sub> /U) ×100	تجدید پذیری انرژی Energy renewability
Odum, 2000	مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد خروجی It is the ratio of the energy required to make a product to the biomass	SE= U/PW	انرژی ویژه Special Energy
Odum, 2000	مقیاس استفاده از منابع محیطی با سرمایه‌گذاری در منابع اقتصادی Ability of a process to use renewable and nonrenewable environmental resources with economic resources as a capital	EYR=Y/F <sub>R</sub> +F <sub>N</sub>	نسبت عملکرد انرژی Energy yield ratio
Brown and Ulgiati, 2004	EIR نسبت منابع انرژی خریداری شده از خارج به کل انرژی محیطی رایگان در نظام EIR is the ratio of energy resources purchased from outside to all free environmental energy in the system	EIR=(F <sub>R</sub> +F <sub>N</sub> )/(R+N)	نسبت سرمایه‌گذاری انرژی Energy investment ratio
Lu et al., 2014	فشار محیطی ایجاد شده توسط یک نظام Environmental pressure produced by a process	ELR=(N+F <sub>N</sub> + F <sub>R</sub> ) / R	نسبت بار زیست محیطی استاندارد Standard environmental loading ratio
Lu et al., 2014	مقیاس اندازه‌گیری پایداری وابستگی خروجی نظام به محیط، هر چه این مقدار بیشتر باشد، پایداری نظام قوی‌تر است. An inverse measure of sustainability	ELR*=(N+F <sub>N</sub> ) / F <sub>R</sub> + (R)	نسبت بار زیست محیطی اصلاح شده Modified environmental loading ratio
Lu et al., 2014	شاخص پایداری متناوب که بر استفاده از منابع تجدید پذیر توأم با حداقل فشار وارده بر محیط زیست متمرکز است. The dependence of the system output on the environment, the greater the value, the stronger the sustainability of the system.	ESI=EYR/ELR	شاخص پایداری انرژی Energy sustainability index
Lu et al., 2014	این شاخص اثر کود شیمیایی، سموم دفع آفات و علف‌کش‌ها را بر ایمنی محصول ارزیابی می‌نماید Alternate sustainability index that focuses on the use of renewable resources with minimal pressure on the environment.	ESI*=(EYR/ELR*)	شاخص پایداری انرژی اصلاح شده Modified environmental sustainability Index
(Xi and Qin, 2009)	این شاخص اثر کود شیمیایی، سموم دفع آفات و علف‌کش‌ها را بر ایمنی محصول ارزیابی می‌نماید It assesses the effect of chemical fertilizer, pesticide and herbicide use on product safety	EIPS=1- [C ÷ (F <sub>N</sub> + F <sub>R</sub> )]	شاخص انرژی سلامت تولید Energy index of agricultural product safety

C = مجموع انرژی علف‌کش، سموم و کود

C= the sum of herbicide, pesticide and fertilizer energy

## نتایج و بحث

## ساختار استفاده از امرژی

جدول ۲ جریان ورودی‌های محیطی رایگان، خریداری‌شده و خروجی‌ها را بر اساس واحدهای فیزیکی برای پنج نظام مختلف تولید گندم، جو، یونجه، هندوانه و خربزه نشان می‌دهد. نهاده‌های ورودی برحسب کسرهای تجدیدپذیری به دو بخش نهاده‌های تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر تقسیم شدند. کل امرژی حمایت‌کننده نظام‌های تولید گندم، جو، یونجه، هندوانه و خربزه به ترتیب  $۱/۵۸ \times ۱۰^{۱۶}$ ،  $۱/۲۸ \times ۱۰^{۱۶}$ ،  $۳/۲۲ \times ۱۰^{۱۶}$ ،  $۱/۳۵ \times ۱۰^{۱۶}$  و  $۱/۴۱ \times ۱۰^{۱۶}$  امژول خورشیدی در هکتار تخمین زده شد (جدول ۳). مقایسه مقادیر امرژی ورودی نظام‌های مورد مطالعه نشان داد که بین پنج نظام مورد مطالعه امرژی کل ورودی در نظام یونجه بیشترین و امرژی کل ورودی به نظام تولید جو کمترین بود. در این مطالعه مصرف زیاد امرژی در تولید یونجه را می‌توان به مصرف بالای آب، کودهای فسفر و آلی، سوخت فسیلی و هزینه بالای بذر نسبت داد. در نظام تولید جو این مقادیر به میزان قابل توجهی پایین‌تر بوده و همچنین میزان مصرف سوخت فسیلی، الکتریسیته و کاربرد ماشین‌آلات موجب گردیده میزان امرژی در این نظام‌ها تفاوت چشم‌گیری با یکدیگر داشته باشند. با توجه به اینکه یونجه گیاهی چندساله محسوب می‌شود و کشت آن در ایران غالباً به صورت آبی (Jahangard et al., 2021) و برداشت آن طی مدت‌زمان زیادی صورت می‌گیرد، لذا از نهاده‌های بیشتری نسبت به سایر نظام‌های تولید بهره‌مند می‌شود. در پژوهشی به بررسی پایداری سه نظام تولید کشاورزی در چین با استفاده از تجزیه و تحلیل امرژی پرداخته شد، نتایج این پژوهش نشان داد علاوه بر کودهای P، N و K، در مزارع قلمستان از مقدار زیادی کود مرکب با ارزش  $۵/۶۴ \times ۱۰^{۱۵}$  امژول خورشیدی در هکتار استفاده می‌گردد (Su et al., 2020). در مطالعه‌ای بر مبنای تحلیل امرژی، جریان ورودی به نظام‌های سنتی جو، گندم و یونجه علوفه‌ای در هندوستان به ترتیب  $۲/۹۴ \times ۱۰^{۱۵}$ ،  $۳/۶۵ \times ۱۰^{۱۵}$  و  $۲/۳۵ \times ۱۰^{۱۵}$  امژول خورشیدی در هکتار گزارش شد (Pellicciardi et al., 2014). نهاده‌های ورودی در پنج نظام مورد مطالعه به نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر (R)، نهاده‌های محیطی تجدیدنپذیر (N)، نهاده‌های خریداری شده تجدیدپذیر (FR) و نهاده‌های خریداری شده تجدیدنپذیر (FN) تقسیم‌بندی شدند.

## نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدپذیر (R)

استفاده مداوم از طبیعت، از جمله نور خورشید، باد، آب باران، برای عملکرد نظام‌های کشاورزی ضروری است (Chen et al., 2018). بالاترین میزان استفاده از نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدپذیر مانند انرژی جنبشی باد مربوط به نظام‌های تولید گندم، جو و یونجه و در نظام‌های تولید هندوانه مربوط به آب رودخانه و خربزه مربوط به تبخیر و تعرق بود. جریان R برای نظام‌های تولید گندم، جو، یونجه، هندوانه و خربزه به ترتیب  $۱/۰۹ \times ۱۰^{۱۵}$ ،  $۸/۹۲ \times ۱۰^{۱۴}$ ،  $۵/۳۱ \times ۱۰^{۱۵}$ ،  $۲/۱۱ \times ۱۰^{۱۵}$  و  $۲/۳۲ \times ۱۰^{۱۵}$  امژول خورشیدی در هکتار بود (جدول ۳). بررسی مقدار R در پنج نظام مورد مطالعه، نشان‌دهنده بهره‌مندی بیشتر نظام تولید یونجه از جریان‌های تجدیدپذیر محیطی به دلیل طولانی بودن دوره رشد و چند چینه بودن آن می‌باشد. از طرفی، دلیل پایین بودن میزان امرژی ورودی در نظام تولید جو را می‌توان به دلیل پایین بودن میزان آب مورد استفاده در این محصول دانست.

در مطالعه‌ای که به بررسی پایداری بوم‌شناختی و معرفی محصولات جدید در الگوی کشت با استفاده از روش امرژی پرداختند، نشان داده شد که گندم، جو، چغندرقد و زعفران به ترتیب  $۱/۵۵$ ،  $۱/۴۹$ ،  $۴/۰۷$  و  $۱/۱۷$  درصد از کل امرژی را از منابع تجدیدپذیر محیطی دریافت نمودند. در این مطالعه سهم بیشتر نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدپذیر در نظام تولید چغندرقد به دلیل دوره رشد طولانی‌تر این محصول گزارش شد (Fallahinejad et al., 2021).

## نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدنپذیر (N)

چهار منبع اصلی تجدیدنپذیر محیطی در این تحقیق، شامل تلفات مواد آلی خاک، فرسایش خاک، آب زیرزمینی و تبخیر و تعریق آب زیرزمینی بود، در تولید محصولات زراعی یک‌ساله، حدود سه‌چهارم مواد آلی اضافه‌شده به خاک به مصرف میکروارگانیزم‌های موجود در خاک می‌رسد و تنها یک‌چهارم باقیمانده در صورت رعایت اصول حفاظت و نگهداری مدتی بیشتر در خاک باقی می‌ماند (Haynes and Naidu, 1998). لذا مواد آلی خاک، منبعی تجدیدنپذیر در نظر گرفته می‌شود. میزان استفاده از نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدنپذیر در نظام‌های تولید گندم، جو، یونجه، هندوانه و خربزه به ترتیب

گیاه در بحث تلفات ماده آلی خاک ( Zahmatkesh *et al.*, 2014) نسبت داد. در نتایج تحقیقی که به بررسی بوم‌نظام‌های سنتی تولید جو، گندم، نخود، خردل و یونجه علوفه‌ای در هندوستان پرداخته شد، مقدار فرسایش خاک  $6/8 \times 10^3$  امژول خورشیدی در هکتار طی سال زراعی بدست آمد ( Pellicciardi *et al.*, 2014).

$6/32 \times 10^{15}$ ،  $4/99 \times 10^{15}$ ،  $1/61 \times 10^{16}$ ،  $6/51 \times 10^{15}$  و  $6/51 \times 10^{15}$  امژول خورشیدی در هکتار بود (جدول ۳) که بیشترین سهم نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدناپذیر مربوط به نظام تولید یونجه و کمترین آن به نظام تولید جو اختصاص داشت. دلیل بالا بودن سهم نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدناپذیر در نظام تولید یونجه را می‌توان به چند چینه بودن

جدول ۲- جریان‌های طبیعی و اقتصادی نظام‌های مختلف تولید شهرستان هیرمند (واحد هکتار در سال)

Table 2- Natural and economic flows of the different production systems of Hیرمند in units ha<sup>-1</sup>

	موارد Items	واحد Unit	نماد Symbol	تجدیدپذیری Ren.	گندم Wheat	جو Barley	یونجه Alfalfa	هندوانه Watermelon	خریزه Melon
ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental inputs (R)	نور خورشید Solar energy	J	J <sub>1</sub>	1	2.70E+13	2.45E+03	6.38E+13	2.35E+13	2.42E+13
	انرژی جنبشی باد Wind kinetic energy	J	J <sub>1</sub>	1	8.57E+11	7.19E+11	4.23E+12	5.17E+11	3.64E+11
	انرژی شیمیایی باران Rain chemical	J	J <sub>1</sub>	1	1.94E+09	1.94E+09	1.94E+09	1.94E+09	1.94E+09
	آب رودخانه River water	J	J <sub>1</sub>	1	1.69E+05	1.69E+05	1.69E+05	1.69E+05	1.69E+05
	تبخیر و تعرق Evapotranspiration	J	J <sub>2</sub>	1	2.38E+10	1.72E+10	6.57E+10	5.78E+10	6.29E+10
	ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر Non-renewable environmental inputs	آب‌های زیرزمینی Ground water	J	J <sub>3</sub>	0	0.00E+00	0.00E+00	3.91E+10	0.00E+00
تبخیر و تعرق Evapotranspiration		J	J <sub>15</sub>	0	0.00E+00	0.00E+00	2.80E+10	0.00E+00	0.00E+00
تلفات ماده آلی و خاک Sil organic matter reduction		J	J <sub>5</sub>	0	2.85E+10	1.90E+10	2.85E+10	2.85E+10	2.85E+10
فرسایش خاک Soil erosion		g	J <sub>5</sub>	0	2.88E+06	2.53E+06	1.06E+06	3.03E+06	3.03E+06
نهاده‌های خریداری شده Purchased inputs (F <sub>R</sub> & F <sub>N</sub> )	نیروی کار Human labor	J	J <sub>11</sub>	0.1	3.90E+08	3.51E+08	8.09E+08	6.24E+08	7.02E+08
	ماشین‌آلات Machinery	g	J <sub>12</sub>	0	5.30E+03	4.64E+03	8.35E+03	5.92E+03	5.92E+03
	سوخت فسیلی و روغن Fossil fuel and lubricant	g	J <sub>7</sub>	0	3.62E+09	1.04E+08	1.68E+10	3.62E+09	3.62E+09
	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	g	J <sub>8</sub>	0	1.50E+05	1.20E+05	2.50E+04	5.00E+04	5.00E+04
	کود فسفر Phosphorus fertilizer	g	J <sub>8</sub>	0	5.00E+04	5.00E+04	1.20E+05	0.00E+00	0.00E+00
	کود پتاسیم Potash fertilizer	g	J <sub>8</sub>	0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	کود میکرو Micro fertilizer	g	J <sub>8</sub>	0	0.00E+00	0.00E+00	2.50E+03	0.00E+00	0.00E+00
	کود آلی Organic Fertilizer	g	J <sub>13</sub>	0	2.50E+06	2.00E+06	6.50E+06	4.00E+06	5.00E+06
	آفت‌کش Pesticide	g	J <sub>13</sub>	0	1.00E+03	1.00E+03	2.00E+03	2.00E+03	2.00E+03
	علف‌کش Herbicide	J	J <sub>13</sub>	0.08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
الکتریسیته Electricity	Rials	J <sub>14</sub>	0	1.26E+08	1.04E+08	8.10E+08	4.32E+08	4.86E+08	
بذر Seed	Rials	J <sub>10</sub>	0.50	4.80E+06	4.50E+06	1.58E+07	2.20E+06	1.86E+06	
خروجی Output (O)	عملکرد اقتصادی* Economic yield	g	J <sub>16</sub>		2.20E+06	1.95E+06	8.00E+06	1.20E+07	8.00E+06
	عملکرد اقتصادی Economic yield	J	J <sub>17</sub>		3.04E+10	2.69E+10	1.18E+11	2.28E+10	1.52E+10
	عملکرد کاه کلش Straw yield	g	J <sub>16</sub>		2.80E+06	2.50E+06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	عملکرد کاه کلش Straw yield	J	J <sub>17</sub>		3.50E+10	3.13E+10			



جدول ۳- تحلیل انرژی و ساختار ورودی نظام‌های مختلف تولیدی شهرستان هیرمند (ام‌ژول خورشیدی در هکتار)

Table 3- Energy synthesis and input structure of the five major agroecosystems in Hirmand (sej ha<sup>-1</sup>)

موارد Items	UEV	گندم Wheat		جو Barley			
	ارزش واحد انرژی Unit Energy Value (sej.unit <sup>-1</sup> )	انرژی Energy	(%)	انرژی Energy	(%)		
نهادهای رایگان محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental inputs (R)	انرژی تابشی خورشید Solar energy	1.00E+00	2.70E+13	0.17%	2.45E+03	0.00%	
	انرژی جنبشی باد Wind, kinetic energy	1.24E+03	1.09E+15	6.88%	8.92E+14	6.96%	
	انرژی شیمیایی باران Rain, chemical	2.25E+04	4.37E+13	0.28%	4.37E+13	0.34%	
	باران، ژئوپتانسیل Rain, geopotential	2.34E+04	3.95E+09	0.00%	3.95E+09	0.00%	
	آب رودخانه River water	3.61E+04	8.59E+14	5.42%	6.21E+14	4.85%	
	تبخیر و تعریق Evapotranspiration	3.64E+04	6.81E+14	4.30%	4.73E+14	3.69%	
	جمع Subtotal		1.09E+15	6.88%	8.92E+14	6.96%	
	نهادهای رایگان محیطی تجدیدناپذیر Non-renewable environmental inputs (N)	آب زیرزمینی Groundwater	2.83E+05	0.00E+00	0.00%	0.00E+00	0.00%
		تبخیر و تعریق آب زیرزمینی Evapotranspiration	3.64E+04	0.00E+00	0.00%	0.00E+00	0.00%
		تلفات ماده آلی خاک SOM reduction	9.36E+04	2.67E+15	16.84%	1.78E+15	13.88%
فرسایش خاک Soil erosion		1.27E+09	3.65E+15	23.05%	3.21E+15	25.03%	
جمع Subtotal			6.32E+15	39.89%	4.99E+15	38.91%	
نهادهای غیر رایگان Purchased inputs (Fr & Fn)	نیروی انسانی Human labor	2.22E+06	8.66E+14	5.47%	7.79E+14	6.08%	
	ماشین‌آلات Machinery	1.01E+10	5.35E+13	0.34%	4.69E+13	0.37%	
	سوخت فسیلی Fossil fuel and lubricant	8.60E+04	3.11E+14	1.97%	8.94E+12	0.07%	
	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	3.09E+10	4.64E+15	29.26%	3.71E+15	28.94%	
	کود فسفر Phosphorus fertilizer	2.82E+10	1.41E+15	8.90%	1.41E+15	11.00%	
	کود پتاس Potash fertilizer	2.23E+09	0.00E+00	0.00%	0.00E+00	0.00%	
	کود میکرو Micro fertilizer	2.05E+10	0.00E+00	0.00%	0.00E+00	0.00%	
	کود آلی Organic Fertilizer	2.96E+08	7.40E+14	4.67%	5.92E+14	4.62%	
	علف‌کش Pesticide	6.30E+10	6.30E+13	0.40%	6.30E+13	0.49%	
	حشره‌کش Herbicide	6.30E+10	0.00E+00	0.00%	0.00E+00	0.00%	
	الکتروسیسته Electricity	2.31E+05	2.91E+13	0.18%	2.40E+13	0.19%	
	بذر Seed	6.76E+07	3.24E+14	2.05%	3.04E+14	2.37%	
	جمع Subtotal	2.18E+11	8.43E+15	53.23%	6.94E+15	54.13%	
	جمع کل Total	2.18E+11	1.58E+16	100.00%	1.28E+16	100.00%	

## ادامه جدول ۳

Continuation of Table 3

موارد Items	UEV ارزش واحد امرژی Unit Energy Value (sej.unit <sup>-1</sup> )	یونجه Alfalfa		هندوانه Watermelon		خریزه Melon		
		امرژی Energy	(%)	امرژی Energy	(%)	امرژی Energy	(%)	
تجهیزات رایگان محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental inputs (R)	انرژی تابشی خورشید Solar energy	1.00E+00	6.38E+13	0.20%	2.35E+13	0.17%	2.42E+13	0.17%
	انرژی جنبشی باد Wind, kinetic energy	1.24E+03	5.31E+15	16.46%	6.41E+14	4.76%	4.51E+14	3.19%
	انرژی شیمیایی باران Rain, chemical	2.25E+04	4.37E+13	0.14%	4.37E+13	0.32%	4.37E+13	0.31%
	باران، ژئوپتانسیل Rain, geopotential	2.34E+04	3.95E+09	0.00%	3.95E+09	0.00%	3.95E+09	0.00%
	آب رودخانه River water	3.61E+04	2.37E+15	7.35%	2.11E+15	15.65%	2.27E+15	16.05%
	تبخیر و تعریق Evapotranspiration	3.64E+04	2.05E+15	6.37%	1.81E+15	13.45%	2.32E+15	16.39%
	جمع Subtotal		5.31E+15	16.46%	2.11E+15	15.65%	2.32E+15	16.39%
	تجهیزات رایگان محیطی Non-renewable environmental inputs (N)	آب زیرزمینی Groundwater	2.83E+05	1.11E+16	34.31%	0.00E+00	0.00%	0.00E+00
تبخیر و تعریق آب زیرزمینی Evapotranspiration		3.64E+04	1.02E+15	3.16%	0.00E+00	0.00%	0.00E+00	0.00%
تلفات ماده آلی خاک SOM reduction		9.36E+04	2.67E+15	8.27%	2.67E+15	19.79%	2.67E+15	18.86%
فرسایش خاک Soil erosion		1.27E+09	1.35E+15	4.18%	3.84E+15	28.50%	3.84E+15	27.16%
جمع Subtotal			1.61E+16	49.93%	6.51E+15	48.29%	6.51E+15	46.01%
تجهیزات غیر رایگان Purchased inputs (F <sub>R</sub> & F <sub>N</sub> )	نیروی انسانی Human labor	2.22E+06	1.80E+15	5.57%	1.39E+15	10.28%	1.56E+15	11.02%
	ماشین‌آلات Machinery	1.01E+10	8.43E+13	0.26%	5.98E+13	0.44%	5.98E+13	0.42%
	سوخت فسیلی Fossil fuel and lubricant	8.60E+04	1.44E+15	4.48%	3.11E+14	2.31%	3.11E+14	2.20%
	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	3.09E+10	7.73E+14	2.40%	1.55E+15	11.46%	1.55E+15	10.92%
	کود فسفر Phosphorus fertilizer	2.82E+10	3.38E+15	10.49%	0.00E+00	0.00%	0.00E+00	0.00%
	کود پتاس Potash fertilizer	2.23E+09	0.00E+00	0.00%	0.00E+00	0.00%	0.00E+00	0.00%
	کود میکرو Micro fertilizer	2.05E+10	5.13E+13	0.16%	0.00E+00	0.00%	0.00E+00	0.00%
	کود آلی Organic Fertilizer	2.96E+08	1.92E+15	5.97%	1.18E+15	8.78%	1.48E+15	10.46%
	علف‌کش Pesticide	6.30E+10	1.26E+14	0.39%	1.26E+14	0.93%	1.26E+14	0.89%
	حشره‌کش Herbicide	6.30E+10	0.00E+00	0.00%	0.00E+00	0.00%	0.00E+00	0.00%
	الکتریسیته Electricity	2.31E+05	1.87E+14	0.58%	9.98E+13	0.74%	1.12E+14	0.79%
	بذر Seed	6.76E+07	1.07E+15	3.31%	1.49E+14	1.10%	1.26E+14	0.89%
	جمع Subtotal	2.18E+11	1.08E+16	33.61%	4.86E+15	36.05%	5.32E+15	37.59%
	جمع کل Total	2.18E+11	3.22E+16	100.00%	1.35E+16	100.00%	1.41E+16	100.00%

مقدار واحد امرژی (UEV) منابع برای شماره ردیف مربوطه: ۱ (تعریف); ۲ (Campbell and Erban, 2017); ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ (Buenfil, 2001); ۸ (Campbell and Erban, 2017); ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ (Brandt-Williams, 2002); ۱۴ و ۱۵ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۶ (Lu and Campbell, 2009); ۱۷ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۸ (Campbell et al., 2005); ۱۹ (Lan et al., 2002); ۲۰ (Odum, 1996); ۲۱ (Cheng et al., 2017); ۲۲ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۳ (Campbell et al., 2005); ۲۴ (Lu and Campbell, 2009); ۲۵ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۶ (Lan et al., 2002); ۲۷ (Cheng et al., 2017); ۲۸ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۹ (Campbell et al., 2005); ۳۰ (Lan et al., 2002); ۳۱ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۲ (Campbell et al., 2005); ۳۳ (Lan et al., 2002); ۳۴ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۵ (Campbell et al., 2005); ۳۶ (Lan et al., 2002); ۳۷ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۸ (Campbell et al., 2005); ۳۹ (Lan et al., 2002); ۴۰ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۴۱ (Campbell et al., 2005); ۴۲ (Lan et al., 2002); ۴۳ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۴۴ (Campbell et al., 2005); ۴۵ (Lan et al., 2002); ۴۶ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۴۷ (Campbell et al., 2005); ۴۸ (Lan et al., 2002); ۴۹ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۵۰ (Campbell et al., 2005); ۵۱ (Lan et al., 2002); ۵۲ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۵۳ (Campbell et al., 2005); ۵۴ (Lan et al., 2002); ۵۵ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۵۶ (Campbell et al., 2005); ۵۷ (Lan et al., 2002); ۵۸ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۵۹ (Campbell et al., 2005); ۶۰ (Lan et al., 2002); ۶۱ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۶۲ (Campbell et al., 2005); ۶۳ (Lan et al., 2002); ۶۴ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۶۵ (Campbell et al., 2005); ۶۶ (Lan et al., 2002); ۶۷ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۶۸ (Campbell et al., 2005); ۶۹ (Lan et al., 2002); ۷۰ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۷۱ (Campbell et al., 2005); ۷۲ (Lan et al., 2002); ۷۳ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۷۴ (Campbell et al., 2005); ۷۵ (Lan et al., 2002); ۷۶ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۷۷ (Campbell et al., 2005); ۷۸ (Lan et al., 2002); ۷۹ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۸۰ (Campbell et al., 2005); ۸۱ (Lan et al., 2002); ۸۲ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۸۳ (Campbell et al., 2005); ۸۴ (Lan et al., 2002); ۸۵ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۸۶ (Campbell et al., 2005); ۸۷ (Lan et al., 2002); ۸۸ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۸۹ (Campbell et al., 2005); ۹۰ (Lan et al., 2002); ۹۱ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۹۲ (Campbell et al., 2005); ۹۳ (Lan et al., 2002); ۹۴ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۹۵ (Campbell et al., 2005); ۹۶ (Lan et al., 2002); ۹۷ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۹۸ (Campbell et al., 2005); ۹۹ (Lan et al., 2002); ۱۰۰ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۰۱ (Campbell et al., 2005); ۱۰۲ (Lan et al., 2002); ۱۰۳ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۰۴ (Campbell et al., 2005); ۱۰۵ (Lan et al., 2002); ۱۰۶ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۰۷ (Campbell et al., 2005); ۱۰۸ (Lan et al., 2002); ۱۰۹ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۱۰ (Campbell et al., 2005); ۱۱۱ (Lan et al., 2002); ۱۱۲ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۱۳ (Campbell et al., 2005); ۱۱۴ (Lan et al., 2002); ۱۱۵ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۱۶ (Campbell et al., 2005); ۱۱۷ (Lan et al., 2002); ۱۱۸ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۱۹ (Campbell et al., 2005); ۱۲۰ (Lan et al., 2002); ۱۲۱ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۲۲ (Campbell et al., 2005); ۱۲۳ (Lan et al., 2002); ۱۲۴ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۲۵ (Campbell et al., 2005); ۱۲۶ (Lan et al., 2002); ۱۲۷ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۲۸ (Campbell et al., 2005); ۱۲۹ (Lan et al., 2002); ۱۳۰ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۳۱ (Campbell et al., 2005); ۱۳۲ (Lan et al., 2002); ۱۳۳ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۳۴ (Campbell et al., 2005); ۱۳۵ (Lan et al., 2002); ۱۳۶ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۳۷ (Campbell et al., 2005); ۱۳۸ (Lan et al., 2002); ۱۳۹ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۴۰ (Campbell et al., 2005); ۱۴۱ (Lan et al., 2002); ۱۴۲ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۴۳ (Campbell et al., 2005); ۱۴۴ (Lan et al., 2002); ۱۴۵ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۴۶ (Campbell et al., 2005); ۱۴۷ (Lan et al., 2002); ۱۴۸ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۴۹ (Campbell et al., 2005); ۱۵۰ (Lan et al., 2002); ۱۵۱ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۵۲ (Campbell et al., 2005); ۱۵۳ (Lan et al., 2002); ۱۵۴ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۵۵ (Campbell et al., 2005); ۱۵۶ (Lan et al., 2002); ۱۵۷ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۵۸ (Campbell et al., 2005); ۱۵۹ (Lan et al., 2002); ۱۶۰ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۶۱ (Campbell et al., 2005); ۱۶۲ (Lan et al., 2002); ۱۶۳ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۶۴ (Campbell et al., 2005); ۱۶۵ (Lan et al., 2002); ۱۶۶ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۶۷ (Campbell et al., 2005); ۱۶۸ (Lan et al., 2002); ۱۶۹ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۷۰ (Campbell et al., 2005); ۱۷۱ (Lan et al., 2002); ۱۷۲ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۷۳ (Campbell et al., 2005); ۱۷۴ (Lan et al., 2002); ۱۷۵ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۷۶ (Campbell et al., 2005); ۱۷۷ (Lan et al., 2002); ۱۷۸ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۷۹ (Campbell et al., 2005); ۱۸۰ (Lan et al., 2002); ۱۸۱ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۸۲ (Campbell et al., 2005); ۱۸۳ (Lan et al., 2002); ۱۸۴ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۸۵ (Campbell et al., 2005); ۱۸۶ (Lan et al., 2002); ۱۸۷ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۸۸ (Campbell et al., 2005); ۱۸۹ (Lan et al., 2002); ۱۹۰ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۹۱ (Campbell et al., 2005); ۱۹۲ (Lan et al., 2002); ۱۹۳ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۹۴ (Campbell et al., 2005); ۱۹۵ (Lan et al., 2002); ۱۹۶ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۱۹۷ (Campbell et al., 2005); ۱۹۸ (Lan et al., 2002); ۱۹۹ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۰۰ (Campbell et al., 2005); ۲۰۱ (Lan et al., 2002); ۲۰۲ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۰۳ (Campbell et al., 2005); ۲۰۴ (Lan et al., 2002); ۲۰۵ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۰۶ (Campbell et al., 2005); ۲۰۷ (Lan et al., 2002); ۲۰۸ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۰۹ (Campbell et al., 2005); ۲۱۰ (Lan et al., 2002); ۲۱۱ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۱۲ (Campbell et al., 2005); ۲۱۳ (Lan et al., 2002); ۲۱۴ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۱۵ (Campbell et al., 2005); ۲۱۶ (Lan et al., 2002); ۲۱۷ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۱۸ (Campbell et al., 2005); ۲۱۹ (Lan et al., 2002); ۲۲۰ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۲۱ (Campbell et al., 2005); ۲۲۲ (Lan et al., 2002); ۲۲۳ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۲۴ (Campbell et al., 2005); ۲۲۵ (Lan et al., 2002); ۲۲۶ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۲۷ (Campbell et al., 2005); ۲۲۸ (Lan et al., 2002); ۲۲۹ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۳۰ (Campbell et al., 2005); ۲۳۱ (Lan et al., 2002); ۲۳۲ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۳۳ (Campbell et al., 2005); ۲۳۴ (Lan et al., 2002); ۲۳۵ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۳۶ (Campbell et al., 2005); ۲۳۷ (Lan et al., 2002); ۲۳۸ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۳۹ (Campbell et al., 2005); ۲۴۰ (Lan et al., 2002); ۲۴۱ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۴۲ (Campbell et al., 2005); ۲۴۳ (Lan et al., 2002); ۲۴۴ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۴۵ (Campbell et al., 2005); ۲۴۶ (Lan et al., 2002); ۲۴۷ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۴۸ (Campbell et al., 2005); ۲۴۹ (Lan et al., 2002); ۲۵۰ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۵۱ (Campbell et al., 2005); ۲۵۲ (Lan et al., 2002); ۲۵۳ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۵۴ (Campbell et al., 2005); ۲۵۵ (Lan et al., 2002); ۲۵۶ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۵۷ (Campbell et al., 2005); ۲۵۸ (Lan et al., 2002); ۲۵۹ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۶۰ (Campbell et al., 2005); ۲۶۱ (Lan et al., 2002); ۲۶۲ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۶۳ (Campbell et al., 2005); ۲۶۴ (Lan et al., 2002); ۲۶۵ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۶۶ (Campbell et al., 2005); ۲۶۷ (Lan et al., 2002); ۲۶۸ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۶۹ (Campbell et al., 2005); ۲۷۰ (Lan et al., 2002); ۲۷۱ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۷۲ (Campbell et al., 2005); ۲۷۳ (Lan et al., 2002); ۲۷۴ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۷۵ (Campbell et al., 2005); ۲۷۶ (Lan et al., 2002); ۲۷۷ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۷۸ (Campbell et al., 2005); ۲۷۹ (Lan et al., 2002); ۲۸۰ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۸۱ (Campbell et al., 2005); ۲۸۲ (Lan et al., 2002); ۲۸۳ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۸۴ (Campbell et al., 2005); ۲۸۵ (Lan et al., 2002); ۲۸۶ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۸۷ (Campbell et al., 2005); ۲۸۸ (Lan et al., 2002); ۲۸۹ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۹۰ (Campbell et al., 2005); ۲۹۱ (Lan et al., 2002); ۲۹۲ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۹۳ (Campbell et al., 2005); ۲۹۴ (Lan et al., 2002); ۲۹۵ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۹۶ (Campbell et al., 2005); ۲۹۷ (Lan et al., 2002); ۲۹۸ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۲۹۹ (Campbell et al., 2005); ۳۰۰ (Lan et al., 2002); ۳۰۱ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۰۲ (Campbell et al., 2005); ۳۰۳ (Lan et al., 2002); ۳۰۴ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۰۵ (Campbell et al., 2005); ۳۰۶ (Lan et al., 2002); ۳۰۷ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۰۸ (Campbell et al., 2005); ۳۰۹ (Lan et al., 2002); ۳۱۰ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۱۱ (Campbell et al., 2005); ۳۱۲ (Lan et al., 2002); ۳۱۳ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۱۴ (Campbell et al., 2005); ۳۱۵ (Lan et al., 2002); ۳۱۶ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۱۷ (Campbell et al., 2005); ۳۱۸ (Lan et al., 2002); ۳۱۹ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۲۰ (Campbell et al., 2005); ۳۲۱ (Lan et al., 2002); ۳۲۲ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۲۳ (Campbell et al., 2005); ۳۲۴ (Lan et al., 2002); ۳۲۵ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۲۶ (Campbell et al., 2005); ۳۲۷ (Lan et al., 2002); ۳۲۸ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۲۹ (Campbell et al., 2005); ۳۳۰ (Lan et al., 2002); ۳۳۱ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۳۲ (Campbell et al., 2005); ۳۳۳ (Lan et al., 2002); ۳۳۴ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۳۵ (Campbell et al., 2005); ۳۳۶ (Lan et al., 2002); ۳۳۷ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۳۸ (Campbell et al., 2005); ۳۳۹ (Lan et al., 2002); ۳۴۰ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۴۱ (Campbell et al., 2005); ۳۴۲ (Lan et al., 2002); ۳۴۳ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۴۴ (Campbell et al., 2005); ۳۴۵ (Lan et al., 2002); ۳۴۶ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۴۷ (Campbell et al., 2005); ۳۴۸ (Lan et al., 2002); ۳۴۹ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۵۰ (Campbell et al., 2005); ۳۵۱ (Lan et al., 2002); ۳۵۲ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۵۳ (Campbell et al., 2005); ۳۵۴ (Lan et al., 2002); ۳۵۵ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۵۶ (Campbell et al., 2005); ۳۵۷ (Lan et al., 2002); ۳۵۸ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۵۹ (Campbell et al., 2005); ۳۶۰ (Lan et al., 2002); ۳۶۱ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۶۲ (Campbell et al., 2005); ۳۶۳ (Lan et al., 2002); ۳۶۴ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۶۵ (Campbell et al., 2005); ۳۶۶ (Lan et al., 2002); ۳۶۷ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۶۸ (Campbell et al., 2005); ۳۶۹ (Lan et al., 2002); ۳۷۰ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۷۱ (Campbell et al., 2005); ۳۷۲ (Lan et al., 2002); ۳۷۳ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۷۴ (Campbell et al., 2005); ۳۷۵ (Lan et al., 2002); ۳۷۶ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۷۷ (Campbell et al., 2005); ۳۷۸ (Lan et al., 2002); ۳۷۹ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۸۰ (Campbell et al., 2005); ۳۸۱ (Lan et al., 2002); ۳۸۲ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۸۳ (Campbell et al., 2005); ۳۸۴ (Lan et al., 2002); ۳۸۵ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۸۶ (Campbell et al., 2005); ۳۸۷ (Lan et al., 2002); ۳۸۸ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۸۹ (Campbell et al., 2005); ۳۹۰ (Lan et al., 2002); ۳۹۱ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۹۲ (Campbell et al., 2005); ۳۹۳ (Lan et al., 2002); ۳۹۴ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۹۵ (Campbell et al., 2005); ۳۹۶ (Lan et al., 2002); ۳۹۷ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۳۹۸ (Campbell et al., 2005); ۳۹۹ (Lan et al., 2002); ۴۰۰ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۴۰۱ (Campbell et al., 2005); ۴۰۲ (Lan et al., 2002); ۴۰۳ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۴۰۴ (Campbell et al., 2005); ۴۰۵ (Lan et al., 2002); ۴۰۶ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۴۰۷ (Campbell et al., 2005); ۴۰۸ (Lan et al., 2002); ۴۰۹ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۴۱۰ (Campbell et al., 2005); ۴۱۱ (Lan et al., 2002); ۴۱۲ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۴۱۳ (Campbell et al., 2005); ۴۱۴ (Lan et al., 2002); ۴۱۵ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۴۱۶ (Campbell et al., 2005); ۴۱۷ (Lan et al., 2002); ۴۱۸ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۴۱۹ (Campbell et al., 2005); ۴۲۰ (Lan et al., 2002); ۴۲۱ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۴۲۲ (Campbell et al., 2005); ۴۲۳ (Lan et al., 2002); ۴۲۴ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۴۲۵ (Campbell et al., 2005); ۴۲۶ (Lan et al., 2002); ۴۲۷ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۴۲۸ (Campbell et al., 2005); ۴۲۹ (Lan et al., 2002); ۴۳۰ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۴۳۱ (Campbell et al., 2005); ۴۳۲ (Lan et al., 2002); ۴۳۳ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۴۳۴ (Campbell et al., 2005); ۴۳۵ (Lan et al., 2002); ۴۳۶ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۴۳۷ (Campbell et al., 2005); ۴۳۸ (Lan et al., 2002); ۴۳۹ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۴۴۰ (Campbell et al., 2005); ۴۴۱ (Lan et al., 2002); ۴۴۲ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۴۴۳ (Campbell et al., 2005); ۴۴۴ (Lan et al., 2002); ۴۴۵ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۴۴۶ (Campbell et al., 2005); ۴۴۷ (Lan et al., 2002); ۴۴۸ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۴۴۹ (Campbell et al., 2005); ۴۵۰ (Lan et al., 2002); ۴۵۱ (Alfaro-Arguello et al., 2010); ۴۵۲ (Campbell et al., 2005); ۴۵۳ (Lan et al., 2002); ۴۵۴ (Alfaro-Arguello

**نهادهای ورودی خریداری شده ( $F_R$  و  $F_N$ )**

نتایج بررسی نهادهای ورودی خریداری شده نشان می‌دهد بالاترین سهم از ورودی‌های نظام‌های گندم و جو مربوط به جریان‌های خریداری شده است. نظام تولید یونجه بیشترین میزان مصرف نهادهای بازاری و نظام تولید هندوانه کمترین میزان از این نهادها را بهره می‌برد. سهم جریان‌های ورودی خریداری شده در نظام‌های تولید گندم، جو، یونجه، هندوانه و خربزه به ترتیب  $۵۳/۲۳$ ،  $۵۴/۱۳$ ،  $۳۳/۶۱$ ،  $۳۶/۰۵$  و  $۳۷/۵۹$  درصد از امرژی ورودی بود (جدول ۳). ساختار و اجزای جریان‌های ورودی خریداری شده در پنج نظام تولید مورد بررسی، با یکدیگر تفاوت داشت. در نظام تولید گندم بیشترین سهم نهادهای خریداری شده مربوط به کود نیتروژن، کود فسفر و نیروی انسانی به ترتیب با سهمی برابر با  $۲۹/۲۶$ ،  $۸/۹۰$ ،  $۵/۴۷$  درصدی؛ نظام تولید جو کود نیتروژن، کود فسفر و نیروی انسانی به ترتیب با سهمی برابر با  $۲۸/۹۴$ ،  $۱۱/۰۰$ ،  $۶/۰۸$  درصدی؛ نظام یونجه کود فسفر، کود آلی و نیروی انسانی به ترتیب با سهمی برابر با  $۱۰/۴۹$ ،  $۵/۹۷$  و  $۵/۵۷$  درصدی؛ نظام تولید هندوانه کود نیتروژن، نیروی انسانی و کود آلی به ترتیب با سهمی برابر با  $۱۱/۴۶$ ،  $۱۰/۲۸$  و  $۸/۷۸$  درصدی و نظام تولید خربزه نیروی انسانی، کود نیتروژن و کود آلی به ترتیب با سهمی برابر با  $۱۱/۰۲$ ،  $۱۰/۹۲$  و  $۱۰/۴۶$  درصدی بود. در همین راستا محققین ابراز داشتند که انواع مختلف کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها سهم عمده‌ای از جریان‌های ورودی خریداری شده ( $F_N$ ) را تشکیل می‌دادند (Su et al., 2010).

**شاخص‌های امرژی**

از شاخص‌های امرژی جهت بررسی میزان کارآیی، تجدیدپذیری، فشار محیطی و پایداری نظام‌های تولید استفاده می‌شود (Brown and Ulgiati, 2004). جدول ۴ بررسی شاخص‌ها و مقایسه بین بوم‌نظام‌های گندم، جو، یونجه، هندوانه و خربزه را نشان می‌دهد. این شاخص‌ها به کمی کردن و شناسایی تأثیرات محیطی، اقتصادی و پایداری آن‌ها می‌پردازد و با استفاده از نتایج آن‌ها تصمیم‌گیرندگان می‌توانند برای در نظر گرفتن مؤثرترین روش مدیریتی در سطح محلی جهت حفظ پایداری و مصرف کارآمد منابع اقدام نمایند (Jafari et al., 2018).

**ضریب تبدیل (Tr)**

بالا بودن ضریب Tr در مقابل تولید یکسان نشان‌دهنده تأثیرگذاری پایین امرژی به لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی می‌باشد (Lu et al., 2010; Odum, 1996). بررسی نظام‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد در نظام‌های تولید گندم، جو، یونجه، هندوانه و خربزه ضریب Tr به ترتیب  $۵/۲۲ \times 10^5$ ،  $۴/۷۶ \times 10^5$ ،  $۲/۷۴ \times 10^5$  و  $۵/۹۱ \times 10^5$  بود که بالاترین میزان آن مربوط به نظام تولید خربزه ( $۹/۳۱ \times 10^5$ ) امژول خورشیدی در ژول) و کمترین آن مربوط به نظام تولید یونجه ( $۲/۷۴ \times 10^5$ ) امژول خورشیدی در ژول) بود و از طرفی میزان شاخص Tr عملکرد گاه در نظام تولید گندم و جو به ترتیب برابر با  $۴/۵۳ \times 10^5$  و  $۴/۱۰ \times 10^5$  امژول خورشیدی در ژول می‌باشد. دلیل اصلی بازده بهتر امرژی ورودی نظام‌های تولید یونجه، میزان بیشتر تولید محصول اقتصادی به دلیل چند چین بودن این محصول دانست.

محققین ضریب Tr را برای نظام‌های تولید گندم، جو، چغندر قند و زعفران به ترتیب  $۷/۱۹ \times 10^5$ ،  $۱/۱۷ \times 10^5$  و  $۲/۹۹ \times 10^8$  امژول خورشیدی در ژول گزارش کردند (Fallahinejad et al., 2020). در مطالعه‌ی دیگری ضریب Tr برای نظام تولید گندم  $۱/۶۳ \times 10^5$  امژول خورشیدی در ژول گزارش گردید (Wang et al., 2014).

**امرژی ویژه (SE)**

شاخص امرژی ویژه (SE)، یکی از مفاهیم اصلی در تئوری انرژی و عاملی برای ارزیابی امرژی واحد زیست‌توده تولیدی در نظام است. SE مقدار امرژی پشتیبان کننده هر واحد بیوماس تولیدی را برحسب واحد جرم، گرم یا کیلوگرم، بیان می‌کند (Chen et al., 2009; Li et al., 2010; Odum et al., 2000; Zhang et al., 2012). هرچه بیوماس تولیدی نظامی به جریان امرژی پشتیبان کننده کمتری در واحد سطح، نیاز داشته باشد، به عبارتی SE کوچک‌تری داشته باشد، تراکم جریان امرژی در آن نظام کمتر است (Pizzigallo et al., 2008). SE محاسبه شده در نظام‌های تولید گندم، جو، یونجه، هندوانه و خربزه به ترتیب  $۷/۲۰ \times 10^9$ ،  $۶/۵۷ \times 10^9$ ،  $۴/۰۳ \times 10^9$ ،  $۱/۱۲ \times 10^9$  و  $۱/۷۷ \times 10^9$  بود و از طرفی میزان شاخص SE عملکرد گاه در نظام تولید گندم و جو به ترتیب برابر با  $۵/۶۶ \times 10^9$  و  $۵/۱۳ \times 10^9$

گرم گزارش شد. در این مطالعه دلیل بزرگی SE شاهد، مربوط به عملکرد کم آن نسبت به تیمارهای اصلاحی است (Moonilall *et al.*, 2020).

امژول خورشیدی در گرم می‌باشد. در مطالعه‌ای SE محاسبه شده برای باگاس نیشکر، کود مرغی، پوسته برنج، کود شیمیایی و شاهد به ترتیب  $۱/۷۳ \times ۱۰^{۱۰}$ ،  $۳/۴۹ \times ۱۰^{۱۰}$ ،  $۳/۲۲ \times ۱۰^{۱۰}$  و  $۱/۴۴ \times ۱۰^{۱۱}$  امژول خورشیدی در

جدول ۴- شاخص‌های مبتنی بر امرژی در نظام‌های مختلف تولید هیرمند

Table 4 - Emergy-based indices of the different production systems of Hirmand

شاخص‌ها Indices	واحد Unit	گندم Wheat	جو Barley	یونجه Alfalfa	هندوانه Watermelon	خریزه Melon
ضریب تبدیل عملکرد اقتصادی Transformity for economic yield	sej J <sup>-1</sup>	5.22E+05	4.76E+05	2.74E+05	5.91E+05	9.31E+05
ضریب تبدیل عملکرد کاه Transformity for straw yield	sej J <sup>-1</sup>	4.53E+05	4.10E+05			
امرژی ویژه عملکرد اقتصادی Specific emergy for economic yield	sej g <sup>-1</sup>	7.20E+09	6.57E+09	4.03E+09	1.12E+09	1.77E+09
امرژی ویژه عملکرد کاه Specific emergy for straw yield	sej g <sup>-1</sup>	5.66E+09	5.13E+09			
درصد تجدیدپذیری امرژی (R) Emergy renewability (R)	%	8.78	8.98	18.92	18.71	19.82
نسبت عملکرد امرژی (EYR) Emergy yield ratio (EYR)		1.879	1.847	2.975	2.774	2.660
نسبت سرمایه گذاری امرژی (EIR) Emergy investment ratio (EIR)		1.138	1.180	0.506	0.564	0.602
نسبت بار محیط‌زیستی استاندارد (ELR) Standard environmental loading ratio (ELR)		13.537	13.371	5.074	5.388	5.100
نسبت بار محیط‌زیستی اصلاح شده (ELR*) Modified environmental loading ratio (ELR*)		0.096	0.099	0.233	0.230	0.247
شاخص پایداری محیط‌زیست استاندارد (ESI) Emergy sustainability index (ESI)		0.139	0.138	0.586	0.515	0.522
شاخص پایداری محیط‌زیست اصلاح شده (ESI*) Modified environmental sustainability Index (ESI*)		19.512	18.727	12.755	12.050	10.760
شاخص امرژی سلامت تولید (EIPS) Emergy index of agricultural product safety (EIPS)		0.993	0.991	0.988	0.974	0.976

(and Rydberg, 2003). در این پژوهش تجدیدپذیری امرژی نظام‌های تولید گندم، جو، یونجه، هندوانه و خربزه به ترتیب ۸/۷۸، ۸/۹۸، ۱۸/۹۲، ۱۸/۷۱ و ۱۹/۸۲ درصد به دست آمد. بزرگ‌تر بودن %R نظام خربزه نسبت به سایر نظام‌های مورد بررسی به دلیل سهم زیاد استفاده از ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر و استفاده از کود آلی بود. در مطالعه حاضر کمترین %R در بین پنج نظام زراعی به نظام گندم تعلق داشت که بیانگر آن است که در این نظام درصد بالایی از امرژی مورد استفاده به منابع تجدیدناپذیر محیطی وابسته است. پایین بودن میزان %R نظام گندم می‌تواند حاکی از ناپایداری این نظام باشد. در

### شاخص درصد تجدیدپذیری امرژی (%R)

بر اساس شاخص کسرهای تجدیدپذیر، نظام‌هایی با درصد زیادی از منابع ورودی تجدیدپذیر قابل‌شناسایی هستند. این‌ها به احتمال زیاد پایدارتر از نظام‌هایی هستند که از انرژی تجدیدناپذیر بیشتری استفاده می‌کنند (Zhang *et al.*, 2012)، می‌توان گفت، هر چه استفاده از منابع (نهاده‌ها) محیطی تجدیدپذیر در نظام تولید بیشتر باشد، آن نظام از پایداری بالاتری بهره می‌برد. در درازمدت برای موفقیت یک نظام تولیدی می‌بایست مقدار استفاده از منابع تجدیدناپذیر نسبت به منابع تجدیدپذیر کمتر باشد (Brown and Ulgiati, 2004; Lefroy)

خریزه به ترتیب ۱/۱۳، ۱/۱۸، ۰/۵۰، ۰/۵۶ و ۰/۶۰ بود. نظام تولید جو بالاترین و نظام تولید یونجه پایین‌ترین میزان شاخص EIR در بین نظام‌های موردبررسی را به خود اختصاص دادند. در نظام‌های تولید جو و گندم جریان ورودی کود نیتروژن، کود فسفر و نیروی انسانی بیشترین درصد از کل امرژی‌های ورودی را به خود اختصاص دادند و کمترین مقدار شاخص EIR در نظام تولید یونجه به دلیل بهره‌مندی بیشتر از نهاده‌های رایگان محیطی تجدید پذیر بود (جدول ۳). با استفاده از روش‌های مدیریتی در بحث مصرف کود آلی و کاهش مصرف کودهای شیمیایی، همچنین کاربرد ماشین‌آلات مناسب جهت شخم در مزارع تولید گندم و جو EIR در این نظام‌ها را از طریق کاهش جریان ورودی خریداری شده می‌توان بهبود بخشید.

میانگین EIR در جهان و ایران به ترتیب ۱/۵۸ و ۰/۱۵ گزارش شده است. با توجه به نتایج یک پژوهشی مقادیر EIR نظام‌های تولید گندم، جو و چغندر قند در مقایسه با متوسط ارزش ایران بالاتر بود و از طرفی مقدار این شاخص در نظام تولید زعفران در مقایسه با متوسط جهانی بالاتر بود. برای نظام‌های مختلف تولید، مقادیر مختلف EIR گزارش شده است (Fallahinejad *et al.*, 2020). به‌عنوان مثال، EIR بسته به آب‌وهوا برای گندم ۴/۱۵-۷/۱۸ گزارش شده است (Zhao *et al.*, 2019). EIR در موز ۱۳/۹۶ (De Barros *et al.*, 2009)، در انگور ۵۱/۳۳ (Feng *et al.*, 2013)، در کلم ۱۹/۰۳، در گندم و پنبه ۱/۳۰، در جو دوسر ۱/۳۱، در سیب‌زمینی ۲۷/۱۸ (Zhai *et al.*, 2017) و در سویا ۱/۲۵ (Cavalett and Ortega, 2009) بود.

### نسبت بار محیط‌زیستی استاندارد (ELR) و اصلاح شده (ELR\*)

شاخص ELR نشان‌دهنده نسبت مجموع امرژی نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدناپذیر و نهاده‌های خریداری‌شده تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر به نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدپذیر می‌باشد (Asgharipour *et al.*, 2019). این شاخص اندازه‌گیری فشار محیطی ناشی از فعالیت‌های تولید اقتصادی است و به‌عنوان شاخص فشار بالقوه انسانی ناشی از یک فرایند معین بر محیط‌زیست در نظر گرفته می‌شود. مقادیر بالاتر این شاخص نشان‌دهنده فشار بیشتر محیطی بر بوم‌نظام‌های محلی

مطالعه‌ای میزان شاخص R% برای بوم‌نظام تولید متداول ذرت علوفه‌ای در دانمارک، ۱۶ درصد گزارش شد (Ghaley and Porter, 2013). همچنین این شاخص در انگور یاقوتی، ۶۴/۹۴ درصد (Koochkan *et al.*, 2018)، برای ذرت ۲۷ درصد و برای سویا ۳۵/۳۶ درصد (Cavalett and Ortega, 2009) بود. در مطالعه‌ای دیگری R% در مقایسه پایداری نظام تولید تجاری و معیشتی تولید کلزا به ترتیب برابر ۵/۳۰ و ۱۹/۹۰ گزارش شد (Amiri *et al.*, 2019).

### نسبت عملکرد امرژی (EYR)

EYR نسبت کل امرژی به تمام ورودی‌های خریداری‌شده است. EYR بالاتر، نسبت بیشتری از منابع امرژی رایگان مورد استفاده در این فرآیند را نشان می‌دهد (Brown and Ulgiati, 2004; Odum *et al.*, 2000). مقدار شاخص EYR نظام‌های تولید گندم، جو، یونجه، هندوانه و خربزه به ترتیب ۱/۸۷، ۱/۸۴، ۲/۹۷، ۲/۷۷ و ۲/۶۶ بود. نظام تولید یونجه بالاترین میزان شاخص EYR در بین نظام‌های موردبررسی را به خود اختصاص داد که این امر به دلیل سهم بیشتر ورودی‌های تجدیدناپذیر محیطی (۴۹/۹۳ درصد از کل امرژی ورودی این نظام) در مقایسه با سایر نظام‌ها بود (جدول ۳). میانگین جهانی شاخص EYR ۷/۳۸ و برای ایران ۷/۷۲ است (Jafari *et al.*, 2018). در بررسی امرژی پرتقال در ایتالیا مقدار شاخص EYR ۱/۵ گزارش گردید (La Rosa *et al.*, 2008). همچنین در پژوهشی که در جنوب چین بر روی انگور انجام گرفت میزان این شاخص ۱/۰۷ گزارش شد (Feng *et al.*, 2013).

### نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR)

EIR نسبت کل ورودی‌های امرژی غیر رایگان به کل ورودی‌های رایگان را بررسی می‌کند؛ به عبارت دیگر، این شاخص میزان وابستگی نظام کشاورزی به منابع طبیعی و سطح توسعه اقتصادی را نشان می‌دهد (Asgharipour *et al.*, 2019). EIR و EYR دو شاخص مشابه هستند که میزان استفاده از منابع رایگان را به روش‌های مختلف بیان می‌کنند. با این حال، ارزش کم EIR نشان‌دهنده میزان شدید وابستگی نظام به منابع محیطی و سطوح پایین هزینه اقتصادی است (Odum *et al.*, 2000). مقدار شاخص EIR نظام‌های تولید گندم، جو، یونجه، هندوانه و

می‌کند (Brown and Ulgiati, 2004). در این پژوهش، ESI برای نظام‌های تولید گندم، جو، یونجه، هندوانه و خربزه به ترتیب ۰/۱۳۹، ۰/۱۳۸، ۰/۵۸۶، ۰/۵۱۵ و ۰/۵۲۲ بود و شاخص ESI\* نیز برای این نظام‌ها به ترتیب ۱۹/۵۱، ۱۸/۷۲، ۱۲/۷۵، ۱۲/۰۵ و ۱۰/۷۶ محاسبه گردید که بالاترین میزان شاخص ESI در نظام یونجه و پایین‌ترین مقدار آن در نظام تولید جو دیده می‌شود. از آنجایی که در پنج نظام مورد مطالعه ESI کمتر از یک بود، لذا می‌توان گفت، هر پنج نظام مورد مطالعه از پایداری مطلوبی برخوردار نمی‌باشند. با کاهش دادن ورودی‌های خریداری‌شده می‌توان موجب بالا رفتن جریان ورودی‌های رایگان محیطی به‌ویژه از منبع تجدیدپذیر گردید که منجر به بهبود شاخص ESI می‌شود، در همین راستا بالا بودن سهم شاخص ESI در نظام تولید یونجه را می‌توان به دریافت مقدار بیشتر از ورودی رایگان محیطی تجدیدپذیر (R) و تخصیص میزان زیادی از ورودی‌های خریداری‌شده تجدیدپذیر در این نظام، نسبت داد.

محققین ابراز داشتند مقادیر بیشتر از ۱۰ دارای حداقل فشار، مقادیر بین ۱ تا ۱۰ دارای پتانسیل خوب هستند، در حالی که مقادیر کمتر از ۱ نشان‌دهنده استفاده بیش‌ازحد از منابع و تأثیرات زیست‌محیطی زیاد است که برای بقا نیاز به انرژی زیادی دارد. شاخص ESI نشان‌دهنده پایداری یک سیستم تولید است (Ulgiati and Brown, 2019). هرچه سهم منابع تجدیدپذیر بیشتر از منابع تجدید ناپذیر باشد، ESI بالاتر و مطلوب‌تر است. این شاخص می‌تواند در شناسایی بوم‌نظام‌های زراعی که ضرر کمتری به محیط‌زیست دارند و برای تولید به منابع تجدیدپذیر محلی وابسته هستند مفید باشد. در مطالعه‌ای امروزی نظام‌های مختلف تولید در فلوریدا بررسی شد و ESI به ترتیب ۰/۶۸ و ۰/۱۶ برای جو و سیب‌زمینی گزارش گردید (Brandt-Williams, 2002). ارزش این شاخص برای سیستم تولید برنج در چین ۱/۸۳ بود (Lu et al., 2010). این شاخص برای گندم، کتان و جو به ترتیب ۱/۱۳۹۸، ۱/۱۳۹۵ و ۱/۱۲۸۹ گزارش شده است (Zhai et al., 2017).

### شاخص امرژی سلامت تولید (EIPS)

شاخص امرژی سلامت (EIPS) سلامت محصولات را از نظر ورودی کودهای شیمیایی و علف‌کش ارزیابی می‌کند. هرچه EIPS بالاتر باشد، سلامت محصولات تولیدی بیشتر است (Xi

به دلیل استفاده از منابع تجدیدناپذیر است (Odum et al., 2000).

مقادیر ELR در مطالعه حاضر برای نظام تولید گندم، جو، یونجه، هندوانه و خربزه به ترتیب ۱۳/۵۳، ۱۳/۳۷، ۵/۰۷، ۵/۳۸ و ۵/۱۰ محاسبه گردید. همچنین ESI\* برای نظام گندم، جو، یونجه، هندوانه و خربزه به ترتیب ۰/۰۹، ۰/۰۹، ۰/۲۳، ۰/۲۳ و ۰/۲۴ بود. با توجه به مقادیر ELR و ESI\* به‌دست‌آمده در این پژوهش، فشار وارده بر محیط‌زیست از طرف نظام‌های گندم و یونجه به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین بود. در تولید یونجه با توجه به اینکه بیشترین استفاده از نهاده‌های رایگان محیطی (R) و کاربرد کود آلی را دارد این نظام فشار کمتری بر محیط‌زیست اعمال می‌نماید. از طرفی استفاده از منابع رایگان محیطی تجدیدناپذیر (N) در نظام تولید گندم و کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر موجب افزایش فشار محیطی گردیده است.

به‌طور کلی، مقادیر پایین‌تر از دو نشان‌دهنده فشار پایین محیطی، مقادیر بین دو تا ده نشان‌دهنده فشار متوسط محیطی و مقادیر ELR بیشتر از ده نشان‌دهنده فشار بالای محیطی می‌باشد (Brown and Ulgiati, 2004). فشار زیاد محیطی می‌تواند ناشی از مصرف مقادیر بالای ورودی‌های تجدید ناپذیر در مقیاس فضایی کوچک باشد که نمی‌توان تأثیر آن را کاهش داد (Cavalett and Ortega, 2009). در مطالعه‌ای ارزش ELR در نظام‌های تولید معیشتی و تجاری کلزا به ترتیب ۱۹/۷۵ و ۱۲/۶۸ بود و مقادیر ESI\* در دو نظام مورد مطالعه ۱۷/۸۵ و ۴ گزارش شده است (Amiri et al., 2019). با توجه به نتایج یک مطالعه که به ارزیابی پایداری سه‌نظام تولید لوتوس خالص، لوتوس-میگو و لوتوس-ماهی پرداخته شد، مقادیر ESI\* را برای آن‌ها به ترتیب ۲/۳، ۲/۸ و ۲/۴ گزارش شد. در مطالعه آن‌ها نظام تولید لوتوس خالص، نسبت به دو نظام دیگر، پایدارتر ارزیابی گردید (Agostinho et al., 2008).

### شاخص پایداری امرژی استاندارد (ESI) و نسخه اصلاح‌شده (ESI\*)

شاخص ESI یک ترکیبی است که از تقسیم شاخص EYR بر ELR به دست می‌آید (Amiri et al., 2019). این شاخص مزایای به‌دست‌آمده از یک نظام در واحد سطح را اندازه‌گیری

آلی دارای بالاترین و نظام تولید گندم به دلیل وابستگی بیشتر به منابع تجدیدناپذیر محیطی دارای پایین‌ترین میزان شاخص R بودند. با توجه به مقادیر EIR در مطالعه حاضر، نظام تولید جو بالاترین و نظام تولید یونجه پایین‌ترین میزان این شاخص را در بین نظام‌های موردبررسی دارا بودند، در نظام‌های تولید جو و گندم جریان ورودی کودهای شیمیایی و نیروی انسانی بیشترین درصد از کل امرژی‌های ورودی را به خود اختصاص دادند و کمترین مقدار شاخص EIR به دلیل بهره‌مندی بیشتر از نهاده‌های رایگان محیطی تجدید پذیر به‌نظام تولید یونجه تعلق داشت. در بررسی نسبت بار محیط‌زیستی نظام‌های مورد مطالعه مشاهده شد که در نظام‌های تولید گندم به علت استفاده بیشتر از نهاده‌های رایگان محیطی تجدید ناپذیر و مصرف کودهای شیمیایی و یونجه به دلیل کاربرد بیشتر نهاده‌های رایگان محیطی از بالاترین و پایین‌ترین میزان این شاخص برخوردار بودند. بر مبنای شاخص امرژی سلامت تولید (EIPS) نظام تولید یونجه بالاترین و نظام تولید هندوانه پایین‌ترین سطح سلامت تولید محصولات را در بین نظام‌های مورد مطالعه داشتند. از آنجایی که ورودی کود شیمیایی و علف‌کش مهم‌ترین عامل در شاخص EIPS است پایین بودن این شاخص در نظام تولید هندوانه به دلیل بالا بودن سهم ورودی کودهای شیمیایی و علف‌کش در این نظام است.

در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا از جمله ایران، حفظ باروری و پایداری وضعیت خاک به‌عنوان یکی از چالش‌های اصلی پایداری نظام‌های زراعی شناخته شده است. از آنجایی که خاک‌های منطقه مورد مطالعه ماده آلی پایینی دارند، کشت گیاهانی همچون یونجه در این منطقه به دلیل چندساله بودن، داشتن توانایی هم‌زیستی با باکتری‌های ریزوبیوم و تثبیت زیستی نیتروژن و داشتن ریشه‌های عمیق موجب افزایش حاصل خیزی خاک می‌شود. این امر موجب پایداری نظام تولیدی از طریق بهبود عملکرد اقتصادی کشاورزان، باروری، حاصلخیزی و بهبود ساختمان خاک می‌شود.

## References

Agostinho, F., Diniz, G., Siche, R. and Ortega, E. 2008. The use of emergy assessment and the Geographical Information System in the diagnosis of small family farms in Brazil. *Ecological Modelling*, 210: 37-57.

and Qin, 2009). شاخص EIPS برای نظام‌های تولید گندم، جو، یونجه، هندوانه و خربزه به ترتیب ۰/۹۹۳، ۰/۹۹۱، ۰/۹۹۸، ۰/۹۷۴ و ۰/۹۷۶ بود، با توجه به نتایج شاخص EIPS سلامت محصول تولیدشده در نظام یونجه از سایر نظام‌ها بالاتر و نظام هندوانه پایین‌ترین سطح سلامت تولید محصولات را در بین نظام‌های مورد مطالعه دارد.

از آنجایی که ورودی کود شیمیایی و علف‌کش مهم‌ترین عامل در شاخص EIPS است، پایین بودن شاخص EIPS در نظام تولید هندوانه را می‌توان ناشی از بالا بودن سهم ورودی کود نیتروژن و علف‌کش در این نظام دانست. در مطالعه‌های دیگر امرژی در سه‌نظام پرورش غاز- کشت ذرت، کشت سنتی ذرت، تناوب گندم- نخود میزان شاخص EIPS را برای این محصولات به ترتیب ۰/۹۷، ۰/۹۱ و ۰/۹۴ اعلام نمودند ( Guan et al., 2016). در بررسی پایداری نظام زراعی و رویشگاه طبیعی تولید موسیر در شهرستان الشتر، استان لرستان بر پایه تحلیل امرژی نشان داده شد که برابری کیفیت موسیر تولیدی در نظام زراعی مورد مطالعه با کیفیت محصول رویشگاه طبیعی بر مبنای شاخص امرژی سلامت تولید (EIPS) بود (Azizi et al., 2022).

## نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه با هدف تحلیل امرژی پنج نظام تولید گندم، جو، یونجه، هندوانه و خربزه در شهرستان هیرمند انجام گردید و توسط تحلیل امرژی، مقایسه پنج نظام موردنظر صورت پذیرفت. نتایج سنجش شاخص Tr نشان‌دهنده آن بود که نظام تولید خربزه بالاترین و نظام تولید یونجه پایین‌ترین میزان را به خود اختصاص دادند؛ نظام تولید یونجه به دلیل میزان تولید بالای محصول اقتصادی در واحد سطح نسبت به امرژی ورودی از برتری نسبت به سایر نظام‌ها در این شاخص برخوردار بود. در بررسی شاخص R مشاهده شد که نظام تولید خربزه به دلیل سهم بیشتر استفاده از ورودی‌های محیطی تجدید پذیر و کود

- Alfaro-Arguello, R., Diemont, S.A., Ferguson, B.G., Martin, J.F., Nahed-Toral, J., Álvarez-Solís, J.D. and Ruíz, R.P.** 2010. Steps toward sustainable ranching: An emergy evaluation of conventional and holistic management in Chiapas, Mexico. *Agricultural Systems*, 103: 639-646.
- Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E. and Armin, M.** 2019. A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran, based on emergy and economic analyses. *Journal of Cleaner Production*, 226: 1051-1066.
- Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E., Azizi, K., Kakolvand, E. and Moghadam, E.H.** 2021. Conservation agriculture, a selective model based on emergy analysis for sustainable production of shallot as a medicinal-industrial plant. *Journal of Cleaner Production*, 292: 126000.
- Asgharipour, M.R., Amiri, Z. and Campbell, D.E.** 2020. Evaluation of the sustainability of four greenhouse vegetable production ecosystems based on an analysis of emergy and social characteristics. *Ecological Modelling*, 424: 109021.
- Asgharipour, M.R., Shahgholi, H., Campbell, D.E., Khamari, I. and Ghadiri, A.** 2019. Comparison of the sustainability of bean production systems based on emergy and economic analyses. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191: 1-21.
- Astanboos, N. and Parvian, N.** 2021. Green management, a solution for sustainable development. Paper presented at: 1<sup>st</sup> Conference on Architecture, Civil Engineering, Environment and Agriculture.
- Azizi, K., Asgharipour, M.R., Amiri, Z., Campbell, D. and Kakolvand, E.** 2022. Comparison of Sustainability in Agroecosystem and Natural Habitat of Shallot Based in Aleshtar, Lorestan province based on Emergy Analysis. *Journal of Agricultural Science and Sustainable. Production* Online publishing.
- Brandt-Williams, S.L.** 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, M. and Ulgiati, S.** 1997. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecological Engineering*, 9: 51-69.
- Brown, M.T. and Ulgiati, S.** 2004. Energy quality, emergy, and transformity: H.T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems. *Ecological Modelling*, 178: 201-213.
- Buenfil, A.** 2001. Emergy Evaluation of Water (Ph. D. dissertation). *University of Florida*, 264.
- Campbell, D.E., Brandt-Williams, S.L. and Meisch, M.E.** 2005. *Environmental accounting using emergy: Evaluation of the state of West Virginia* (US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development).
- Campbell, D.E. and Erban, L.E.** 2017. A reexamination of the emergy input to a system from the wind. *Emergy Synthesis*, 9: 13-20.
- Cavalett, O. and Ortega, E.** 2009. Emergy, nutrients balance, and economic assessment of soybean production and industrialization in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 17: 762-771.
- Chen, B., Chen, Z., Zhou, Y., Zhou, J. and Chen, G.** 2009. Emergy as embodied energy based assessment for local sustainability of a constructed wetland in Beijing. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 1(4): 622-635.
- Chen, W., Geng, Y., Dong, H., Tian, X., Zhong, S., Wu, Q., Xu, Y., Zhang, Q. and Li, S.** 2018. An emergy accounting based regional sustainability evaluation: A case of Qinghai in China. *Ecological Indicators*, 88: 152-160.
- Chen, W., Zhong, S., Geng, Y., Chen, Y., Cui, X., Wu, Q., Pan, H., Wu, R., Sun, L. and Tian, X.** 2017. Emergy based sustainability evaluation for Yunnan Province, China. *Journal of Cleaner Production*, 162: 1388-1397.



- Cheng, H., Chen, C., Wu, S., Mirza, Z.A. and Liu, Z.** 2017. Emergy evaluation of cropping, poultry rearing, and fish raising systems in the drawdown zone of Three Gorges Reservoir of China. *Journal of Cleaner Production*, 144: 559-571.
- Cochran, W.** 1977. *Sampling Techniques 3rd Edition* (New York: Wiley publishers).
- 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 & Environment*, 129: 437-449.
- Fallahinejad, S., Armin, M. and Asgharipour, M.R.** 2021. A survey on the ecological sustainability of introducing new crops in the cropping pattern using emergy approach. *Current Research in Environmental Sustainability*, 3: 100083.
- Fan, J., McConkey, B.G., Janzen, H.H. and Miller, P.R.** 2018. Emergy and energy analysis as an integrative indicator of sustainability: A case study in semi-arid Canadian farmlands. *Journal of Cleaner Production*, 172: 428-437.
- Feng, J.Y., Lu, S.Z., Fu, Z.T. and Tian, D.** 2013. Emergy analysis of protected grape production system in China. Paper presented at: Advanced Materials Research (Trans Tech Publ).
- Ghaley, B.B. and Porter, J.R.** 2013. Emergy synthesis of a combined food and energy production system compared to a conventional wheat (*Triticum aestivum*) production system. *Ecological Indicators*, 24: 534-542.
- Guan, F.-c., Sha, Z.-p., Zhang, Y.-y., Wang, J.-f. and Wang, C.** 2016. Emergy assessment of three home courtyard agriculture production systems in Tibet Autonomous Region, China. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*, 17: 628-639.
- Hashemi Beni, O., Salehi, M. H. and Beigi Harchegani, H.** 2010. Estimation of soil organic matter by loss-on-ignition procedure in four major plains of Chaharmahal-va-Bakhtiari Province. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 13(50): 77-89. (In Persian)
- Haynes, R.J. and Naidu, R.** 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 51: 123-137.
- Houshyar, E., Wu, X. and Chen, G.** 2018. Sustainability of wheat and maize production in the warm climate of southwestern Iran: an emergy analysis. *Journal of Cleaner Production*, 172: 2246-2255.
- 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.
- Jahangard, H., Salami, H., Shahnoushi, N., Kazemnejad, M. and Sabuhi, M.** 2021. Economic evaluation and analysis of the effects of climate change on alfalfa yield in Iran (With drought mitigation approach). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 52: 201-213. (In Persian)
- Karim, M.H., Sepahian, A., Hosseini, S.M. and Dadras Moghaddam, M.** 2020. Comparative advantage of mango production in the villages of southeastern Iran. *Quarterly Journal of Space Economics and Rural Development*, 8: 1-18. (In Persian)
- Khosravipour, B. and Soleimani Harooni, K.** 2019. Commercialization of agriculture in contrast with sustainable development. *Geography and Human Relationships*, 2: 423-434. (In Persian)
- Koohkan, S.A., Ghanbari, A., Asgharipour, M.R. and Fakheri, B.A.** 2018. Emergy analysis of greenhouse cucumber production in Sistan region. *International Journal of Agricultural Management and Development*, 8: 377-387. (In Persian)
- La Rosa, A., Siracusa, G. and Cavallaro, R.** 2008. Emergy evaluation of Sicilian red orange production. A comparison between organic and conventional farming. *Journal of Cleaner Production*, 16: 1907-1914.

- Laborde, J.P., Wortmann, C.S., Blanco-Canqui, H., Baigorría, G.A. and Lindquist, J.L.** 2020. Identifying the drivers and predicting the outcome of conservation agriculture globally. *Agricultural Systems*, 177: 102692.
- Lan, S.-F., Qin, P. and Lu, H.** 2002. *Emergy analysis of eco-economic system* (Beijing: Chemical Industry Press).
- Lefroy, E. and Rydberg, T.** 2003. Emergy evaluation of three cropping systems in southwestern Australia. *Ecological Modelling*, 161: 195-211.
- Li, L., Lu, H., Campbell, D.E. and Ren, H.** 2010. Emergy algebra: Improving matrix methods for calculating transformities. *Ecological Modelling*, 221: 411-422.
- 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., 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: 2727-2735.
- 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: 2589-2600.
- Mirshakari, S., Dahmardeh, M., Asghari Pour, M.R., Ghanbari, A. and SeyedAbadi, E.** 2021. Sustainability assessment of six crop production systems based on emergy and economic analysis in Hirmand city. *Journal of Agroecology*, 13(3): 539-561. (In Persian).
- Mohammadi, Y., Shalalvand, M. and Rezapour, K.** 2018. Determining an optimal agronomic cropping pattern in productive units by analyzing the regional and national comparative advantages. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 49: 719-734. (In Persian)
- Moonilall, N.I., Homenauth, O. and Lal, R.** 2020. Emergy analysis for maize fields under different amendment applications in Guyana. *Journal of Cleaner Production*, 258: 120761.
- Odum, H.** 1996. *Environmental Accounting (Emergy and Environmental Decision Making) 1996*. New York, USA.
- Odum, H.T.** 1988. Self-organization, transformity, and information. *Science*, 242: 1132-1139.
- Odum, H.T., Brown, M.T. and Brand-Williams, S.L.** 2000. *Handbook of Emergy Evaluation: Folio: Introduction and Global Budget*. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, FL, USA.
- Odum, H.T. and Nilsson, P.** 1997. Environmental Accounting--EMERGY and Environmental Decision Making. *Forest Science*, 43: 305-305.
- Pellicciardi, V., Varvaro, L. and Pulselli, F.M.** 2014. Emergy evaluation of a traditional farming system. Case study: Leh District (Ladakh-Indian Trans-Himalaya). *European Journal of Sustainable Development*, 3: 1-8.
- Pizzigallo, A., Granai, C. and Borsa, S.** 2008. The joint use of LCA and emergy evaluation for the analysis of two Italian wine farms. *Journal of Environmental Management*, 86: 396-406.
- SardarShahreky, A.** 2016. Optimal allocation of water resources in Helmand Basin using game theory and evaluation of management scenarios. In Faculty of Management and Economics (Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran). (In Persian)
- Soloki, H., Khomehchian, M., Hafezi Moghaddas, N. and Alavi Panah, S.K.** 2010. Study of wind erosion in Sistan plain and its effects on engineering properties of soils. *Scientific Quarterly Journal of Iranian Association of Engineering Geology*, 2: 13-26. (In Persian)

- Su, Y., He, S., Wang, K., Shahtahmassebi, A.R., Zhang, L., Zhang, J., Zhang, M. and Gan, M. 2020. Quantifying the sustainability of three types of agricultural production in China: An emergy analysis with the integration of environmental pollution. *Journal of Cleaner Production*, 252: 119650.
- Sistan and Baluchestan Province Statistical Yearbook, 1397 (Iranian Year) [2018-2019], 2016. Publisher: Statistical Centre of Iran, p. 610. (In Persian)
- Ulgiati, S. and Brown, M.T. 2009. Emergy and ecosystem complexity. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 14: 310-321.
- Ulgiati, S., Odum, H.T. and Bastianoni, S. 1994. Emergy use, environmental loading and sustainability an emergy analysis of Italy. *Ecological Modelling*, 73: 215-268.
- Vassallo, P., Bastianoni, S., Beiso, I., Ridolfi, R. and Fabiano, M. 2007. Emergy analysis for the environmental sustainability of an inshore fish farming system. *Ecological Indicators*, 7: 290-298.
- 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: 66-128.
- Wang, Y., Cai, Y., Liu, G., Zhang, P., Li, B., Li, B., Jia, Q., Huang, Y. and Shu, T. 2021. Evaluation of sustainable crop production from an ecological perspective based emergy analysis: A case of China's provinces. *Journal of Cleaner Production*, 127912.
- Xi, Y.-G. and Qin, P. 2009. Emergy evaluation of organic rice-duck mutualism system. *Ecological Engineering*, 35: 1677-1683.
- Zahmatkesh, D., Amanlou, H. and Dashti, G. 2014. Comparison of nutrients and cost-income from two alfalfa harvesting methods (hay or silage). *Iranian Journal of Animal Science*, 45: 17-25. (In Persian)
- Zhai, X., Huang, D., Tang, S., Li, S., Guo, J., Yang, Y., Liu, H., Li, J. and Wang, K. 2017. The emergy of metabolism in different ecosystems under the same environmental conditions in the agro-pastoral ecotone of northern China. *Ecological Indicators*, 74: 198-204.
- Zhang, L., Song, B. and Chen, B. 2012. Emergy-based analysis of four farming systems: insight into agricultural diversification in rural China. *Journal of Cleaner Production*, 28: 33-44.
- Zhang, Q., Li, T., Yin, Y., Ying, H., Cui, Z. and Zhang, F. 2021. Targeting Hotspots to Achieve Sustainable Nitrogen Management in China's Smallholder-Dominated Cereal Production. *Agronomy*, 11: 557.
- Zhao, H., Zhai, X., Guo, L., Liu, K., Huang, D., Yang, Y., Li, J., Xie, S., Zhang, C. and Tang, S. 2019. Assessing the efficiency and sustainability of wheat production systems in different climate zones in China using emergy analysis. *Journal of Cleaner Production*, 235: 724-732.

## Assessing emergy-based sustainability in five major agricultural ecosystems in Hirmand, Sistan and Baluchestan Province

Somayyeh Mirshekari<sup>1,2</sup>, Mahdi Dahmardeh<sup>3\*</sup>, Mohammad Reza Asgharipour<sup>3</sup>, Seyed Ahmad Ghanbari<sup>3</sup>, Esmaeel Seyedabadi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> PhD student in Agroecology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

<sup>2</sup> Faculty member of Department of Agronomy and Plant Breeding, Agricultural Research Institute, University of Zabol, Zabol, Iran

<sup>3</sup> Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

\*Corresponding Author: [dr.dahmardeh@uoz.ac.ir](mailto:dr.dahmardeh@uoz.ac.ir)

Received: 19 October 2021 Accepted: 10 November 2021 DOI: 10.22034/CSRAR.2021.311181.1146

### Abstract

**Introduction:** Agriculture is crucial for sustaining family livelihoods and advancing the national economy. Food production and environmental conditions are heavily influenced by agricultural practices. By converting environmental and economic input currents to the same unit of solar emjoule (sej), the emergy analysis method can comprehensively compare various production systems. Using the evaluation of the emergy structure and the analysis of emergy-based indices, the ecological sustainability of five crop production systems of wheat, barley, alfalfa, watermelon, and melon in Hirmand city, Sistan and Baluchestan province, was investigated in the present study.

**Materials and Methods:** Face-to-face questionnaires were administered to producers of wheat, barley, alfalfa, watermelon, and melon products in Hirmand city from 18 villages where significant agricultural products were produced in 2020. All information regarding crop inputs and outputs was gathered using two methods: verbal estimates using a questionnaire; field measurements and authors' observations; and field estimates using a questionnaire. During the same time frame, the information provided by the farm manager and staff was thoroughly evaluated. In this study, Zabol and Zahak meteorological stations provided long-term meteorological data.

First, the spatial and temporal boundaries of five systems for emergy analysis were determined, and then the emergy diagram for the studied systems was drawn based on the classification of inputs, renewable or nonrenewable resources, local or imported. Sunlight, wind, chemical energy and geological potential energy of precipitation, river water, and evapotranspiration of renewable water are examples of renewable environmental resources (R). Nonrenewable environmental resources (N), such as soil erosion, soil organic matter losses, groundwater, and evaporation of groundwater; Purchased renewable resources (FR), including 80 percent organic fertilizer, between 15 and 25 percent seed, 10 percent labor, and 7 percent electricity. Purchased nonrenewable resources (FN) consist of agricultural machinery, fossil fuels, fertilizers, and chemical pesticides, 93 percent of electricity, 90 percent of labor, 75 percent to 85 percent of seeds, and 20 percent of organic fertilizer. Next, all input (U) and output (Y) currents, raw data for all production systems were estimated and multiplied in joules, grams, or rials based on Iranian conditions for their unit emergy value.

**Results and Discussion:** Free renewable and nonrenewable flows made up 46.77, 45.87, 64.39, 63.94, and 62.40 percent, respectively, of the total emergy input flows of wheat, barley, alfalfa, watermelon, and melon production systems. The high proportion of free domestic inputs suggests that the majority of the studied farms are semi-traditional, low-input, non-industrial systems. According to the calculated values of the Emergy Sustainability Index (ESI), the ecological sustainability of the alfalfa production system is greater than that of other studied systems. The greater sustainability of this system was primarily due to the high proportion of emergy input from environmental inputs and economic renewable resources.

In addition, the Emergy Yield Ratio (EYR), the amount of energy used to produce each unit of output, and the productivity of all production factors indicate that the alfalfa production system has a greater comparative advantage. According to the Emergy Investment Ratio (EIR) values in the present study, the barley production system had the highest rate of this index, while the alfalfa production system had the lowest rate. In barley and wheat production systems, the highest proportion of total energy was contributed by chemical fertilizers and labor. Due to the greater use of free renewable environmental inputs, the alfalfa production system had the lowest EIR index value. According to the Emergy index of agricultural product safety (EIPS), the alfalfa production system had the highest level of crop production health, while the watermelon production system had the lowest level. Since the input of chemical fertilizers and herbicides is the most important factor in the EIPS index, the low index of the watermelon production system can be attributed to the high proportion of chemical fertilizers and herbicides in this system.

**Conclusion:** In general, the evaluations based on the calculation of emergy-based indices revealed that in the dominant agricultural systems of Hirmand city, focusing on practical solutions in comprehensive management of production system, particularly protection of soil organic matter and prevention of erosion and loss of soil organic matter, can sustain these ecosystems and have a dramatic effect. Due to the lack of organic matter in the soils of the study area, the cultivation of perennial, rhizobium- and nitrogen-fixing plants with deep roots, such as alfalfa, improves soil fertility. This stabilizes the production system by enhancing the economic performance of farmers, soil fertility, and structure.

**Keywords:** Emergy analysis, Field study, Sistan, Sustainability quantification, Sustainable Agriculture