

ارزیابی خصوصیات اقتصادی و بوم‌شناختی نظام تولید گندم در منطقه سیستان با استفاده از تکنیک روش امرژی

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

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

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

* مسئول مکاتبه: m_asgharipour@uoz.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.375746.1299

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۵

چکیده

گندم، مهم‌ترین محصول زراعی سیستان است که بسته به وجود آب، معیشت جمعیت زیادی از کشاورزان منطقه را تأمین می‌کند؛ بنابراین تداوم تولید این محصول هم به لحاظ تأمین بخشی از نیاز غذایی خانواده‌ها و هم درآمدی که بابت فروش آن عاید تولیدکنندگان می‌شود از اهمیت بالایی برخوردار است. از این رو تصمیم گرفته شد تا پایداری تولید گندم در منطقه با استفاده از تکنیک تحلیل امرژی و شاخص‌های وابسته به این روش مورد ارزیابی قرار گیرد. اطلاعات مورد نیاز برای رسیدن به این هدف در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ از سطح ۲۸۵ مزرعه گندم منطقه جمع‌آوری شد. این تعداد از طریق فرمول کوکران مشخص و کشاورزان از طریق روش نمونه‌گیری تصادفی ساده انتخاب شدند. اطلاعات جمع‌آوری شده به دو گروه محیطی و اقتصادی تقسیم شدند که از مجموع این ورودی‌ها ($10^6 \times 5/35$ ام ژول خورشیدی در سال) سهم نهاده‌های محیطی قابل توجه بود و نهاده‌های اقتصادی تنها حدود ۱۵ درصد از منابع را به خود اختصاص دادند. تأثیر زیاد نهاده‌های محیطی در روند تولید موجب شد تا مقدار شاخص‌های EIR و EYR در وضعیت مطلوبی قرار گیرد. این سامانه تحت حمایت ۳۴ درصدی منابع تجدیدپذیر قرار داشت. این موضوع موجب شد تا نظام تولیدی با توجه به شاخص نسبت بارگذاری محیطی اصلاح شده، رفتار منعطف‌تری با بوم‌نظام‌های اطراف داشته باشد. با توجه به اینکه نهاده‌های محیطی غیرقابل تجدید به ویژه فرسایش خاک، تأثیر زیادی در فرایند تولید داشت، اقدامات مدیریتی جهت حفظ بقایای گیاهی در داخل مزرعه تأثیر مثبتی در تداوم تولید گندم منطقه دارد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی پایداری، فرسایش خاک، معیشت کشاورزان، نسبت بارگذاری محیطی، نهاده‌های تجدیدپذیر

مقدمه

حیات و ردپای اکولوژیک برای ارزیابی پایداری این نظام‌های تولیدی وجود دارد. اما با توجه به اینکه بوم‌نظام‌های کشاورزی در جایگاهی میان نظام‌های اقتصادی و زیست‌محیطی قرار دارند که هم به منابع حاصل از اقتصاد انسانی و هم جریان‌های آزاد محیطی وابسته هستند (Rydberg and Haden, 2006)، تکنیک تحلیل امرژی به دلیل اینکه قادر است مجموع جریان‌های ورودی به نظام تولیدی را در نظر بگیرد (Amaral *et al.*, 2016)، روش مناسبی برای بررسی پایداری این سامانه‌ها است. تجزیه و تحلیل امرژی پلی است که نظام‌های اقتصادی و زیست‌محیطی را به هم متصل می‌کند و ناتوانی پول در ارزش‌گذاری نهاده‌های غیربازاری را به شیوه‌ای عینی جبران می‌کند (Hau and Bakshi, 2004). مزیت اصلی رویکرد امرژی این است که امکان تبدیل کلیه جریان‌ها و ذخایر طبیعی و منابع اقتصادی را به یک واحد مشترک برای اندازه‌گیری همه انواع نهاده‌ها فراهم می‌کند (Odum, 1996)، بنابراین امکان

برخی از محصولات کشاورزی به لحاظ تأمین نیازهای غذایی جمعیت انسانی، اهمیت به عنوان ماده اولیه صنایع و ارزآوری، جزء محصولات استراتژیک برای کشورها محسوب می‌شوند. گندم از جمله این محصولات است که با طیف وسیعی از محیط‌ها سازگار است (Battenfield *et al.*, 2016) و عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک که به شدت مستعد کم‌آبی هستند کشت می‌شود (Acevedo *et al.*, 2018). سیستان جزء مناطق خشک با شرایط آب و هوایی سخت است و گندم مهم‌ترین محصول زراعی آن محسوب می‌شود. این منطقه روزگاری به سبب تولید گندم به انبار غله ایران معروف بود که این نشان از ارزش تولید این محصول در این سرزمین دارد؛ بنابراین با توجه به اهمیت تولید گندم در منطقه، نیاز است تا پایداری تولید این محصول مورد ارزیابی قرار گیرد.

روش‌های مختلفی از جمله تحلیل انرژی، ارزیابی چرخه

بخش قرار گیرد که نتیجه آن رسیدن به اهداف مورد نظر است. با این حال ارزیابی‌های صورت گرفته درباره اصولی که کشاورزان برای افزایش بازده پیرو آن هستند نشان می‌دهند که خروجی از نظام‌های تولیدی کمتر از نهاده‌های تزریقی به این نظام‌ها شده است که این امر موجب اختلال در تداوم تولید این سامانه‌ها می‌شود. بنابراین اهمیت دادن به موضوع پایداری می‌تواند نقش مهمی در استمرار فعالیت‌های بخش کشاورزی داشته باشد. برای این منظور در مطالعه حاضر، نظام تولید گندم که مهم‌ترین محصول زراعی منطقه سیستان است و روزی به انبار غله ایران معروف بود را با توجه به سهم نهاده‌های ورودی و خروجی دریافتی از طریق تکنیک امرژی مورد ارزیابی قرار می‌دهیم. نتایج این مطالعه می‌تواند به کشاورزان در هدایت صحیح نظام تحت مدیریت خود به سمت پایداری کمک کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق به بررسی پایداری نظام تولید گندم در منطقه سیستان شامل شهرهای زابل، زهک، هامون، هیرمند و نیمروز در محدوده جغرافیایی بین ۳۰ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی و ۶۰ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۴۸۱ متر از سطح دریا واقع در جنوب شرق ایران و شمال استان سیستان و بلوچستان می‌پردازد. این منطقه دارای آب و هوای گرم و خشک با میانگین بلند مدت (سال‌های ۹۷-۱۳۶۷) دمای ۲۲/۷ درجه سانتی‌گراد، متوسط رطوبت ۳۶/۳ درصد، بارش ۵۱/۴ و تبخیر ۴۶۸۳/۱ میلی‌متر است.

گندم، مهم‌ترین محصول زراعی در منطقه سیستان است. کشت این محصول معمولاً از آبان‌ماه آغاز و بسته به شرایط آب و هوایی، ماه اردیبهشت زمان شروع برداشت گندم از مزارع منطقه است. به طور معمول عملیات آماده‌سازی بستر و برداشت محصول در منطقه توسط ماشین‌آلات صورت می‌گیرد و نیروی انسانی در سایر مراحل تولید مانند بذر پاشی، نقش پررنگی دارد. این موضوع موجب می‌شود تا بذر به صورت یکنواخت در مزرعه پخش نشود که حاصل آن می‌تواند موجب کاهش عملکرد گندم منطقه شود. مسئله دیگری که بر میزان خروجی نظام تولیدی مؤثر است، مشکل کمبود آب در منطقه است. بنابراین

مقایسه عادلانه‌تری در داخل و بین نظام‌ها فراهم می‌شود (Amaral *et al.*, 2016). از این‌رو تحلیل امرژی ارزیابی جهانی‌تری از نیازمندی‌های تولید کشاورزی نسبت به روش‌های دیگر که صرفاً بر ورودی‌های انرژی تجاری تمرکز می‌کنند ارائه می‌دهد (Fluck, 1992).

از ابتدای معرفی تحلیل امرژی به جامعه علمی تا به امروز به دلیل اهمیت دادن این تکنیک به نقش مجموع نهاده‌های ورودی در فرایند تولید، توجه زیادی را به خود جلب کرده و پژوهش‌های متعددی با این موضوع انجام شده است. از آن جمله می‌توان به مطالعه تأثیر اندازه مزرعه بر پایداری تولید گندم به وسیله تحلیل امرژی در سبزوار اشاره کرد. نتایج این مطالعه نشان داد که اندازه مزرعه تأثیرات متفاوتی بر میزان و ساختار امرژی ورودی داشت. مزارع کوچک مقیاس برای تولید محصول به کمترین میزان امرژی نیاز داشتند در صورتی که مزارع با مساحت زیاد برعکس بودند. عملکرد اقتصادی گندم در مزارع بزرگ به ترتیب ۲۰ و ۱۲۰ درصد بیشتر از مزارع متوسط و کوچک مقیاس بود، در صورتی که در مقیاس‌های کوچک به دلیل تولید سنتی و استفاده نکردن از بذرهای اصلاح شده تراکم کاشت به صورت یکنواخت انجام نشد و این موضوع موجب شد تا عملکرد کاهش یابد (Fallahinejad *et al.*, 2022). استفاده از تحلیل امرژی جهت مقایسه اثرات زیست‌محیطی نظام‌های تولید چهار محصول گندم، جو، چغندر قند و زعفران به عنوان محصول جدید نشان داد که ورود زعفران به منطقه مورد مطالعه که خوشاب استان خراسان رضوی است، موجب افزایش پایداری تولید شد (Fallahinejad *et al.*, 2021). ارزیابی پایداری چهار محصول گلخانه‌ای خیار، بادمجان، گوجه فرنگی و فلفل دلمه‌ای با استفاده از تحلیل امرژی در جیرفت نشان از پایداری بیشتر نظام تولید خیار نسبت به سه نظام دیگر داشت (Asgharipour *et al.*, 2020). هم‌چنین ارزیابی پایداری دو نوع نظام تولید معیشتی و تجاری کلزا در خرم‌آباد نشان داد که کشت معیشتی کلزا نسبت به زراعت تجاری آن از نظر بوم‌شناختی پایدارتر است (Amiri *et al.*, 2019).

کشاورزی در درجه اول به افزایش عملکرد محصول و بهبود کارایی اقتصادی نظام‌های تولید توجه دارد. این موضوع موجب شده تا مجموعه‌ای از فرایندها مانند کاربرد زیاد کودهای شیمیایی و سوخت‌های فسیلی در دستور کار فعالیت‌های این

است (Cavalett *et al.*, 2006). جریان‌های ورودی به نظام مورد مطالعه به سه گروه تجدیدپذیر محیطی، تجدیدنپذیر محیطی و خریداری شده (تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر) تقسیم می‌شوند. اطلاعات منابع محیطی تجدیدپذیر از داده‌های آماری ثبت شده توسط ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه بدست آمد. فرسایش و کاهش ماده آلی خاک از جمله جریان‌های تجدیدنپذیر محیطی هستند که اطلاعات مورد نیاز برای فرسایش آبی بر اساس مدل جهانی فرسایش خاک (USLE^۲) و کاهش ماده آلی از طریق نمونه‌برداری از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک و تعیین مقدار ماده آلی نمونه‌های جمع‌آوری شده قبل از کشت و پس از برداشت، بدست آمد. سایر داده‌های لازم برای این مطالعه که مربوط به نهاده‌های اقتصادی است از طریق مصاحبه حضوری با مدیران نظام‌های تولیدی حاصل شد.

منابع خریداری شده مورد نظر در این مطالعه شامل تمامی نهاده‌های ورودی به نظام توسط کشاورز است. این نهاده‌ها شامل بذر با (۲۰ درصد تجدیدپذیری)، نیروی انسانی (۱۰ درصد تجدیدپذیری)، الکتریسیته (۵ درصد تجدیدپذیری)، کود شیمیایی، سوخت‌های فسیلی و ماشین‌آلات هستند (Asgharipour *et al.*, 2020). میزان ورودی ماشین‌آلات و تاسیسات بر اساس طول عمر پیش‌بینی شده آن‌ها بیان می‌شود. مقدار انرژی خروجی به عنوان کالری قابل سوختن با استفاده از روش ارائه شده در ISO1928 تعریف شد (Dorado *et al.*, 2006). مجموع ورودی‌های مزارع گندم در واحد هکتار به همراه فاکتور تجدیدپذیری آن‌ها در جدول ۱ دسته‌بندی شده‌اند.

پس از محاسبه همه جریان‌های ورودی و خروجی، با ضرب انواع جریان انرژی و مواد در ضرایب تبدیل مناسب که مسیر تحولات انرژی در جهان را منعکس می‌کنند و سلسله مراتب انرژی را طراحی می‌کنند (Brown *et al.*, 2004) می‌توان آن‌ها را به واحد انرژی خورشیدی (sej) تبدیل کرد (Asgharipour *et al.*, 2019). همه مقادیر به ضریب انرژی پایه سیاره‌ای 1.2×10^{24} امزول خورشیدی در سال تبدیل شدند (Brown *et al.*, 2016). جدول ۱ ارائه دهنده مجموع جریان‌های انرژی نظام‌های تولیدی نیز است.

تنش حاصل از کم‌آبی عملکرد گندم را نسبت به سایر مناطق که با این مشکل مواجه نیستند به مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهد.

جامعه آماری و جمع‌آوری داده‌ها

این مطالعه در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ پس از طراحی پرسشنامه‌ای دقیق از طریق مصاحبه حضوری با مدیران مزارع گندم پنج شهرستان (زابل، زهک، هیرمند، هامون و نیمروز) حوزه سیستان انجام شد. به منظور مشخص شدن جامعه آماری مورد مطالعه، تعداد مزارع گندم موجود در منطقه به عنوان نمونه کل انتخاب، سپس برای پیدا کردن حجم نمونه مورد مطالعه از فرمول کوکران استفاده شد (Cochran, 1942).

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

که در آن مقدار $Z_{\alpha/2}$ ، ۱/۹۶ در سطح خطای ۵ درصد در نظر گرفته شده، و مقدار خطای مجاز (d) ۰/۵ تعیین شده است. N اندازه جامعه هدف، n اندازه نمونه، P نسبت یک صفت در جامعه و q (1-p) درصد افراد فاقد آن ویژگی در جامعه است. استفاده از این فرمول مشخص کرد که حجم نمونه مورد مطالعه ۲۸۵ مزرعه گندم است، همچنین انتخاب کشاورزان نیز از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده صورت گرفت.

روش تحلیل امرژی و تبدیل واحد مجموع منابع به امزول خورشیدی

اولین گام در تحلیل امرژی تعیین مرزهای زمانی و مکانی و در ادامه ترسیم نمودار زبان نظام‌های انرژی (ESL^۱) است (Odum and Peterson, 1996). این امر برای سازمان‌دهی روابط بین اجزای اصلی و فرایند یک نظام و همچنین به تصویر کشیدن پایه‌های زیست‌محیطی نظام بوم‌شناختی و ارتباط آن با اقتصاد بزرگ‌تر ضروری است (Cavalett *et al.*, 2006). نمودار زبان نظام‌های انرژی ترسیم شده با استفاده از نمادهای با معانی خاص برای نظام‌های تولید گندم توسط شکل ۱ مشخص شده است. گام دوم برای ارزیابی امرژی سازمان‌دهی ورودی‌های مختلف در جدول ارزیابی امرژی بر اساس نمودار ترسیم شده

² Universal Soil Loss Equation

¹ Energy Systems Language

جدول ۱- ورودی‌های اقتصادی و زیست‌محیطی و نتایج تحلیل امرزی نظام‌های تولید گندم در منطقه سیستان

Table 1- Economic and environmental inputs and results of energy analysis of wheat production systems in Sistan region

| ورودی‌ها Inputs | واحد Unit | فاکتور تجدیدپذیری (%) Ran. Factor | اطلاعات خام Raw | ضریب تبدیل ($sej\ Unit^{-1}$) UEV | منابع برای ضریب تبدیل Refs. for transformity | امرزی (sej) Energy | Share |
|---|--------------|--|--------------------|---|---|------------------------------|--------|
| ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر | | | | | | | |
| Renewable environmental inputs | | | | | | | |
| انرژی خورشید Solar energy | J | 1 | 2.92E+13 | 1.00E+00 | Definition | 2.92E+13 | 0.05% |
| انرژی جنبشی باد Wind, kinetic energy | J | 1 | 6.26E+10 | 1.25E+03 | Campbell and Erban 2016 | 7.83E+13 | 0.15% |
| انرژی شیمیایی باران Rain, chemical | J | 1 | 4.90E+11 | 2.25E+04 | Campbell (man.) | 1.10E+16 | 20.60% |
| انرژی ژئوپتانسیل باران Rain, geopotential | J | 1 | 1.69E+08 | 1.34E+04 | Campbell et al., 2005 | 2.26E+12 | 0.00% |
| زیرمجموعه Subtotal | | | | | | 1.10E+16 | |
| ورودی محیطی غیرقابل تجدید | | | | | | | |
| Non-renewable environmental inputs | | | | | | | |
| آب زیرزمینی Groundwater | J | 0 | 1.47E+10 | 3.61E+04 | Cuadra and Rydberg, 2006 | 5.31E+14 | 0.99% |
| تبخیر و تعرق آب باران Evapotranspiration, ground water | J | 0 | 1.14E+10 | 2.88E+04 | Campbell (man.) | 3.28E+14 | 0.61% |
| کاهش ماده آلی خاک SOM reduction | J | 0 | 1.33E+11 | 9.36E+04 | Brown and Bardi, 2001 | 1.24E+16 | 23.25% |
| فرسایش خاک Soil erosion | g | 0 | 1.68E+07 | 1.27E+09 | Brown and Bardi, 2001 | 2.13E+16 | 39.87% |
| زیرمجموعه Subtotal | | | | | | 3.46E+16 | |
| ورودی‌های خریداری شده | | | | | | | |
| Purchased inputs | | | | | | | |
| نیروی انسانی Human labor | J | 0.1 | 1.53E+08 | 2.22E+06 | Lu et al., 2009 | 3.40E+14 | 0.63% |
| ماشین‌آلات Machinery | g | 0 | 1.28E+03 | 1.01E+10 | Campbell et al., 2005 | 1.29E+13 | 0.02% |
| سوختهای فسیلی و روغن Fossil fuel and lubricant | g | 0 | 6.63E+09 | 8.60E+04 | Bastianoni et al., 2009 | 5.70E+14 | 1.07% |
| کود نیتروژن Nitrogen fertilizer | g | 0 | 2.00E+05 | 3.09E+10 | Brandt-Williams, 2002 | 6.18E+15 | 11.55% |
| الکتریسیته Electricity | J | 0.05 | 7.74E+08 | 2.31E+05 | Amiri et al, 2019 | 1.79E+14 | 0.33% |
| بذر Seed | Rials | 0.2 | 8.00E+06 | 6.76E+07 | Asgharipour et al., 2020 | 5.41E+14 | 1.01% |
| زیرمجموعه Subtotal | | | | | | 7.82E+15 | |
| مجموع Total | | | | | | 5.35E+16 | 100% |
| خروجی | | | | | | | |
| Output | | | | | | | |
| دانه گندم Wheat grain | g | | 2.08E+06 | | | | |
| دانه گندم Wheat grain | J | | 3.05E+10 | | | | |
| کاه گندم Wheat straw | g | | 2.25E+06 | | | | |
| کاه گندم Wheat straw | J | | 2.81E+10 | | | | |

جدول ۲- مشخصات و فرمول شاخص‌های امرزی نظام‌های تولید گندم سیستان

| شاخص‌ها | فرمول | خصوصیات |
|---|------------------------------|---|
| Indices | Formula | Specifications |
| ضریب تبدیل Transformity (Tr) | $Tr = U / E (sej J-1)$ | مقدار امرزی مورد نیاز برای تولید یک خروجی اقتصادی بر حسب ژول، معیاری برای کارایی نظام. Amount of emergy required to produce an economic output in joules, a measure of system efficiency. |
| امرزی ویژه Specific emergy (SpE) | $SE = U / W$ | مقدار امرزی مورد نیاز برای تولید یک واحد خروجی که بر حسب گرم اندازه گیری می شود. W وزن قابل دسترس محصول است. Amount of energy required to produce an output unit measured in grams. W is the accessible weight of the product. |
| درصد تجدیدپذیری امرزی Emergy renewability (R%) | $\%R = (R+FR) / U$ | درصد امرزی تجدیدپذیر استفاده شده توسط نظام Percentage of renewable emergy used by the system |
| نسبت مبادله امرزی Emergy exchange ratio (EER) | $EER = YM / U$ | نسبت مبادله امرزی بر اساس عملکرد محصول در واحد سطح Emergy exchange ratio based on crop yield per unit area |
| نسبت عملکرد امرزی Emergy yield ratio (EYR) | $EYR = U / (FR+FN)$ | توانایی یک فرایند برای استفاده از منابع محلی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر زمانی که منابع اقتصادی از خارج در نظام به عنوان ورودی سرمایه سرمایه گذاری می شود. Ability of a process to use local renewable and non-renewable resources when economic resources from outside are invested in the system as a capital input. |
| نسبت بارگذاری محیطی Environmental Loading Ratio (ELR) | $ELR = (FN + N0 + FR)/R$ | نسبت منابع امرزی خریداری شده و محیطی تجدیدناپذیر به امرزی محیطی تجدیدپذیر رایگان ELR is the ratio of emergy resources purchased and Non-renewable environmental to the free renewable environmental emergy |
| نسبت بارگذاری محیطی اصلاح شده Modified environmental loading ratio (ELR*) | $ELR* = (FN + N0)/(R + FR)$ | نسبت منابع امرزی خریداری شده تجدیدناپذیر به منابع تجدیدپذیر رایگان محیطی و تجدیدپذیر خریداری شده است. ELR* is the ratio of emergy resources Non-renewable purchased and Non-renewable environmental to the free renewable environmental emergy and Renewable purchased |
| نسبت پایداری محیط زیست Emergy sustainability ratio (ESI) | $ESI = EYR / ELR$ | وابستگی خروجی نظام به محیط، هر چه مقدار بیشتر باشد، پایداری نظام قوی تر است The dependence of the system output on the environment, the greater the value, the stronger the sustainability of the system |
| نسبت پایداری محیط زیست اصلاح شده Modified emergy sustainability ratio (ESI*) | $ESI* = EYR / ELR*$ | شاخص پایداری جایگزین که بر استفاده از منابع تجدیدپذیر بدون توجه به بارگذاری توجه دارد. Alternate Sustainability Index that focuses on the use of renewable resources regardless of loading. |
| نسبت سرمایه‌گذاری امرزی Emergy investment ratio (EIR) | $EIR = (FN + FR) / (R + N0)$ | EIR نسبت منابع امرزی خریداری شده از خارج به مجموع منابع محیطی رایگان در نظام محلی EIR is the ratio of emergy resources purchased from outside to all free environmental emergy in the local system |
| نسبت سرمایه‌گذاری امرزی اصلاح شده Modified emergy investment ratio (EIR*) | $EIR* = (FN + FR) / R$ | EIR* نسبت منابع امرزی خریداری شده از خارج به امرزی تجدیدپذیر رایگان محیطی EIR* is the ratio of emergy resources purchased from outside to the free renewable environmental emergy |
| ارزش عملکرد اقتصادی Market value of the economic yield | Y_M | پول دریافت شده برای محصولات در هنگام فروش Money received for the crops when sold. |

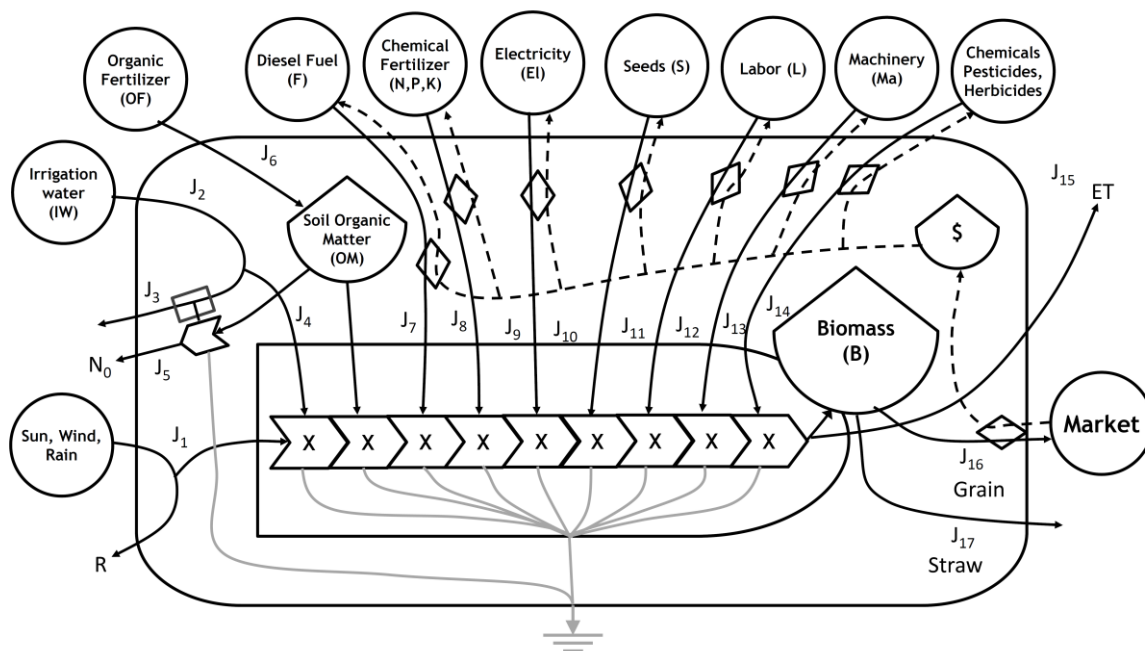
$$U = FN + FR + R + N0$$

$$Y_M = \text{ضریب تبدیل پول} \times \text{ارزش بازاری عملکرد اقتصادی محصول}$$

$$Y_M = \text{Market value of the product economic yield} \times \text{Money transformity}$$

$$E = \text{عملکرد اقتصادی}$$

$$E = \text{Economic yield}$$



شکل ۱- نمودار زبانی نظام‌های انرژی تولید گندم در منطقه سیستان

Figure 1- Energy Systems Language diagram of wheat production in the Sistan region

محیطی و خریداری شده) به نظام تولید گندم در منطقه سیستان در جدول ۱ ارائه شده است. این ورودی‌های انرژی پس از ضرب در ضرایب تبدیل مناسب به یک واحد مشترک به نام ام‌ژول خورشیدی تبدیل می‌شوند که خلاصه آن در همین جدول قلیل مشاهده است. با استناد به جدول ۱، مجموع ورودی‌های انرژی به نظام تولید گندم در منطقه $۵/۳۵ \times ۱۰^{۱۶}$ ام ژول خورشیدی در هکتار بود که از این مقدار سهم منابع محیطی $۴/۵۷ \times ۱۰^{۱۶}$ و منابع اقتصادی $۷/۸۲ \times ۱۰^{۱۵}$ ام ژول خورشیدی در سال بود. بنابراین نظام تولید گندم منطقه از حمایت بیشتر منابع محیطی نسبت به نهاده‌های اقتصادی برخوردار است، اما باید توجه داشت که سهم قابل توجهی (حدود ۷۶ درصد) از این منابع محیطی مربوط به نوع تجدیدپذیری آن است. فرسایش خاک مؤثرترین نهاده محیطی نظام تولید گندم در منطقه است. این نهاده ۳۹/۸۷ درصد از مجموع ورودی‌ها به نظام تولیدی را به خود اختصاص داد. پس از فرسایش خاک، کاهش ماده آلی خاک در رتبه دوم قرار گرفت. شیوه‌های خاک‌ورزی غیراصولی به همراه حذف کامل بقایای گندم پس از برداشت را می‌توان از دلایل میزان بالای فرسایش و کاهش ماده آلی خاک در نظر گرفت. برگرداندن اصولی بقایا به خاک می‌تواند در حفاظت از ذرات خاک مؤثر

مقدار انرژی محاسبه شده نمی‌تواند معرفی دقیقی از یک نظام تولیدی ارائه دهد. بنابراین نیاز است تا شاخص‌های وابسته به انرژی برای بررسی هزینه‌های اقتصادی و اکولوژیکی سامانه‌ها محاسبه شود. تعدادی از شاخص‌ها که برای ارزیابی نظام‌های تولید گندم از مقادیر انرژی محاسبه شده قابل استنباط است شامل ضریب تبدیل (Tr)، انرژی ویژه (SpE)، درصد تجدیدپذیری انرژی (R%)، نسبت عملکرد انرژی (EYR)، نسبت‌های بارگذاری محیطی (ELR* و ELR)، شاخص‌های پایداری محیط زیست (ESI* و ESI)، نسبت‌های سرمایه‌گذاری انرژی (EIR* و EIR) و نسبت مبادله انرژی (EER) هستند. این شاخص‌ها نظام‌های تولیدی را از نظر کارایی استفاده از انرژی (SpE، Tr)، تعامل با محیط (ELR، EYR، ELR*)، EIR* و EIR، عدالت تجاری برای ورودی‌ها و خروجی‌ها (EER) و پایداری نظام (R%، ESI* و ESI) با هم مقایسه می‌کنند (Lu et al., 2017; Jaklic et al., 2014). رولپت ریاضی و تعاریف شاخص‌های مورد نظر در این مطالعه به طور خلاصه در جدول ۲ ارائه شده است.

نتایج و بحث

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، مجموع نهاده‌های ورودی

(*al.*, 2022).

شاخص‌های امرژی

شاخص‌های امرژی می‌توانند به بررسی جزئیات سهم هر یک از نهاده‌های ورودی به نظام تولیدی و بوم‌نظام‌های حامی این سامانه‌ها بپردازند. نتایج این شاخص‌ها برای نظام‌های تولید گندم منطقه سیستان در جدول ۳ ارائه شده است.

باشد. مجموع امرژی ورودی به مزارع کوچک، متوسط و بزرگ مقیاس گندم در سبزواری به ترتیب 1.39×10^{16} ، 1.95×10^{16} و 2.16×10^{16} ام‌ژول خورشیدی بود. محققان بیان داشتند که با افزایش مساحت مزرعه، مجموع امرژی ورودی به نظام افزایش یافت. آن‌ها همچنین اعلام کردند که در مزارع با مساحت متوسط و بزرگ، منابع محیطی تجدیدناپذیر بیش از ۵۰ درصد ورودی‌ها به سامانه را به خود اختصاص دادند که سهم تلفات ماده آلی و فرسایش خاک قابل توجه بود (Fallahinejad *et al.*).

جدول ۳- شاخص‌های تحلیل امرژی نظام‌های تولید گندم در منطقه سیستان

Table 3- Indicators of energy analysis of wheat production systems in Sistan region

| شاخص‌های مبتنی بر امرژی Emergy based indices | مقدار Quantity |
|---|-------------------|
| Transformity (Tr) (sej/J) grain | 1.75E+06 |
| SpE (sej/g) grain | 2.58E+10 |
| Transformity (sej/J) straw | 1.90E+06 |
| SpE (sej/g) straw | 2.38E+10 |
| R% | 34% |
| EYR | 6.84 |
| ELR | 3.85 |
| ELR* | 0.517 |
| ESI | 1.78 |
| ESI* | 13.2 |
| YM | 7.71E+15 |
| EER | 6.94 |
| EIR | 0.171 |
| EIR* | 0.710 |

حاصل برای کاه (2.38×10^{10} ام‌ژول خورشیدی بر گرم) کمتر از گندم (2.58×10^{10} ام‌ژول خورشیدی بر گرم) است که دلیل آن برتری وزنی کاه نسبت به دانه است.

تعامل با محیط

اولین شاخصی که در این گروه به آن پرداخته می‌شود، نسبت عملکرد امرژی است. نسبت عملکرد امرژی (EYR)، نسبت مجموع امرژی خورشیدی تقسیم بر ارزش امرژی ورودی‌های خریداری شده است. در واقع این نسبت، معیاری از توانایی یک فرایند برای بهره‌برداری و در دسترس قرار دادن منابع محلی است (Cavalett *et al.*, 2006). کمترین مقدار ممکن برای EYR، یک است که نشان می‌دهد یک فرایند همان مقدار امرژی را ارائه می‌دهد که برای هدایت آن استفاده شده است و نمی‌تواند بطور مفید از هیچ منبع محلی بهره‌برداری کند (Cavalett *et al.*, 2006). نسبت عملکرد امرژی برای نظام

کارایی استفاده از امرژی

ضریب تبدیل و امرژی ویژه (Tr و SpE) شاخص‌هایی هستند که میزان کارایی استفاده از امرژی در نظام تولیدی را مورد بررسی قرار می‌دهند. ضریب تبدیل نسبی است که از تقسیم مجموع امرژی ورودی به یک فرایند بر انرژی حاصل از همان فرایند بدست می‌آید و امرژی ویژه، به صورت امرژی در هر واحد جرم تعریف می‌شود (Brown and Ulgiati, 2004). خروجی نظام‌های تولید گندم در منطقه علاوه بر دانه، کاه و کلش حاصل از ساقه و خوشه گندم است. بنابراین نظام تولیدی دارای دو ضریب تبدیل و امرژی ویژه است. ضریب تبدیل دانه و کاه حاصل از نظام تولیدی در منطقه سیستان به ترتیب 1.75×10^6 و 1.90×10^6 ام‌ژول خورشیدی بر ژول محاسبه شده که نشان می‌دهد ضریب تبدیل انرژی دانه گندم نسبت به کاه آن بیشتر است. محاسبه کارایی با استفاده از امرژی ویژه در نظام تولیدی عکس ضریب تبدیل است. در این شاخص مقدار

تولید گندم در منطقه مورد مطالعه، ۶/۸۴ محاسبه شد. مقدار این شاخص برای نظام مورد مطالعه بیشتر از مقدار محاسبه شده برای تولید برنج (۵/۱۳) در مازندران (Amini et al., 2020)، کلزای تجاری و معیشتی (۲/۳۱ و ۱/۵۳) در استان لرستان (Amiri et al., 2019) و تولید برنج (۱/۱۵)، سبزیجات (۱/۰۵) و تناوب برنج و سبزیجات (۱/۰۷) در چین (Lu et al., 2010) بود. این نتایج نشان‌دهنده وابستگی بیشتر تولید گندم به ورودی‌های محیطی نسبت به سایر منابع مورد بررسی در مازندران، لرستان و چین بود.

شاخص‌های دیگری که در گروه تعامل با محیط قرار دارند، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR) و نسخه اصلاح شده آن (EIR*) هستند. این شاخص، نسبت منابع خریداری شده به ورودی‌های محلی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر را بیان می‌کند (Cavalett et al., 2006). به عبارتی نسبت سرمایه‌گذاری امرژی نشان می‌دهد که یک سامانه تولیدی وابسته به چه نوع نهاده‌ای (خریداری شده یا محیطی) است. مقدار EIR کمتر نشان‌دهنده نظام‌های مؤثرتر با استفاده بهتر از منابع امرژی داخلی است (Cavalett et al., 2006) و هر چه این مقدار بزرگتر باشد وابستگی نظام تولیدی به منابع خریداری شده را آشکار می‌کند. نسبت سرمایه‌گذاری امرژی برای نظام تولید گندم در منطقه سیستان ۰/۱۷۱ محاسبه شد. مقدار این شاخص برای تولید گندم در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ مقیاس سبزواری به ترتیب برابر ۲/۵۷، ۳/۹۳ و ۵/۱۹ گزارش شد (Fallahinejad et al., 2022). بنابراین تولید گندم در منطقه سیستان نسبت به تولید این محصول در سبزواری وابستگی بیشتری به ورودی‌های محیطی دارد. البته باید یادآور شد که سهم قابل توجهی از این منابع محیطی مربوط به نهاده‌های تجدیدناپذیر است. محاسبه نسبت سرمایه‌گذاری امرژی اصلاح شده نیز مانند نسخه استاندارد این شاخص است با این تفاوت که ورودی‌های تجدیدناپذیر محیطی از مخرج کسر حذف می‌شوند. پس عدد کوچکتر منعکس‌کننده نظامی با حمایت بیشتر از نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر است. مقدار EIR* تولید گندم در منطقه سیستان ۰/۷۱۰ برآورد شد که وابستگی بیشتر این نظام به نهاده‌های تجدیدپذیر نسبت به تولید موسیر در نظام کشت مکانیزه (۲۱/۸۷۲)، سنتی (۲۵/۳۰۸) و حفاظتی (۴۰/۹۳۲) استان لرستان را نشان می‌دهد (Amiri et al., 2021).

(2021).

آخرین شاخص‌های این گروه نسبت‌های بارگذاری محیطی (ELR و ELR*) هستند. نسبت بارگذاری محیطی، نشان‌دهنده فشار یک فرایند بر محیط است و می‌تواند معیاری برای سنجش استرس اکونظام ناشی از یک فرایند تولیدی در نظر گرفته شود (Cavalett et al., 2006). نسبت بارگذاری محیطی حاصل تقسیم مجموع ورودی‌های تجدیدناپذیر و خریداری شده به ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر است (Ridolfi et al., 2019). ELR حدود دو یا کمتر نشان‌دهنده تأثیرات محیطی نسبتاً کم، بین ۳ تا ۱۰ نشان‌دهنده تنش متوسط و بیشتر ۱۰ نشان‌دهنده استرس زیست‌محیطی بسیار بالاتر به دلیل جریان‌های بزرگ امرژی غیرقابل تجدید متمرکز در یک محیط محلی نسبتاً کوچک است (Brown and Ulgiati, 2004). مقدار ELR برای نظام تولید گندم در منطقه سیستان ۳/۸۵ محاسبه شد. بنابراین این نظام تولیدی تنش متوسطی را به محیط اعمال می‌کند. تنش وارده به محیط از طریق مزارع گندم در منطقه سیستان کمتر از استرسی است که تولید گندم (۶۳/۵۶)، جو (۶۶/۰۶)، چغندر قند (۲۳/۵۶) و زعفران (۷۹/۶۳) در خوشاب ایجاد کردند (Fallahinejad et al., 2021). در واقع هنگامی که یک فرایند به خدمات زیست‌محیطی نیاز دارد باری بر محیط زیست وارد می‌کند (Cavalett et al., 2006).

وقتی که نهاده‌های تجدیدپذیر خریداری شده در رابطه با ELR از صورت به مخرج کسر منتقل شوند شاخص ELR* همان ویژگی‌ها ایجاد می‌شود. ELR* برای نظام تولید گندم در منطقه سیستان ۰/۵۱۷ برآورد شد. این میزان کمتر از مقدار گزارش شده برای تولید برنج (۱/۱۱) در مازندران (Amini et al., 2021)، کلزای تجاری و معیشتی (۱۷/۵۸ و ۴) در لرستان (Amiri et al., 2019) و گندم (۳/۱۳) در خوشاب استان خراسان رضوی (Fallahinejad et al., 2021) بود. بنابراین تولید گندم در منطقه هدف مطالعه نسبت به برنج در مازندران و کلزا در لرستان از نهاده‌های تجدیدپذیر بیشتری بهره‌مند می‌شود.

عدالت تجاری برای ورودی‌ها و خروجی‌ها

نسبت مبادله امرژی (EER) به عنوان امرژی خورشیدی یک محصول یا جریان تقسیم بر ارزش امرژی خورشیدی ارز

ناپایداری نظام را نشان می‌دهد (Brown and Ulgiati, 1998). مقدار ESI در این مطالعه ۱/۷۸ بدست آمد. مقدار حاصل نشان داد که تولید گندم در منطقه مورد مطالعه پایدارتر از تولید لوبیا با انواع نظام‌های کشت اکولوژیک (۰/۰۸)، تلفیقی (۰/۰۴)، ورودی کم (۰/۰۷)، متوسط (۰/۰۴) و بالا (۰/۰۳) در خرم‌دشت استان مرکزی بود (Asgharipour et al., 2019). وقتی در رابطه ESI جای ELR با ELR* عوض می‌شود، ESI* حاصل می‌شود. مقدار شاخص پایداری محیط زیست اصلاح شده برای نظام تولید گندم در سیستان، ۱۳/۲ بدست آمد. عدد حاصل حکایت از پایداری و وابستگی نظام تولید به منابع محیطی دارد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که از مجموع ورودی‌ها به نظام تولیدی سهم نهاده‌های محیطی بویژه نوع تجدیدپذیر آن بیشتر است. این در حالی است که نهاده‌های تجدیدپذیر در مجموع حدود یک سوم ورودی‌های نظام را به خود اختصاص دادند. تنها با تبدیل نهاده‌های ورودی به معادل امرژی آن‌ها نمی‌توان درک درستی از تأثیر این ورودی‌ها به نظام مورد مطالعه و اثر این سامانه بر محیط اطراف داشت. بنابراین شاخص‌های وابسته به امرژی می‌تواند جزئیات بیشتری از مدیریت نظام تولیدی آشکار کند. شاخص‌های مورد نظر در این مطالعه شامل ضریب تبدیل و امرژی ویژه (SpE و Tr)، نسبت عملکرد امرژی (EYR)، نسبت بارگذاری محیطی و نسخه اصلاح شده آن (ELR و ELR*)، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی و نسخه اصلاح شده آن (EIR و EIR*)، شاخص پایداری محیط زیست و نسخه اصلاح شده آن (ESI و ESI*) و نسبت مبادله امرژی (EER) هستند.

کارایی استفاده از امرژی با استفاده از شاخص ضریب تبدیل در دانه بهتر از گندم بود. دلیل این امر بیشتر بودن ضریب تبدیل امرژی دانه در مقایسه با گندم است. مقدار شاخص نسبت عملکرد امرژی در این نظام ۶/۸۴ و شاخص پایداری محیط زیست ۰/۱۷۱ محاسبه شد که این اعداد نشان از وابستگی مزارع گندم به ورودی‌های رایگان محیطی داشت. با استفاده از حاصل شاخص نسبت مبادله امرژی (۶/۹۴) مشخص شد که امرژی دریافتی توسط تولید کننده کمتر از مقداری است که به نظام تولیدی وارد شده است. وابستگی مزارع گندم به نهاده‌های

پرداخت شده برای آن شناخته شده است. به عبارت دیگر، نسبت امرژی مبادله شده در یک فرایند (آنچه دریافت می‌شود) به آنچه داده می‌شود) است (Cavalett et al., 2006). هر چه مقدار حاصل از این شاخص بزرگتر باشد نشان می‌دهد که ارزش فروش یک محصول کمتر از مقدار امرژی است که برای تولید آن مصرف شده است. نسبت مبادله امرژی برای تولید گندم در منطقه مورد مطالعه ۶/۹۴ برآورد شد. EER محاسبه شده نشان می‌دهد که مقدار امرژی دریافت شده کمتر از میزان هزینه شده برای نظام تولیدی است. بنابراین دریافتی تولیدکننده کمتر از مجموع امرژی است که به نظام تولیدی تزریق می‌کند.

پایداری نظام

شاخص‌هایی که به بررسی پایداری محیط زیست می‌پردازند شامل درصد امرژی تجدیدپذیر و شاخص پایداری محیط زیست استاندارد و اصلاح شده هستند.

درصد امرژی تجدیدپذیر (R%)، نسبت مجموع امرژی تجدیدپذیر به کل امرژی ورودی به نظام تولیدی را بیان می‌کند (Brown and Ulgiati, 2004). نسبت امرژی تجدیدپذیر برای تولید گندم در منطقه سیستان ۳۴ درصد بود. مقدار برآورد شده نشان می‌دهد که یک سوم نهاده‌های ورودی به نظام تولید گندم از نوع تجدیدپذیر است. نسبت امرژی تجدیدپذیر برای گندم (۱۱/۵۴)، جو (۹/۰۵) و چغندر قند (۲۰/۸۱) در خوشاب (Fallahinejad et al., 2021) و کلزای معیشتی و تجاری (۱۹/۹۰ و ۵/۳۰) در لرستان (Amiri et al., 2019) کمتر از گندم در منطقه هدف مطالعه بود. این در حالی است براون و اولجیاتی معتقدند در بلند مدت، تنها فرایندهایی با درصد تجدیدپذیری بالا پایدار هستند (Brown and Ulgiati, 2004).

شاخص‌های بعدی که در این گروه قرار می‌گیرند، شامل شاخص‌های پایداری محیط زیست و نسخه اصلاح شده آن (ESI و ESI*) هستند. ESI حاصل تقسیم EYR بر ELR است. یعنی یک اندازه‌گیری جمعی از سهم بالقوه در نظام بزرگتر (EYR) به ازای هر واحد بارگذاری تحمیلی در نظام محلی (ELR) صورت می‌گیرد (Brown and Ulgiati, 2004). در توصیف مقدار حاصل از این شاخص این‌گونه آمده است که در صورت بالاتر از ۱۰ بودن، نظام پایدار و کوچکتر از یک

در مزرعه و آبیاری در مراحل فنولوژیک حساس به تنش خشکی می‌تواند موجب کاهش هزینه‌های اقتصادی و اکولوژیک و افزایش عملکرد شود.

محیطی نشان از سنتی بودن این نظام‌های تولیدی در منطقه سیستان دارد. هم‌چنین این منطقه معمولاً با تنش خشکی نیز مواجه است. استفاده از ماشین‌آلات برای کاشت بذر، حفظ بقایا

References

- Acevedo, M., Zurn, J. D., Molero, G., Singh, P., He, X., Aoun, M., ... & McCandless, L., 2018. The role of wheat in global food security. In *Agricultural development and sustainable intensification*, pp. 81-110.
- Amaral, L.P., Martins, N. and Gouveia, J.B., 2016. A review of emergy theory, its application and latest developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, pp.882-888. doi: **10.1016/j.rser.2015.10.048**
- Amini, S.h., Rohani, A., Aghkhani, M.H., Abbaspour-Fard, M.H. and Asgharipour, M.R., 2020. Sustainability assessment of rice production systems in Mazandaran Province, Iran with emergy analysis and fuzzy logic. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 40, p.100744. doi: **10.1016/j.seta.2020.100744**
- 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, pp.1051-1066. doi: **10.1016/j.jclepro.2019.04.091**
- Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E., Azizi, Kh., Kakolvand, E. and Hassani Moghadam, E., 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, p.126000. doi: **10.1016/j.jclepro.2021.126000**
- 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, p.109021. doi: **10.1016/j.ecolmodel.2020.109021**
- 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, pp: 2-25. doi: **10.1007/s10661-018-7123-3**
- Bastianoni, S., Pulselli, F.M., Castellini, C., Granai, C., Dal Bosco, A. and Brunetti, M., 2009. Emergy evaluation and the management of systems towards sustainability: A response to Sholto Maud. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 120, pp.472-474. doi: **10.1016/j.agee.2006.08.010**
- Battenfield, S.D., Guzman, C., Gaynor, R.C., Singh, R.P., Pena, R.J., Dreisigacker, S. and Poland, J. A., 2016. Genomic selection for processing and end-use quality traits in the CIMMYT spring bread wheat breeding program. *The Plant Genome*, 9, pp.1-12. doi: **10.3835/plantgenome2016.01.0005**
- 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.T., Odum, H.T. and Jorgensen, S.E., 2004. Energy hierarchy and transformity in the universe. *Ecological Modelling*, 178, pp.17-28. doi: **10.1016/j.ecolmodel.2003.12.002**

- Brown, M.T. and Ulgiati, S., 1998. Emergy-based indices and ratio to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecological Engineering*, 9, pp.51-69. **doi: 10.1016/s0925-8574(97)00033-5**
- Brown, M.T. and Ulgiati, S., 2004. Emergy analysis and environmental accounting. *Encyclopedia of Energy*, 2, pp.329-354.
- 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.T., Campbell, D.E., De Vilbiss, Ch. and Ulgiati, S., 2016. The geobiosphere emergy baseline: A synthesis. *Ecological Modelling*, 339, pp.92-95. **doi: 10.1016/j.ecolmodel.2016.03.018**
- Campbell, D.E. and Erban, L., 2016. A reexamination of the emergy input to a system from the wind. In: Brown, M.T., Sweeney, S., Campbell, D.E., Huang, S., Rydberg, T., Ulgiati, S. (Eds.), *Proceedings of the Ninth Biennial Emergy Research Conference*, pp.13–19 Gainesville.
- Campbell, D.E., Brandt-Williams, S.L. and Meisch, M.E.A., 2005. Environmental accounting using emergy: evaluation of the state of West Virginia (No. EPA/600/R-05/006). *USEPA, Narragansett, RI.*
- Cavalett, O., Queiroz, J.F.D. and Ortega, E., 2006. Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. *Ecological Modelling*, 193, pp.205-224. **doi: 10.1016/j.ecolmodel.2005.07.023**
- Cochran, W.G. 1942. Sampling theory when the sampling-units are of unequal sizes. *Journal of the American Statistical Association*, 37, pp.199-212.
- Cuadra, M. and Rydberg, T., 2006. Emergy evaluation on the production, processing and export of coffee in Nicaragua. *Ecological Modelling*, 196(3-4), pp.421-433. **doi: 10.1016/j.ecolmodel.2006.02.010**
- Dorado, M.P., Cruz, F., Palomar, J.M. and Lopez, F.J., 2006. An approach to the economics of two vegetable oil-based in Spain. *Renewable Energy*, 31(8), pp.1231-1237. **doi: 10.1016/j.renene.2005.06.010**
- 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, p.100083. **doi: 10.1016/j.crsust.2021.100083**
- Fallahinejad, S., Armin, M. and Asgharipour, M.R., 2022. The effect of farm size on the sustainability of wheat production using emergy approach. *Current Research in Environmental Sustainability*, 4, p.100161. **doi: 10.1016/j.crsust.2022.100161**
- Fluck, R.C., 1992. Energy in farm production. In: Stout, B.A. (Ed.), *Energy in World Agriculture*, vol. 6. Elsevier Science Publishers BV, Amsterdam.
- Hau, J.L. and Bakshi, B.R., 2004. Promise and problems of emergy analysis. *Ecological Modelling*, 178 (1-2), pp.215-225. **doi: 10.1016/j.ecolmodel.2003.12.016**
- Iran Statistics Center, population and housing census results., 2014. Sistan and Baluchistan province.
- Jaklic, T., Juvancic, L., Kavcic, S. and Debeljak, M., 2014. Complementarity of socio-economic and emergy

- evaluation of agricultural production systems: The case of Slovenian dairy sector. *Ecological Economics*, 107, pp.469-481. doi: **10.1016/j.ecolecon.2014.09.024**
- Lu, H., Bai, Y., Ren, H. and Campbell, D.E., 2010. Integrated energy, 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, pp.2727-2735. doi: **10.1016/j.jenvman.2010.07.025**
- Lu, H.F., Tan, Y.W., Zhang, W.Sh., Qiao, Y.Ch., Campbell, D.E., Zhou, L. and Ren, H., 2017. Integrated energy and economic evaluation of lotus-root production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. *Journal of Cleaner Production*, 158, pp.367-379. doi: **10.1016/j.jclepro.2017.05.016**
- Lu, H., Kang, W.L., Campbell, D.E., Ren, H., Tan, Y.W., Feng, R.X., Luo, J.T. and Chen, F. P., 2009. Emergy and economic evaluations of four fruit production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. *Ecological Engineering*, 35, pp.1743-1757. doi: **10.1016/j.ecoleng.2009.08.001**
- Odum, H.T., 1996. Environmental accounting: emergy and environmental decision making. Wiley, New York, 379p.
- Odum, H.T. and Peterson, N., 1996. Simulation and evaluation with energy systems blocks. *Ecological Modelling*, 93, pp.155-173. doi: **10.1016/0304-3800(95)00221-9**
- Ridolfi, R., Pulselli, F.M., Morandi, F., Oliveira, M. and Bastianoni, S., 2019. Emergy and sustainability. *Earth Systems and Environmental Sciences*, 4, pp.294-306. doi: **10.1016/B978-0-12-409548-9.00590-X**
- Rydberg, R. and Haden, A.C., 2006. Emergy evaluations of Denmark and Danish agriculture: Assessing the influence of changing resource availability on the organization of agriculture and society. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 117, pp.145-158. doi: **10.1016/j.agee.2006.03.025**

Evaluation of economic and ecological characteristics of wheat production system in Sistan region using emergy analysis technique

Fatemeh Enayat¹, Ahmad Ghanbari², Mohammad Reza Asgharipour², Esmaeel Seyedabadi²

¹ PhD Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

² Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

*Corresponding Author: m_asgharipour@uoz.ac.ir

Received: 6 December 2022 Accepted: 13 January 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.375746.1299

Abstract

Introduction: Wheat is the most important agricultural product in Sistan, which, depending on the availability of water, provides a substantial portion of the region's farmers with a living. Consequently, farmers attempt to expand their cultivated area. But any progress towards increasing production will be valuable if it continues for an extended period of time, particularly the continuation of the production of this product, which is of great importance in terms of meeting a portion of families' food needs and generating income for its producers. Proper management of the production system, environment, and natural resources is required to ensure the long-term sustainability of this crop. In order to determine whether this production system will continue to exist in the future, it is necessary to examine the production stability of these systems by analyzing the total input and the effect of these inputs on the substrate and the surrounding environment. Consequently, it was decided to evaluate the sustainability of wheat production in the Sistan region by employing the emergy analysis technique and determining the contribution of each input and their impact on the production system and the surrounding ecosystems using this method's indicators. The emergy exchange ratio was used to assess the sustainability of wheat systems in this article.

Materials and Methods: In 2020, wheat fields in Sistan (including Zabol, Zahak, Hamoun, Nimrouz, and Hirmand) were surveyed for this study. Each category was further subdivided into renewable and nonrenewable categories. Regional meteorological stations recorded renewable environmental inputs. The USLE model was used to calculate soil erosion, and wheat fields were measured for organic matter changes. The amount of economic inputs was determined by interviewing wheat farmers, and the amount of machinery was based on its lifespan. The ISO1928 method defines energy output in calories. Multiplying the total input current by the transformities yielded solar emjoules (sej). In addition to inputs, emergy indices, a function of environmental and purchased flows, must be calculated to evaluate wheat production sustainability. The desired indicators for this study are transformity (Tr), specific emergy (SpE), emergy renewability percentage (R%), emergy yield ratio (EYR), environmental load ratios (ELR and ELR*), environmental sustainability indices (ESI and ESI*), emergy investment ratios (EIR and EIR*), and emergy exchange ratio (EER).

Results and Discussion: It was important that environmental inputs contributed $5.35E+16$ sej ha⁻¹ yr⁻¹ to the total inputs that the production system required. Both EYR and EIR have favourable values, as a result of the strong impact that environmental inputs have on the production process. Considering that all methods of production include the use of natural resources, it is inevitable that there would be negative effects on the surrounding ecosystem. As a result of the significance of this matter, an index that has been given the name environmental loading ratio has been established in order to provide an approximation of the amount of pressure that this system puts on the environment. The determined value of this index is 3.85, which suggests that the manufacturing system only puts a moderate amount of stress on the environment. However, taking into account the fact that this system was sustained by 34% renewable resources, the revised environmental load ratio index caused the production system to behave more flexibly with the ecosystems that were located in its immediate vicinity.

Conclusion: The normal operation of a production system requires the interaction of natural and purchased inputs, and the absence of one of these inputs causes more of the other type to be

introduced. The substantial contribution of natural resources to the production process, relative to purchased inputs, demonstrated that wheat production in the Sistan region is traditional. This traditional production method has had the greatest impact on wheat production in the region due to soil erosion. Therefore, management practices that preserve plant residues within the field can have a positive effect on the region's wheat production.

Keywords: Environmental loading ratio, Farmers' livelihood, Renewable inputs, Soil erosion, Sustainability assessment