تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۲، ص ۲۲۳-۱۹۷

مقاله پژوهشی

تحلیل امرژی نظام‌های تولید محصولات زراعی و تلفیقی روستای بلند سیستان

فرشاد گلشنی[۱]، محمدرضا اصغری پور[۲*]، سید احمد قنبری[۲]، اسماعیل سیدآبادی[۲]

۱-دانش آموخته دکتری اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۲- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
* مسئول مکاتبه: m_asgharipour@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱ /۰۲/۰۶ **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.330716.1195**

چکیده

در سال‌های اخیر تلفیق فعالیت‌های زراعی و دامپروری به‌منظور مقابله با مشکلات ناشی از نظام‌های فشرده تولید موردتوجه قرار گرفته است. هدف از این مطالعه ارزیابی چگونگی تأثیر یک نظام یکپارچه تولید زراعی و دامی بر پایداری اکولوژیکی نظام‌های تلفیقی و مقایسه با نظام منفرد تولید محصولات زراعی با استفاده از رهیافت تحلیل امرژی بود. این مطالعه با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده از سطح نظام‌های خرده مالکی اراضی کشاورزی و دام‌های روستای بلند، سیستان، ایران در سال ۱۳۹۸ انجام شد. مقدار امرژی حمایت کننده از نظام‌های تولید زراعی و تلفیقی روستای بلند سیستان به ترتیب $۴/۴۱\times۱۰^{۱۸}$ و $۹/۴۳\times۱۰^{۱۸}$ امژول خورشیدی در سال بود. نتایج مربوط به مقادیر امرژی ویژه (SE)، نسبت عملکرد امرژی (EYR)، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR)، نسبت بار محیطی (ELR)، نسبت مبادله امرژی (EER)، تراکم سود خالص (NBD) و نسبت خروجی به ورودی‌های اقتصادی (O/I) نشان داد که نظام تلفیقی به دلیل روابط متقابل مثبت بین اجزاء زراعی و دامی در کنار پایداری محیط زیستی بالا، سود خالص بالاتری را نسبت به نظام‌های زراعی منفرد حاصل می‌نماید. نتایج نشان داد تلفیق محصولات زراعی و دام این پتانسیل را دارد که ضمن کاهش ریسک اقتصادی و افزایش سودآوری، مزایای زیادی برای حفاظت از منابع خاک و آب و بهره‌وری از چرخه مواد مغذی ایجاد کند؛ بنابراین، یک نظام تولید یکپارچه محصولات زراعی-دامی به‌عنوان گزینه مناسب برای تولیدکنندگان جهت تنوع بخشیدن به عملیات کشاورزی جهت جلوگیری از مخاطرات، بهبود تولید اکولوژیکی محصولات و جلوگیری از آسیب‌های محیطی ناشی از فرسایش خاک و از بین رفتن عناصر غذایی، توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی پایداری، اقتصاد محیط زیست، بار زیست محیطی، نهاده‌های تجدیدپذیر

مقدمه

منابع طبیعی در حال حاضر برای تولید غذا تحت فشار زیادی قرار دارند و یافتن راه‌حل‌هایی که بدون استفاده از آب بیشتر یا ایجاد تخریب محیط منجر به افزایش تولید مواد غذایی شود، ضروری است (Muzari, 2014; Amiri *et al*., 2020). به دلیل تأمین تقاضای روزافزون برای محصولات کشاورزی و درعین‌حال حفظ خدمات محیطی بوم‌نظام‌ها، تخصیص بهینه منابع ضروری است. در سال‌های اخیر همراه با پیشرفت‌های تکنولوژیکی و جهانی‌شدن اقتصاد، کشاورزی تبدیل به فعالیت اختصاصی پرورش جداگانه محصولات تلفیقی و زراعی شده است (Clark, 2004; Sneessens *et al*., 2016). محصول دانه و علوفه تولیدی در مزارع اختصاصی برای تغذیه دام‌هایی استفاده می‌شوند که در همان منطقه و یا در هزاران کیلومتر دورتر پرورش داده می‌شوند و هیچ ارتباط اکولوژیکی با تولید محصول زراعی ندارند. این تخصصی شدن فعالیت‌های کشاورزی در عین حال که تولید را افزایش می‌دهد ترسیب کربن و تنوع زیستی را کاهش و مشکلات محیطی را تشدید می‌کند (Sumberg, 2003). از سویی دیگر، نظام‌های کشاورزی تخصصی به شدت به نهاده‌های بازاری وابسته هستند. باتوجه به هزینه‌های بالای تهیه نهاده‌های خارجی برای تولید محصولات زراعی و دامی، شناسایی نقاط مهم هدر رفتن مواد مغذی و رویکردهایی برای بهبود چرخه مواد مغذی ضروری است.

کشاورزی تلفیقی، نوعی از نظام‌های متنوع کشاورزی است که در آن محصولات زراعی، انواع دام، ماکیان، ماهی و غیره به اشکال مختلف در یک واحد پرورش داده می‌شوند (Duan *et al*., 2019). این شیوه‌ها می‌توانند شامل چرای دام روی محصولات زراعی و بقایای آن‌ها، یا کاشت محصولات زراعی علوفه‌ای برای تغذیه دام‌ها باشد (Wiesner *et al*., 2020; Amiri *et al*., 2022). نظام‌های تلفیقی علاوه بر اتکای کمتر به نهاده‌های ورودی خارجی، پتانسیل بیشتری برای تقلید از

ساختار و عملکرد بوم‌نظام‌های طبیعی دارند (Franzluebbers, 2007). در نظام‌های تلفیقی، برهم‌کنش‌های زراعت و دامپروری ایجاد هم‌افزایی نموده، امکان استفاده حداکثری از منابع موجود را فراهم می‌آورد و ریسک تولید و عدم استفاده از ضایعات را به حداقل می‌رساند. تلفیق زراعت و دامپروری بر این فرض استوار است که از فرآورده‌های جانبی این دو نظام در یک واحد مزرعه استفاده می‌شود (Wolmer, 1997). ادغام فعالیت‌های زراعی و دامی می‌تواند به‌واسطه استفاده بهینه از منابع طبیعی، بهره‌برداری از فرایندهای کنترل طبیعی آفات، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی آب، بهبود چرخه‌های کربن، نیتروژن و فسفر در خاک و بهبود ساختار خاک مزایای عمده‌ای برای محیط و توسعه پایدار نظام کشاورزی داشته باشد (Franzluebbers, 2007). در چنین نظام‌هایی از بقایای محصول می‌توان برای خوراک دام استفاده کرد، درحالی‌که محصولات جانبی پرورش دام می‌توانند باعث بهبود باروری خاک شوند و استفاده از کودهای شیمیایی را کاهش دهند (Schiere and Katere, 2001). علاوه بر این، تنوع در تولیدات کشاورزی باعث کاهش خطرات اقلیمی و جلوگیری از تأثیرات نوسانات قیمت محصولات می‌شود (World Bank, 2006)؛ بنابراین، کشاورزی تلفیقی فشرده به‌عنوان کارآمدترین و پایدارترین راهکار برای افزایش تولید مواد غذایی در مناطق کمتر توسعه‌یافته شناخته می‌شود (Muzari, 2014) و نظام‌های کشاورزی تلفیقی نسبت به نظام‌های اختصاصی پایداری اکولوژیکی بیشتری دارند (Bell *et al*., 2014).

ایجاد و حفظ پایداری در کشاورزی به تکنیک‌های جامعی برای ارزیابی و تحلیل پایداری نیاز دارد (Quintero-Angel and Gonzalez-Acevedo, 2018). از روش‌های جامع در ارزیابی پایداری در نظام‌های کشاورزی برآورد کمیت و کیفیت انرژی با استفاده از تحلیل امرژی است (Amiri *et al*., 2019). امرژی، انرژی در دسترس خورشیدی است که به طور مستقیم یا غیرمستقیم استفاده می‌شود تا به ارائه خدمات و یا محصول منجر شود. به امرژی، انرژی مجسم یا "حافظه انرژی" نیز می‌گویند. استفاده از رویکرد امرژی در جهت هدایت سیاست‌گذاری‌ها می‌تواند به رابطهٔ همزیستی میان انسان و طبیعت منجر شود (Wang *et al*., 2014). در سال‌های اخیر از تکنیک تحلیل امرژی به طور گسترده‌ای برای مقایسه نظام‌های طبیعی و کشاورزی، ارزیابی اثرات محیطی تولید در مقیاس‌های مختلف، تعیین بهره‌وری، پایداری و کارایی استفاده از منابع استفاده شده است (Zhang *et al*., 2007; de Barros *et al*., 2009; Campbell *et al*., 2009; Fallahinejad and Armin, 2022; Shahhoseini and Kazemi, 2022).

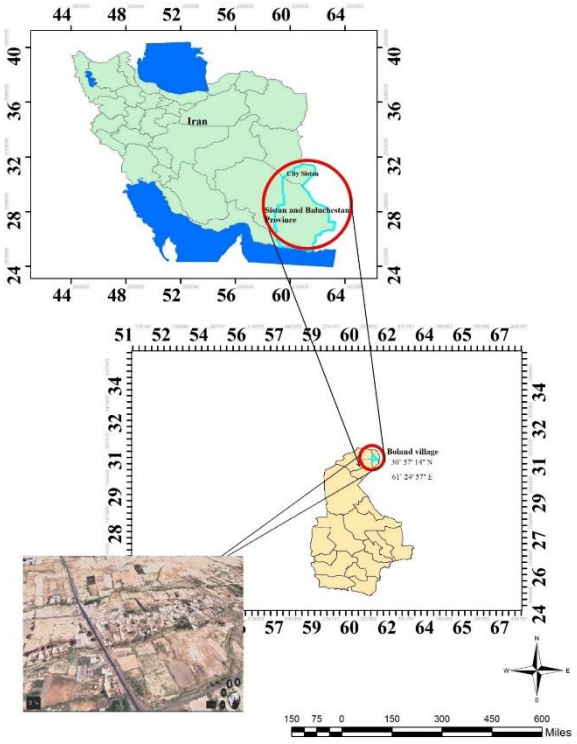
اقتصاد منطقه سیستان ایران عمدتاً بر پایه کشاورزی است و اکثر مردم در نواحی روستایی این منطقه برای تغذیه مستقیماً به تولیدات خود متکی هستند. نظام‌های کشاورزی مستقر در مناطق روستایی سیستان متکی به نیروی انسانی و منابع داخلی نظام هستند و از فن‌آوری‌های نوین کشاورزی برخوردار نیستند. در طی قرن‌ها کشاورزان محلی به تجربه دریافته‌اند تولید در نظام‌های زراعی و تلفیقی مزایای زیادی برای آن‌ها دارد و کشت در غلب این دو نظام ستون کشاورزی خرده مالکی مناطق روستایی سیستان را تشکیل می‌دهد (van Beek *et al*., 2008). در سیستان نظام‌های زراعی عموماً بر مبنای تولید گندم شکل گرفته‌اند و در تناوب با گندم محصولات دیگری مانند جو و یونجه نیز کشت می‌شود. نظام‌های تلفیقی عمدتاً شامل پرورش گاو بومی، گوسفند و مرغ که همراه با محصولات زراعی یکساله بصورت تلفیقی تولید می‌شوند و با شرایط اقلیمی منطقه کاملاً سازگار است.

دستیابی به تولید پایدار در منطقه سیستان در هر دو بعد منطقه‌ای و ملی اهمیت زیادی دارد. مزایایی که نظام‌های تلفیقی و زراعی نسبت به سایر نظام‌های تخصصی شده دارند بحث‌برانگیز است (Sneessens *et al*., 2016). مکانیسم‌ها و ویژگی‌های نظام‌های تولید تلفیقی محصولات زراعی و دامی به‌منظور فراهم شدن امکان استفاده بهینه از منابع رایگان طبیعی، بهره‌برداری از کنترل طبیعی آفات و بهبود کارکردهای اجزاء نظام تلفیقی باید به طور جامع بررسی شود (Franzluebbers and Stuedemann, 2007). درحالی‌که مطالعات پیشین عموماً بر مطالعه نظام‌های جداگانه تولید محصولات زراعی و دامی متمرکز بودند، برای انجام این مطالعه ساختار نهاده‌های امرژی و پایداری نظام‌های تلفیقی روستای بلند ارزیابی شد. روستای بلند یک روستای دشتی است که در شهرستان هامون در شرق منطقه سیستان قرار دارد (Abbasi *et al*., 2017). تحلیل نظام‌های تلفیقی با استفاده از تکنیک امرژی و وارد نمودن نهاده‌های تأثیرگذار بر پایداری با واحد

یکسان امژول خورشیدی، می‌تواند تصویری گویا از وضعیت پایداری این نظام‌ها و بینش جدیدی را با تحلیل هزینه‌ها و مزایای مدیریت نظام‌های تولید در روستای بلند که با محدودیت‌های زیادی مواجه است ارائه دهد. یافته‌های چنین مطالعه‌ای می‌تواند اطلاعات تکمیلی را برای بهبود و توسعه کشت همراه با کاهش هزینه‌ها و تبعات منفی زیست محیطی به ارمغان بیاورد. بنابراین، هدف این مطالعه ارزیابی بهره‌وری و پایداری اکولوژیکی نظام‌های تلفیقی محصولات زراعی، دامی و نظام‌های منفرد زراعی با استفاده از رهیافت امرژی است.

مواد و روش‌ها

روستای بلند در دهستان تیمور آباد در فاصله ۱۷ کیلومتری شهر زابل در شمال استان سیستان و بلوچستان قرار دارد. این روستا در مختصات جغرافیایی ۳۴/۷۹۵۳ شمالی و ۳۴/۲۶۱۶۵ شرقی و ۴۷۴ متر ارتفاع از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱). براساس آماربرداری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰، روستای بلند ۶۴ خانوار و ۴۲۲ نفر جمعیت دارد. خاک اراضی این روستا از نوع رسوبات رودخانه‌ای است که همراه سیلاب از نقاط دوردست به دشت منتقل شده و در آنجا ته نشین شده‌اند (Zia Tavana, 1992). عمده خاک‌های این منطقه جزء رده Aridisols و Entisols است که دارای pH بیش‌تر از ۷ و شوری حدود ۵ دسی‌زیمنس بر متر است. منطقه سیستان دارای اقلیم نیمه بیابانی گرم و فراخشک است با حداقل دما در دی‌ماه ۷ درجه و حداکثر دما در تیر ماه بالای ۴۵ درجه گزارش شده است. از خصوصیات مهم اقلیمی این منطقه می‌توان به وزش بادهای شدید در طول ماه‌های خرداد تا شهریور (سیاه باد سیستان)، سالیانه بیش از ۲۶۰ روز آفتابی، دامنه تغییرات زیاد دما در شبانه روز، بارندگی متوسط سالیانه ۶۴ میلی‌متر با پراکندگی نامناسب، و بالا بودن دما به خصوص در فصل تابستان را نام برد (Tavousi and Raeispour, 2011). در زابل میانگین سالیانه دما ۲۱/۹ درجه سانتیگراد است.



شکل ۱- منطقه مطالعه در استان سیستان و بلوچستان و ایران

Figure 1- Study location within Sistan and Baluchestan Province and Iran

ترکیب کشاورزی روستای بلند شامل زراعت، پرورش دام و طیور است. زراعت و دامداری و پرورش طیور به‌صورت تلفیقی، اقتصاد عمده خانوارهای روستایی را تشکیل می‌دهد و فعالیت‌های دیگر به دلیل فراهم نبودن بستر مناسب گسترش

نیافته‌اند. ۱۵۴ نفر بهره‌بردار کشاورزی روستای بلند، مجموعاً ۲۸۳ هکتار اراضی زراعی و باغی روستا را زیر کشت محصولات کشاورزی شامل گندم، جو، یونجه و انگور برده و ۶۴ رأس گاو و گوساله، ۷۶۱ رأس گوسفند و ۱۹۵۰۰ قطعه مرغ بومی را پرورش می‌دهند (جدول ۱). منابع آب‌های سطحی منطقه متکی به رودخانه هیرمند است. به دلیل وضعیت خاص زمین شناسی، آب رفتی بودن دشت و ساختار رسی خاک منطقه امکان تشکیل سفره‌های آب زیر زمینی غنی در این منطقه وجود ندارد (Zia Tavana, 1992). با این حال اخیراً ۸ حلقه چاه کم عمق برای توسعه کشاورزی در روستای بلند حفر شده است. پرورش دام و طیور در روستا عمدتاً با اتکا به تولیدات زراعی روستا و بقایای گیاهی انجام می‌شود. بااین‌حال تعدادی از دامداران، دام‌ها را با روش نیمه فشرده و با استفاده از علوفه، کنسانتره و مکمل‌های غذایی پرورش می‌دهند. آب مورد استفاده برای پرورش دام و طیور از طریق چاه و آب رودخانه هیرمند در بهار تأمین می‌شود. ازآنجاکه پرورش دام و طیور معمولاً در دوره‌های یک‌ساله انجام می‌شود، اطلاعات لازم این بخش به‌صورت سالیانه جمع‌آوری شد.

جدول ۱- اشکال کاربری زمین در روستای بلند ایران

Table 1- Land use forms in the Boland village, Iran

کاربری زمین Land use		مساحت Area (m^2)	سهم Share (%)
اراضی زراعی Cropland	مزارع گندم Wheat farms	1.49E+06	37.80
	مزارع جو Barley farms	5.08E+05	12.89
	مزارع یونجه Alfalfa farms	1.35E+05	3.42
	باغات انگور Grape farms	4.44E+04	1.13
اراضی آیش Fallow land		1.20E+06	30.44
اراضی ساخت و ساز شده Built-up land		4.85E+03	0.12
چراگاه Pastureland		5.60E+05	14.21

جمع‌آوری اطلاعات

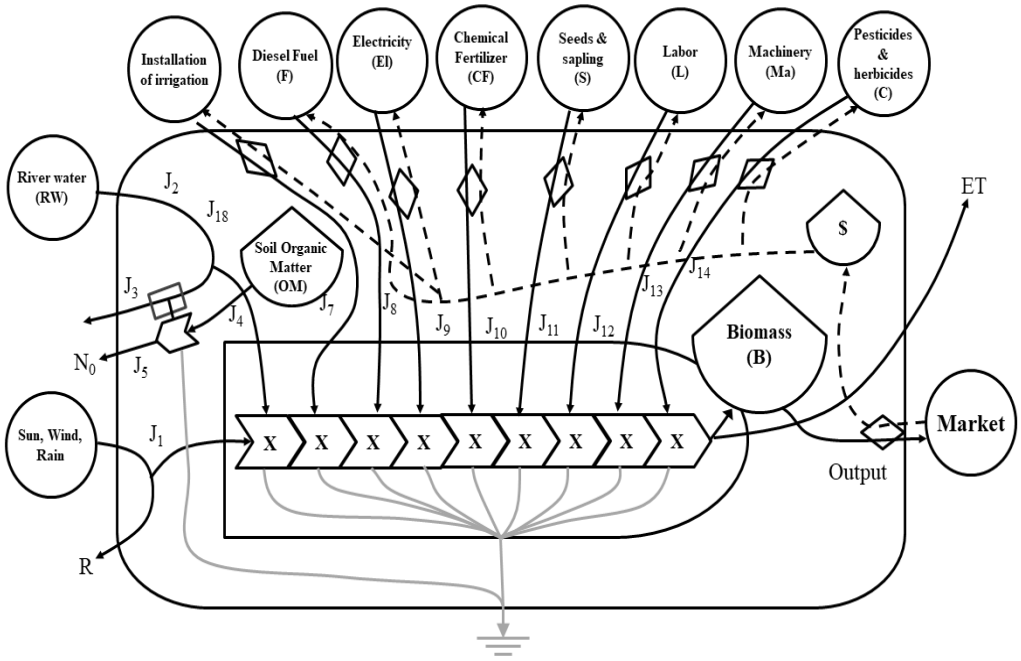
در این مطالعه به‌منظور ارزیابی ساختار امرژی ورودی، محاسبه شاخص‌های امرژی و تحلیل اقتصادی نهاده‌های مورد استفاده در اراضی زراعی و نظام‌های تلفیقی روستا در دوره زمانی یک‌ساله برای سال ۱۳۹۸ جمع‌آوری گردید. نهاده‌های مورد استفاده در نظام‌ها شامل نهاده‌های رایگان تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر و نهاده‌های غیر رایگان شامل ادوات و تأسیسات، ماشین‌آلات، نیروی انسانی، کودها، سموم، الکتریسیته، خوراک و مکمل‌های غذایی و دارویی و ستانده‌ها شامل دانه، کاه، میوه، گوشت، شیر و کود آلی تولیدی بود. این داده‌ها با استفاده از پایگاه اطلاعات جهاد کشاورزی، برآوردهای کلامی با استفاده از پرسش‌نامه چهره-به-چهره، و اندازه‌گیری‌های میدانی و مشاهدات محقق در طول دوره مطالعه گردآوری شد. آمار و اطلاعات هواشناسی بلندمدت برای تابش خورشیدی از ایستگاه هواشناسی سیستان به دست آمد. عناصر کود آلی به طور مستقیم اندازه‌گیری شد و مقدار مؤثر کودهای شیمیایی از Chen (2011) به‌دست آمد. جریان انرژی ورودی سالیانه به شکل تأسیسات ساختاری، ساختمان‌ها، ماشین‌آلات و مواد مورد استفاده در نظام‌ها باتوجه به طول عمر خدمات آن‌ها برآورد شد (Vassallo *et al*., 2007; Jafari *et al*., 2018).

روش تحلیل امرژی

تکنیک تحلیل امرژی توسط محققین مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است (Uligati *et al*., 1994; Odum, 1996; Odum *et al*., 2000; Brown and Ulgiati, 1998). نخستین مرحله برای تحلیل امرژی تعیین مرزهای مکانی و زمانی

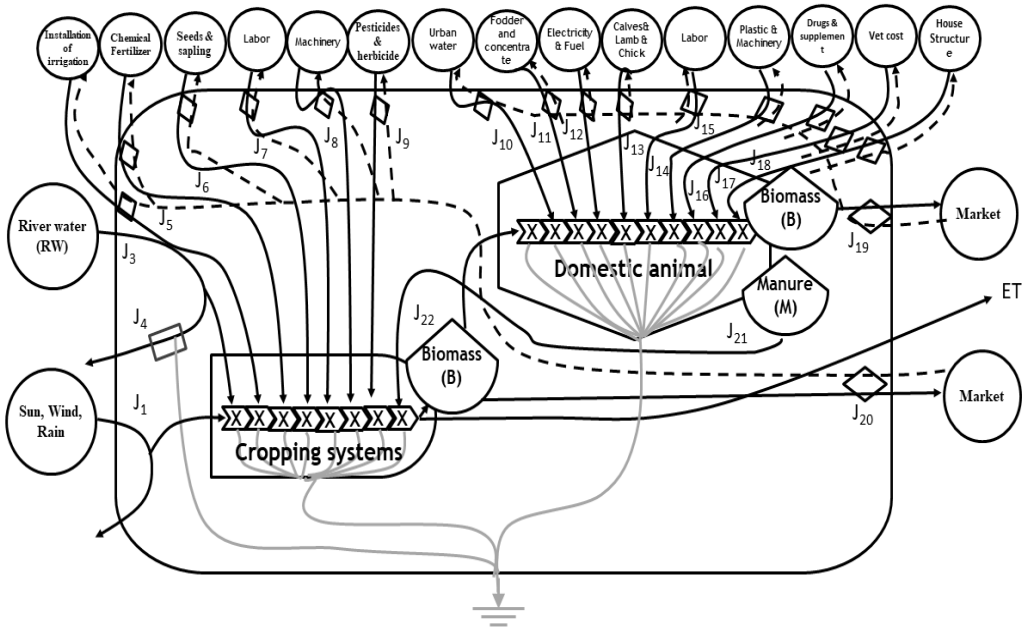
نظام‌های مورد بررسی و ترسیم دیاگرام انرژی برای طبقه‌بندی نهاده‌های نظام‌های مورد بررسی به تجدیدپذیر یا تجدیدناپذیر، محلی یا وارداتی است (شکل های ۲ و ۳). این روش برای مدیریت بین اجزای اصلی و فرایندهای مهم نظام اهمیت دارد.

زبان نظام‌های انرژی یک زبان نمادین است که ویژگی‌های شبکه‌ای نظام‌ها را نمایش می‌دهد (Odum, 1996). مرحله دوم تحلیل امرژی، ترسیم جداول ارزیابی امرژی است.



شکل ۲- نمودار خلاصه جریان‌های امرژی نظام‌های تولید زراعی روستای بلند، ایران

Figure 2- Summary diagram of the emergy flows of the cropping production systems in Boland village, Iran



شکل ۳- نمودار خلاصه جریان‌های امرژی نظام‌های تولید تلفیقی روستای بلند، ایران

Figure 3- Diagram of the emergy flows of the integrated production systems in Boland village, Iran

نهاده‌ها در نظام‌های تولیدی جهت بررسی به چهار دسته تقسیم می‌شوند (Lu *et al*. 2010): منابع محیطی تجدیدپذیر (R)، شامل: نور خورشید، باد، انرژی‌های شیمیایی و ژئوپتانسیل باران، آب رودخانه و تبخیر و تعرق؛ منابع محیطی تجدیدناپذیر (N)، شامل: تلفات ماده آلی خاک، فرسایش و آب‌های زیرزمینی؛ منابع خریداری شده تجدیدپذیر (FR) و منابع خریداری شده تجدیدناپذیر (FN) شامل: بذر، کودهای شیمیایی، کود آلی، نیروی کارگری، الکتریسیته، ماشین‌آلات کشاورزی، سوخت فسیلی، سموم و آفت‌کش‌های شیمیایی، علوفه دامی، مکمل‌های غذایی، هزینه ساختمان و زمین و تأسیسات است (Asgharipour *et al*., 2019 and 2020). آب از منبع رودخانه تجدیدپذیر در نظر گرفته شده و در دسته نهاده‌های R قرار گرفت و آب از منبع چاه تجدیدناپذیر بود و در دسته N دسته‌بندی شد.

متوسط فرسایش بادی ۲۷/۸۸ t ha^{-1} در نظر گرفته شد (Porsur, 2009). فرسایش آبی با مدل RUSLE[1] تخمین زده شد. نمونه‌های خاک از مکان‌های تحقیقاتی در اوایل مهرماه سال ۱۳۹۷ و سال ۱۳۹۸ برای ارزیابی نحوه تغییرات کربن آلی برداشت شد. در هر مکان نمونه‌های خاک در مرکز و چهارگوشه هر مزرعه با استفاده از یک اوگر برداشته شده و برای تشکیل یک نمونه مرکب روی‌هم ریخته شد. کربن آلی نمونه‌های خاک مزارع با استفاده از روش والکی و بلک (Schulte *et al*., 1996) اندازه‌گیری شد. همچنین عملکرد محصول اقتصادی و بیولوژیک مزارع محصولات مختلف، گوشت و شیر تولیدی گاوها و گوسفند و گوشت و تخم‌مرغ تولیدی مرغ‌ها اندازه‌گیری شد. امرژی ماشین‌آلات باتوجه‌به وزن فولاد به‌کاررفته، عمر اقتصادی ماشین، ساعات کار ماشین‌آلات در سال در نظر گرفته شد (Campbell *et al*., 2005). برای محاسبه امرژی بذر مصرفی و تجهیزات آبیاری از ضریب امرژی به ازاء واحد پول استفاده شد (Amiri *et al*., 2021). محتوای انرژی محصولات مختلف زراعی و دامی از طریق سوزاندن در بمب کالری‌متر (Parr-6200 Calorimeter) محاسبه شد. پس از کمی کردن همه جریان‌های ورودی برحسب ژول، گرم یا ریال برای هر یک از نظام‌ها، ورودی‌ها در ضرایب تبدیل آن‌ها ضرب شد تا به واحد امرژی (sej) تبدیل شود (Lu *et al*., 2009; Campbell *et al*., 2005; Odum *et al*., 2000). این ضرایب تبدیل برای هر جزء و محصول از مطالعات قبلی اقتباس شده است (Odom and Peterson, 1996, Odom, 2000; Lan *et al*., 2002; Brown and Ulgiati, 2004; Amiri *et al*., 2019). ضرایب تبدیل مختلفی برای هر مورد در منابع مختلف محاسبه شده است، و ضرایب تبدیل از مطالعاتی انتخاب شد که با شرایط مطالعه حاضر بیشترین شباهت را داشتند.

در تحلیل‌های امرژی از شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی‌های زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و حتی کیفیت محصولات تولیدیِ بوم‌نظام‌ها استفاده می‌شود (Ulgiati *et al*., 1994; Ortega *et al*., 2005; Cavalett *et al*., 2006; Lu *et al*., 2010 and 2018; Amiri *et al*., 2019). در این مطالعه از شاخص‌های امرژی ویژه (SE[2])، ارزش واحد امرژی (UEV[3])، درصد امرژی تجدیدپذیر (%R[4])، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR[5])، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی اصلاح شده (EIR*[6])، نسبت عملکرد امرژی (EYR[7])، نسبت بار محیط زیستی (ELR[8]) و نسخه اصلاح شده آن (ELR*)، پایداری محیط‌زیست (ESI[9]) و نسخه اصلاح شده آن (ESI*)، کسر مبادله امرژی (EER[10])، امرژی برای توسعه پایدار (EISD[11])، امرژی سلامت تولید (EIPS[12]) و شاخص نسبت فیدبک بازده امرژی (FYE[13]) استفاده گردیده که در جدول به همراه مشخصات و فرمول‌ها توصیف شده است (جدول ۲).

تحلیل اقتصادی کلاسیک بر پایه قیمت بازار

ورودی‌ها و خروجی‌های نظام‌های مختلف با استفاده از تحلیل اقتصادی متعارف از تحقیقات میدانی مورد ارزیابی قرار گرفت. به دلیل اینکه یک سال به‌عنوان مقیاس زمانی برای ارزیابی نظام‌های در نظر گرفته شد، ورودی‌ها و خروجی‌ها در

[1] Revised Universal Soil Loss Equation
[2] Specific Emergy
[3] Unit emergy value
[4] Renewable emergy ratio
[5] Emergy investment ratio
[6] Modified emergy investment ratio
[7] Emergy yield ratio
[8] Environmental loading ratio
[9] Environmental sustainability index
[10] Emergy exchange ratio
[11] Emergy index for sustainable development
[12] Emergy index of agricultural product safety
[13] Feedback ratio of yield emergy

این نظام‌ها به شکل سالیانه بیان شد. جریان سالانه ورودی‌ها و خروجی‌ها بر مبنای قیمت‌های بازار محلی در سال ۱۳۹۸ محاسبه شد. برای تجزیه‌وتحلیل شرایط اقتصادی سه نظام موردمطالعه از دو شاخص نسبت خروجی به ورودی (O/I[1]) و مقدار تراکم سود خالص (NBD[2]) استفاده گردید. برای تحلیل اطلاعات از نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۱۰ استفاده شد.

جدول ۲- مشخصات و فرمول شاخص‌های امرژی مورد استفاده برای ارزیابی نظام‌های روستای بلند

Table 2- Specifications and formula of emergy indicators used to evaluate Boland village systems

شاخص‌ها Indices	رابطه Formula	ویژگی ها Specifications
ضریب تبدیل Transformity (sej J^{-1})	$UEV = U\ (sej) / Output\ (J)$	It is the ratio of the emergy required to make a product or service to the available energy.
امرژی ویژه Specific Emergy (sej g^{-1})	$SpE = U\ (sej) / Output\ (g)$	It is the ratio of the emergy required to make a product to the biomass.
نسبت پس خور بازده عملکرد Feedback ratio of yield emergy	$FYE = (B_R + B_N) / (F_N + F_R)$	This index evaluates the self-organizing ability of the system: the higher the FYE, the higher the ability of the system to self-organize.
تجدیدپذیری امرژی Emergy Renewability	$\%R = [(R + F_R) / U] \times 100$	This index quantifies the reliance of each system on renewable energies.
نسبت عملکرد امرژی Emergy Yield Ratio	$EYR = U / (BR + B_N + F_N + F_R)$	This index is ratio of the input emergy to the purchased emergy. It evaluates the contribution of the resource output to the larger system per unit of emergy invested by that system.
نسبت سرایه گذاری امرژی Emergy Investment Ratio	$EIR = (F_N + F_R) / R + N + B_R + B_N$ $EIR^* = (F_N + F_R) / R$	These indices are the ratio of emergy resources purchased from outside to all free environmental emergy in the local system.
نسبت تبادل امرژی Emergy Exchange Ratio	$EER = U / YM$	The amount of emergy supplied to the economy by the producer divided by the amount of emergy obtained from the consumer.
نسبت بارگزاری محیطی Environmental Loading Ratio	$ELR = (F_N + F_R + N + B_R + B_N) / R$ $ELR^* = (F_N + N + B_N) / (R + F_R + B_R)$	These indices are an inverse measure of sustainability: the higher the value, the greater the environmental pressure of the system and the lower the sustainability of the system.
شاخص امرژی ایمنی محصولات کشاورزی Emergy index of agricultural product safety	$EIPS = 1 - [C \div (F_N + F_R)]$	It assesses the effect of chemical inputs use on product safety.
نسبت پایداری امرژی Emergy sustainability ratio	$ESI = EYR / ELR$ $ESI^* = EYR / ELR^*$	These indices measure the sustainability of the system. Higher yields and increased use of renewable energies lead to higher sustainability.
شاخص امرژی برای توسعه پایدار Emergy index for sustainable development	$EISD = EER \times EYR / ELR$	It assesses the market effects of emergy trading on the long-term viability of the system.

R = نهاده های محیطی تجدیدپذیر

R = Renewable environmental inputs

N = نهاده های محیطی تجدیدناپذیر

N = Non-renewable environmental inputs

F_R = نهاده های خریداری شده تجدیدپذیر

F_R = Renwable purchased inputs

F_N = نهاده های خریداری شده تجدیدناپذیر

F_N = Non-renewable purchased inputs

B_R = نسبت کسرعملکرد پس خور تجدیدپذیر

B_R = Renewable fraction of feedback inputs

B_N = نسبت کسرعملکرد پس خور تجدنایدپذیر

B_N = Non-renewable fraction of feedback inputs

$Y_M(sej\ Rials^{-1})$ = ارزش بازاری محصول اقتصادی× ضریب تبدیل پول

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

E = عملکرد اقتصادی

E = Economic yield

C = مجموع امرژی علف کش، آفت کش، کود شیمیایی، و داروهای دامی

C = The sum of herbicide, pesticide, fertilizer, veterinary drugs and disinfectants emergy

$U = R + N + B + FN + FR$

[1] Output to input ratio

[2] Net benefit density

نتایج و بحث

ساختار استفاده از امرژی

جهت درک بهتر ساختار استفاده از امرژی، جریان‌های امرژی ورودی در نظام‌های زراعی و تلفیقی به‌ترتیب در جدول‌های ۳ و ۴ به‌تفصیل آورده شده است. کلیه جریان‌های ورودی محیطی رایگان و خریداری شده تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر با ضرب‌در ضرایب تبدیل اقتباس شده از پژوهش‌های گذشته و قابل‌استفاده برای نظام‌های موردمطالعه به واحدهای امرژی تبدیل شدند. جریان کل امرژی ورودی در نظام‌های زراعی و تلفیقی به‌ترتیب برابر با $۴/۴۱\times۱۰^{۱۸}$ و $۹/۴۳\times۱۰^{۱۸}$ امژول خورشیدی در سال بود. نهاده‌های امرژی در نظام‌های تولیدی روستای بلند به جریان‌های محیطی تجدیدپذیر، جریان‌های محیطی تجدیدناپذیر و جریان‌های خریداری شده تقسیم شدند. نهاده‌های تبادلی میان زیربخش‌های زراعت و دامی نظام‌های تلفیقی نیز در دسته جریان‌های فیدبک دسته‌بندی شدند.

جدول ۳- اطلاعات خام، ضریب تجدیدپذیری، ارزش واحد امرژی، امرژی، ام ولیو، و ارزش بازاری جریان های طبیعی و اقتصادی در نظام های زراعی روستای بلند ایران

Table 3- Raw data, renewability factor (Ren. Factor), unit emergy value (UEV), emergy, Em-value and market value for natural and economic flows of the cropping production systems in Boland village, Iran

	آیتم Items	واحد Unit	کسر تجدیدپذیری Ren. Factor	اطلاعات خام Raw data	ارزش واحدامرژی UEV (sej unit^{-1})	امرژی Emergy (sej)	سهم Share (%)	ارزش امرژی Em-value (sej Rials^{-1})	ارزش بازاری Market value (million Rials)
	نهاده های محیطی تجدیدپذیر Environmental renewable inputs (R)								
1	نور خورشید Solar energy	J	1	6.39E+15	1.00E+00	6.39E+15	0.14	9.45E+07	0
2	نرژی جنبشی باد Wind, kinetic energy	J	1	2.20E+14	1.24E+03	2.73E+17	6.19	4.04E+09	0
3	انرژی شیمیایی باران Rain, chemical	J	1	1.66E+12	2.34E+04	3.88E+16	0.88	5.75E+08	0
4	انرژی ژئوپتانسیل باران Rain, geopotential	J	1	1.18E+10	3.54E+04	4.18E+14	0.01	6.18E+06	0
5	آب رودخانه River water	J	1	6.41E+12	3.61E+04	2.31E+17	5.25	3.42E+09	0
6	تبخیر و تعرق آب رودخانه ET, river water	J	1	7.17E+12	3.64E+04	2.61E+17	5.92	3.86E+09	0
	مجموع Subtotal					2.79E+17	6.33	4.13E+09	0
	نهاده های محیطی تجدیدپذیر Environmental non-renewable inputs (N)								
7	آب زیرزمینی Ground water	J	0	2.42E+11	1.92E+05	4.65E+16	1.05	6.87E+08	0
8	تبخیر و تعرق آب زیرزمینی ET, groundwater	J	0	2.66E+11	3.64E+04	9.68E+15	0.22	1.43E+08	0
9	تلفات موادالی خاک SOM reduction	J	0	1.39E+13	9.36E+04	1.30E+18	29.51	1.92E+10	0
10	فرسایش خاک Soil erosion	g	0	4.08E+08	1.27E+09	5.18E+17	11.75	7.67E+09	0
	مجموع Subtotal					1.88E+18	42.53	2.77E+10	0
	نهاده های خریداری شده Purchased inputs (FR & FN)								
11	کارگر Labor	J	0.1	5.89E+10	2.22E+06	1.31E+17	2.97	1.93E+09	590.0

ادامه جدول ۳

Table 3 continued

12	ماشین آلات Machinery	g	0	1.03E+06	1.01E+10	1.04E+16	0.24	1.54E+08	172.5
13	سیستم آبیاری Irrigation system	Rial	0	4.11E+08	6.76E+07	2.78E+16	0.63	4.11E+08	411.0
14	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	g	0	2.08E+07	3.09E+10	6.43E+17	14.58	9.51E+09	208.0
15	کود فسفر Phosphorus fertilizer	g	0	1.83E+07	2.82E+10	5.16E+17	11.70	7.63E+09	311.7
16	کود پتاس Potash fertilizer	g	0	8.28E+06	2.23E+09	1.85E+16	0.42	2.73E+08	203.6
17	کود میکرو Micro fertilizer	g	0	2.99E+05	2.05E+10	6.13E+15	0.14	9.07E+07	2.6
18	کود دامی Manure	g	0.2	2.39E+09	2.96E+08	7.07E+17	16.04	1.05E+10	3258.2
19	علف کش Herbicide	g	0	6.56E+05	6.30E+10	4.13E+16	0.94	6.11E+08	105.5
20	قارچ کش Fungicide	g	0	2.56E+05	6.30E+10	1.61E+16	0.37	2.39E+08	24.2
21	حشره کش Insecticide	g	0	1.86E+05	6.30E+10	1.17E+16	0.27	1.73E+08	18.8
22	الکتریسیته Electricity	J	0.07	5.73E+09	2.31E+05	1.32E+15	0.03	1.96E+07	4.8
23	بذر Seed	Rial	0.1	5.85E+08	6.76E+07	3.95E+16	0.90	5.85E+08	570.0
24	سوخت فسیلی و روغن Fuel and lubricant	g	0	9.89E+11	8.60E+04	8.51E+16	1.93	1.26E+09	18.4
	FR					1.65E+17	3.74	2.44E+09	-
	FN					2.09E+18	47.40	3.09E+10	-
	مجموع Subtotal					2.25E+18	51.14	3.34E+10	5899.3
	جمع کل Total					4.41E+18	100	6.52E+10	5899.3
	خروجی‌ها Outputs								
25	عملکرد گندم Wheat yield	g		4.63E+08					
26	کاه گندم Wheat straw	g		5.12E+08					
27	عملکرد جو Barley yield	g		1.28E+08					
28	کاه جو Barley straw	g		1.50E+08					
29	عملکرد یونجه Alfalfa yield	g		1.09E+08					
30	عملکرد انگور Grape yield	g		4.05E+06					

[a] Unit Emergy Value (UEV) references for respective row number: 1 (By definition); 2 (Campbell and Erban, 2017); 3, 6, 8 (Campbell, 2003); 4, 12 (Campbell et al., 2005); 5 (Campbell (man.)); 7 (Cuadra and Rydberg, 2006); 9, 14, 15 (Brandt-Williams, 2002); 10, 16, 18 (Odum, 1996); 11 (Lu et al., 2009); 13, 23 (Amiri et al., 2021); 17 (Lan et al., 2002); 19, 20, 21 (Maccanti et al., (man.)); 22 (Asgharipour et al., 2020); 24 (Bastianoni et al., 2009)

جدول ۴- اطلاعات خام، ضریب تجدیدپذیری، ارزش واحد امرژی، امرژی، ام ولیو، و ارزش بازاری جریان‌های طبیعی و اقتصادی در نظام‌های تلفیقی روستای بلند ایران

Table 4- Raw data, renewability factor (Ren. Factor), unit emergy value (UEV), emergy, Em-value and market value for natural and economic flows of the integrated production systems in Boland village, Iran

	آیتم‌ها Items	واحد Unit	ضریب تجدیدپذیری Ren. Factor	اطلاعات خام Raw data	ارزش واحد امرژی UEV (sej unit^{-1})	امرژی Emergy (sej)	سهم Share (%)	ارزش امرژی Em-value (sej Rials^{-1})	ارزش بازاری Market value (million Rial)
	نهاده های محیطی تجدیدپذیر Environmental renewable inputs (R)								
1	نور خورشید Solar energy	J	1	6.42E+15	1.00E+00	6.42E+15	0.07	9.50E+07	0
2	نرژی جنبشی باد Wind, kinetic energy	J	1	2.20E+14	1.24E+03	2.73E+17	2.89	4.04E+09	0
3	انرژی شیمیایی باران Rain, chemical	J	1	1.74E+12	2.34E+04	4.07E+16	0.43	6.02E+08	0
4	انرژی ژئوپتانسیل باران Rain, geopotential	J	1	1.18E+10	3.54E+04	4.18E+14	>0.01	6.18E+06	0
5	آب رودخانه River water	J	1	6.41E+12	3.61E+04	2.31E+17	2.45	3.42E+09	0
6	تبخیر و تعرق آب رودخانه ET, river water	J	1	7.17E+12	3.64E+04	2.61E+17	2.77	3.86E+09	0
	مجموع Subtotal					2.80E+17	2.96	1.20E+10	0
	نهاده های محیطی تجدیدپذیر Environmental non-renewable inputs (N)								
7	آب زیرزمینی Ground water	J	0	2.42E+11	1.92E+05	4.65E+16	0.49	6.87E+08	0
8	تبخیر و تعرق آب زیرزمینی ET, groundwater	J	0	2.66E+11	3.64E+04	9.68E+15	0.10	1.43E+08	0
9	تلفات موادالی خاک SOM reduction	J	0	1.39E+13	9.36E+04	1.30E+18	13.80	1.92E+10	0
10	فرسایش خاک Soil erosion	g	0	4.08E+08	1.27E+09	5.18E+17	5.49	7.67E+09	0
	مجموع Subtotal					1.88E+18	19.89	2.77E+10	0
	نهاده های پس خور Feedback inputs (B_R & B_N)								
11	کود دامی Manure	g	0.2	2.16E+09	2.96E+08	6.39E+17	6.78	9.46E+09	2,840
12	علوفه از مزارع Fodder from cropping	g	0.2	6.92E+08	5.37E+09	3.72E+18	39.41	5.50E+10	0
	B_R					8.72E+17	9.24	1.29E+10	
	B_N					3.49E+18	36.94	5.16E+10	
	مجموع Subtotal					4.36E+18	46.18	6.44E+10	2,840
	نهاده های خریداری شده Purchased inputs (F_R & F_N)								
13	کارگر Labor	J	0.1	7.12E+10	2.22E+06	1.58E+17	1.68	2.34E+09	712
14	ماشین آلات Machinery	g	0	1.24E+06	1.01E+10	1.25E+16	0.13	1.85E+08	211
15	سیستم آبیاری Irrigation system	Rial	0	4.11E+08	6.76E+07	2.78E+16	0.29	4.11E+08	411
16	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	g	0	2.08E+07	3.09E+10	6.43E+17	6.82	9.51E+09	208
17	کود فسفر Phosphorus fertilizer	g	0	1.83E+07	2.82E+10	5.16E+17	5.47	7.63E+09	312

ادامه جدول ۴

Table 4 continued

18	کود پتاس Potash fertilizer	g	0	8.28E+06	2.23E+09	1.85E+16	0.20	2.73E+08	204
19	کود میکرو Micro fertilize	g	0	2.99E+05	2.05E+10	6.13E+15	0.06	9.07E+07	2/6
20	علف کش Herbicide	g	0	6.56E+05	6.30E+10	4.13E+16	0.44	6.11E+08	106
21	قارچ کش Fungicide	g	0	2.56E+05	6.30E+10	1.61E+16	0.17	2.39E+08	24.2
22	حشره کش Insecticide	g	0	1.86E+05	6.30E+10	1.17E+16	0.12	1.73E+08	18.8
23	الکتریسیته Electricity	J	0.07	6.50E+09	2.31E+05	1.50E+15	0.02	2.22E+07	5.5
24	بذر Seed	Rial	0.2	5.85E+08	6.76E+07	3.95E+16	0.42	5.85E+08	570
25	سوخت فسیلی و روغن Fossil fuel and lubricant	J	0	1.06E+12	8.60E+04	9.12E+16	0.97	1.35E+09	19.8
26	آب شهری Urban water	J	0.8	1.18E+10	3.61E+04	4.26E+14	>0.01	6.30E+06	1.2
27	گوساله Calves	J	0.1	1.37E+11	1.23E+06	1.69E+17	1.79	2.49E+09	4,120
28	بره Lambs	J	0.2	3.72E+10	1.73E+06	6.44E+16	0.68	9.52E+08	641
29	جوجه یک روزه Day old chicks	J	0.05	1.42E+10	1.73E+06	2.46E+16	0.26	3.63E+08	221
30	سیستم غذاخوری Plastic feeding systems	g	0	6.47E+04	1.54E+09	9.96E+13	>0.01	1.47E+06	5.2
31	علوفه از بازار Fodder from market	Rial	0.2	1.49E+10	67600000	1.01E+18	10.68	1.49E+10	20,100
32	مکمل غذایی Dietary supplement	g	0	5.42E+04	1.48E+10	8.02E+14	0.01	1.19E+07	22.5
33	داروهای دامپزشکی و ضد عفونی کننده ها Veterinary drugs and disinfectants	g	0	3.56E+04	1.0E+09	3.56E+13	>0.01	5.27E+05	31.4
34	هزینه دامپزشک Vet visit cost	Rial	0	2.25E+07	6.76E+07	1.52E+15	0.02	2.25E+07	22.5
35	اصطبل Animal house construction	sej	0	6.97E+16	1.0E+00	6.97E+16	0.74	1.03E+09	18.7
	FR					5.41E+17	5.74	8.00E+09	
	FN					2.38E+18	25.24	3.52E+10	
	مجموع Subtotal					2.92E+18	30.97	4.32E+10	28,000
	جمع کل Total					9.43E+18	100	1.47E+11	30,800
	خروجی‌ها Outputs								
	عملکرد اقتصادی نظام های زراعی Economic yield of cropping systems	g		7.04E+08					
	عملکرد کاه Straw yield	g		6.62E+08					
	عملکرد گوشت Meat performance	g		5.81E+07					

ادامه جدول ۴

Table 4 continued

عملکرد شیر Milk performance	lit	1.43E+08
عملکرد تخم مرغ Egg performance	g	1.78E+08
کود دامی Manure	g	2.33E+08

[a] Unit Emergy Value (UEV) references for respective row number: 1 (By definition); 2 (Campbell and Erban, 2017); 3, 6, 8 (Campbell, 2003); 4, 14 (Campbell et al., 2005); 5, 26 (Campbell, man.); 7 (Cuadra and Rydberg, 2006); 9, 16, 17 (Brandt-Williams, 2002); 10, 11, 18 (Odum, 1996); 12, 35 (This work); 13 (Lu et al., 2009); 15, 24, 31, 34 (Amiri et al., 2021); 19 (Lan et al., 2002); 20, 21, 22 (Maccanti et al., (man.); 23 (Asgharipour et al., 2020); 25 (Bastianoni et al., 2009); 27, 28 (Alfaro-Arguello et al., 2010); 29 (Cheng et al., 2017); 30 (Brown and Buranakarn, 2003); 32, 33 (Castellini et al., 2006)

جریان‌های محیطی تجدیدپذیر (R)

در این مطالعه انرژی‌های نور خورشید، باد، باران، آب رودخانه و تبخیر و تعرق آب رودخانه جریان‌های محیطی تجدیدپذیر (R) را تشکیل دادند. باتوجه به این‌که این جریان‌ها به‌طور مستقیم از انرژی‌های نور خورشید منشعب می‌شوند جهت اجتناب از شمارش مضاعف بزرگ‌ترین آن‌ها به‌اضافه انرژی خورشیدی که در فتوسنتز مورد استفاده قرار می‌گیرد به‌عنوان امرژی جریان‌های محیطی تجدیدپذیر در نظر گرفته شد (Asgharipour *et al*., 2019).

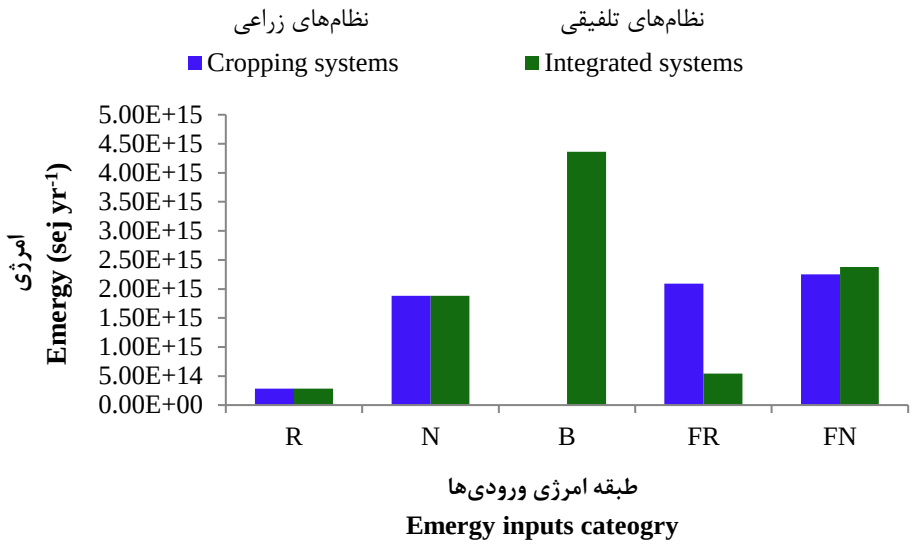
امرژی جریان‌های تجدیدپذیر به‌ترتیب برای نظام‌های زراعی و تلفیقی برابر با $۲/۷۹\times۱۰^{۱۷}$ و $۲/۸۰\times۱۰^{۱۷}$ امژول خورشیدی در سال بود. جریان‌های R به‌ترتیب ۶/۳۳ و ۲/۹۶ درصد از کل امرژی وارد شده به‌نظام‌های زراعی و تلفیقی را تشکیل داد (شکل ۴). کمتر بودن سهم R در نظام‌های تلفیقی نسبت به‌نظام‌های زراعی را می‌توان به وابستگی کمتر این نظام‌ها به منابع تجدیدپذیر رایگان به علت تأمین بخشی از نیاز امرژی ورودی توسط نهاده‌های فیدبک مرتبط دانست.

جریان‌های محیطی تجدیدناپذیر (N)

منابع تجدیدناپذیر محیطی (N) شامل آب‌های زیرزمینی، تبخیر و تعرق آب‌های زیر زمینی، فرسایش خاک و تلفات ماده آلی خاک است. در نظام‌های زراعی و تلفیقی مقدار امرژی جریان‌های N به‌ترتیب $۱/۸۸\times۱۰^{۱۸}$ و $۱/۸۸\times۱۰^{۱۸}$ امژول خورشیدی در سال بود. بیشترین سهم امرژی جریان‌های تجدیدناپذیر در نظام‌های زراعی و تلفیقی به‌ترتیب با مقادیر ۲۹/۵۱ و ۱۳/۸۰ درصد از امرژی ورودی مربوط به تلفات ماده آلی خاک بود. کاهش ماده آلی خاک در اثر عملیات خاک‌ورزی در مطالعاتی که روی بررسی پایداری دو نظام کشت سنتی و مکانیزه کلزا انجام شده است به اثبات رسیده است (Amiri et al., 2019,2020). مقدار ماده آلی خاک حاصل تعادل بین سطح ماده آلی در خاک و میزان برون رفت این ماده از نظام در اثر فرسایش و آبشویی و هم‌چنین تجزیه و استفاده توسط ریز موجودات درون خاک است. حفاظت و ازدیاد مواد آلی خاک دشوار است، زیرا ٪۷۵ مواد آلی صرف تأمین انرژی ریز موجودات خاک شده و به شکل دی اکسید کربن از خاک خارج می‌شود و ٪۲۵ باقی مانده مدت محدودی به‌شکل مواد آلی در خاک وجود خواهد داشت (Haynes and Naidu, 1998).

جریان‌های فیدبک (F_B)

باتوجه‌به برهم‌کنش زیربخش‌های زراعی و دامی نظام‌های تلفیقی، بخشی از منابع اقتصادی که از داخل نظام تهیه شده بودند برای تحلیل ساختار استفاده از امرژی در دسته جریان‌های فیدبک قرار گرفتند. در نظام‌های تلفیقی $۳/۴۹\times۱۰^{۱۸}$ امژول خورشیدی در سال بقایای محصول برای خوراک دام و $۸/۷۲\times۱۰^{۱۷}$ امژول خورشیدی در سال کود حیوانی جهت بهبود باروری خاک استفاده شد. این میزان به‌ترتیب ۹/۲۹ و ۳۶/۹۴ درصد از کل امرژی ورودی به‌نظام‌های تلفیقی را شامل می‌شود. منابع فیدبک باعث صرفه‌جویی قابل‌توجه نظام‌های تلفیقی در بخش امرژی نهاده‌های خریداری شده خصوصاً در بخش مصرف امرژی علوفه و کود دامی خریداری شده گردید. در نظام‌های زراعی منفرد مقدار ورودی منابع فیدبک به علت عدم وجود این تبادلات صفر بود.



شکل ۴- ساختار ورودی‌های امرژی برای نظام‌های تولید مختلف روستای بلند، ایران

Figure 4- Structure of emergy inputs for the different production systems in Boland village, Iran

جریان‌های ورودی خریداری شده (F_R & F_N)

مقدار ورودی‌های خریداری شده در نظام‌های زراعی و تلفیقی به‌ترتیب $۲/۲۵\times۱۰^{۱۸}$ و $۲/۹۲\times۱۰^{۱۸}$ امژول خورشیدی در سال بود. مقایسه منابع خریداری شده نشان داد علاوه بر اختلاف در کل امرژی ورودی‌های خریداری شده نظام‌ها، ساختار این ورودی‌ها نیز دارای تفاوت بود. این تفاوت در ارتباط مستقیم با نیازها و ویژگی‌های هر نظام و استفاده از منابع فیدبک در نظام‌های تلفیقی است. مقدار کل امرژی ورودی‌های خریداری شده در نظام‌های تلفیقی از نظام‌های زراعی بیشتر است که به علت وابستگی بیشتر به منابع خریداری شده در نظام‌های تلفیقی جهت تأمین نیازهای تولید دام است. در نظام‌های زراعی بزرگ‌ترین بخش جریان امرژی از ورودی‌های خریداری شده مربوط به کود دامی با سهم ۱۶/۰۴٪ از کل منابع خریداری شده بود. درحالی‌که در نظام‌های تلفیقی بیشترین درصد جریان منابع خریداری شده با مقدار ۱۰/۶۸٪ از کل منابع این بخش مربوط به علوفه خریداری شده بود. سهم جریان‌های خریداری شده در نظام‌های زراعی و تلفیقی از کل منابع استفاده شده در هر نظام نیز به‌ترتیب ۵۱/۱۴٪ و ۳۰/۹۷٪ بود که گویای وابستگی شدید نظام‌های زراعی به منابع انرژی خریداری شده و فسیلی و تأثیر مثبت ادغام فعالیت‌های زراعی و دامی در نظام‌های تلفیقی بر مصرف امرژی و مدیریت منابع است.

شاخص‌های امرژی

مقایسه شاخص‌های امرژی بین نظام‌های زراعی و تلفیقی می‌تواند در بیان تفاوت‌های بین نظام‌های موردمطالعه از جنبه‌های عملکردی مانند کارایی استفاده از منابع، تأثیرات محیطی و مزایای اقتصادی و هم‌چنین برای تعیین بهترین عملیات مدیریتی جهت حرکت به سمت کشاورزی پایدار سودمند باشد. همچنین علاوه بر کمک به افزایش قدرت رقابت در بازار باعث دستیابی به برآوردی واقعی از میزان جریان امرژی مصرفی در جهت تولیدات کشاورزی می‌گردد. با استفاده از این شاخص‌ها، امکان ارزیابی میزان بهره‌گیری نظام از جریان‌های منابع رایگان که طبیعت در اختیار ما قرار می‌دهد ایجاد می‌شود.

شاخص‌های امرژی مخصوص (SE) و ضریب تبدیل (Tr)

امرژی مخصوص (SE)، برای ارزیابی امرژی موردنیاز در واحد بیوماس تولیدی نظام استفاده می‌شود. SE مقدار امرژی مصرفی برای تولید هر واحد بیوماس برحسب واحد جرم، گرم یا کیلوگرم را بیان می‌کند (Odum, 2000; Zhang *et al.*, 2012a). هرچه بیوماس تولیدی نظامی به جریان امرژی حمایت‌کننده کمتری در واحد سطح جهت تولید نیاز داشته باشد، SE آن نظام کمتر است (Pizzigallo *et al.*, 2008). مقدار SE برای نظام‌های زراعی و تلفیقی به‌ترتیب $۳/۲۳\times۱۰^{۹}$ و $۴/۷۷\times۱۰^{۱۰}$ امژول خورشیدی در گرم محاسبه گردید (جدول ۵). در نظام‌های تلفیقی باتوجه به مصرف زیاد نهاده‌های

خریداری شده خصوصاً علوفه و کنسانتره برای تعلیف دام، مقدار SE به شـکل فزاینده‌ای افزایش یافت. در مطالعه‌ای مقادیر SE در شـاهد و چهار تیمار اصـلاحی افزودن ضـایعات چغندرقند، بیوچار کود مرغی، بیوچار سبوس برنج و کود شیمیایی به‌ترتیب ۱/۷۳×۱۰^{۱۰}، ۳/۴۹×۱۰^{۱۰}، ۳/۲۲×۱۰^{۱۰}، ۱/۴۴×۱۰^{۱۰} و ۱/۲۳×۱۰^{۱۰} امژول خورشیدی در گرم گزارش شد (Moonilall *et al*., 2020). در این پژوهش علت بزرگی SE در تیمار شاهد، مربوط به عملکرد کم آن نسـبت به تیمارهای اصـلاحی اسـت. شـاخص SE محاسـبه شـده برای بوم‌نظام‌های موسـیر در نظام زراعی حفاظتی و رویشـگاه طبیعی در اسـتان لرسـتان، ایران به‌ترتیب ۷/۰۵×۱۰^{۹} و ۱/۵۸×۱۰^{۹} امژول خورشـیدی در گرم بود (Amiri *et al*., 2021). این مقادیر SE نشـان داد در بوم‌نظام زراعی برای هر واحد بیوماس تولید موسـیر حدود پنج برابر رویشگاه طبیعی، امرژی استفاده شده است.

جدول ۵- شاخص‌های مبتنی بر امرژی در نظام‌های زراعی و تلفیقی روستای بلند ایران

Table 5- Emergy-based indices of the cropping and integrated production systems in Boland village, Iran

	واحد Unit	زراعی Cropping	تلفیقی Integrated
ضریب تبدیل Transformity (Tr)	sej J^{-1}	4.12E+05	5.65E+05
امرژی ویژه Specific emergy (SpE)	sej g^{-1}	3.23E+09	4.77E+09
تجدیدپذیری امرژی Emergy renewability (%R)	%	10.07	8.70
نسبت عملکرد امرژی Emergy yield ratio (EYR)		1.96	3.23
نسبت بارگزاری محیطی استاندارد Standard environmental loading ratio (ELR)		14.80	32.77
نسبت بارگزاری محیطی اصلاح شده Modified environmental loading ratio (ELR*)		8.94	4.58
نسبت سرمایه گذاری امرژی استاندارد Standard emergy investment ratio (EIR)		1.04	0.45
نسبت سرمایه گذاری امرژی اصلاح شده Modified emergy investment ratio (EIR*)		8.06	10.46
نسبت پایداری امرژی استاندارد Standard emergy sustainability index (ESI)		0.13	0.30
نسبت پایداری امرژی اصلاح شده Modified emergy sustainability index (ESI*)		0.22	0.71
ارزش امرژی محصول Emergy value of the product (Y_M)	sej	5.48E+19	5.71E+19
نسبت تبادل امرژی Emergy exchange raio (EER)		0.081	0.165
شاخص امرژی برای توسعه پایدار Emergy index for sustainabile development (EISD)		0.0114	0.0164
شاخص امرژی ایمنی محصولات کشاورزی Emergy index of agricultural product safety (EIPS)		0.45	0.990
نسبت پس خور بازده عملکرد Feedback ratio of yield emergy (FYE)		0.00	1.49
سود ناخالص Gross benefit (GB)	Rial	8.10E+11	8.45E+11
سود خالص Net banefit (NB)	Rial	7.51E+11	7.66E+11
نسبت خروجی به ورودی Output to Input ratio (O/I)		13.73	11.67

در تحلیل امرژی برای بررسی بازده امرژی تولید محصولات مختلف از ضریب تبدیل استفاده می‌شود (Brown and Ulgiati, 2004). نظامی که امرژی ورودی کمتری در میزان مشابهی از تولید محصول برحسب ژول دارد بهینه‌تر است (Odum 1996; Brown *et al*., 2000). هنگام مقایسه نظام‌های مختلف تولید با محصول یکسان، ضریب تبدیل کوچک‌تر نشان‌دهنده بهره‌وری بالاتر است، زیرا منابع کمتری برای تولید محصول نیاز است (Odum, 1996; Yang *et al*., 2013). مقادیر ضریب تبدیل در نظام‌های زراعی و تلفیقی به‌ترتیب $۴/۱۲\times۱۰^{۵}$ و $۵/۶۵\times۱۰^{۵}$ امژول خورشیدی در گرم به دست آمد (جدول ۵). بالاتر بودن بازده امرژی در نظام‌های زراعی نسبت به‌نظام‌های تلفیقی را می‌توان به دلیل کمتر بودن امرژی ورودی در نظام‌های زراعی نسبت به نظام‌های تلفیقی دانست. در نظام‌های تلفیقی اگرچه مقدار امرژی ورودی به‌نظام به علت وجود عامل دام از نظام‌های زراعی بیشتر بود، ولی باتوجه‌به تأثیر منابع فیدبک در کاهش مقدار امرژی ورودی و تولید بالاتر آن در مقایسه با نظام‌های زراعی بازده امرژی این نظام مطلوب ارزیابی گردید. مقایسه مقادیر UEV برای چهار نظام گلخانه‌ای مطالعه شده در جیرفت، ایران نشان داد که بهره‌وری امرژی ورودی نظام‌های تولید خیار به‌ترتیب ٪۴۳، ٪۸۸ و ٪۷۳ بیشتر از نظام‌های تولید گوجه‌فرنگی، فلفل‌دلمه‌ای و بادمجان است (Asgharipour *et al*., 2020). باتوجه به کمتر بودن تفاوت بین امرژی ورودی نظام‌ها نسبت به تفاوت در ضریب تبدیل چهار نظام، دلیل اصلی کارآیی بیشتر امرژی ورودی نظام خیار، تولید بیشتر خیار در واحد سطح در مقایسه با سه نظام دیگر است. ضریب تبدیل نظام‌های مختلف تولید لوبیای خرم دشت، ایران با سطوح متفاوت امرژی‌های ورودی در دامنه مقادیر $۱/۷۱\times۱۰^{۵}$ تا $۳/۰۲\times۱۰^{۵}$ امژول خورشیدی در ژول گزارش شده است (Asgharipour *et al*., 2019).

درصد تجدیدپذیری امرژی (R٪)

درصد تجدیدپذیری ورودی‌های امرژی توسط شاخص درصد تجدیدپذیری امرژی (R٪) شرح داده می‌شود. نظام‌های تولیدی که مقدار بیشتری از امرژی مصرفی آنها مربوط به منابع تجدیدپذیر است در طول زمان احتمالاً پایدارتر هستند (Zhang and Long., 2010). R٪ نظام‌های زراعی و تلفیقی روستای بلند به‌ترتیب ٪۱۰/۰۷، ٪۸/۰۷ محاسبه شد (جدول ۵). ورودی امرژی منابع تجدیدپذیر از منابع رایگان و خریداری شده به‌ترتیب در نظام‌های زراعی مقدار $۲/۷۹\times۱۰^{۱۷}$ و $۱/۶۵\times۱۰^{۱۷}$ امژول خورشیدی در سال بود و در نظام‌های تلفیقی با مقدار $۲/۸۰\times۱۰^{۱۷}$ و $۵/۴۱\times۱۰^{۱۸}$ امژول خورشیدی در سال محاسبه گردید. درصد تجدیدپذیری در نظام‌های تلفیقی نسبت به‌نظام‌های زراعی کاهش داشته که به علت استفاده بیشتر نظام‌های زراعی از منابع تجدیدپذیر نسبت به نظام‌های تلفیقی است. در تحلیل پایداری نظام‌های تولید کلزا در لرستان، ایران ورودی امرژی منابع تجدیدپذیر دو نظام معیشتی و تجاری به‌ترتیب $۱/۲۶\times۱۰^{۱۶}$ و $۱/۰۶\times۱۰^{۱۶}$ امژول خورشیدی در سال و درصد تجدیدپذیری امرژی این دو نظام به‌ترتیب ٪۴۳/۰ و ٪۲۱/۷ محاسبه شد (Amiri *et al*., 2019).

نسبت عملکرد امرژی (EYR)

این شاخص نسبت کل امرژی مصرفی به امرژی نهاده‌هایی که با سرمایه‌گذاری خریداری شده‌اند را نشان می‌دهد. به‌عبارت‌دیگر شاخص EYR، در واقع تولنایی یک فرایند برای جذب منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر محلی با سرمایه‌گذاری روی منابع خریداری شده در یک نظام اقتصادی را نشان می‌دهد (Ulgiati and Brown., 2012). در EYR بالاتر، نسبت بالاتری از منابع رایگان امرژی در فرآیند تولید استفاده می‌شود (Zhang *et al*., 2012a). حداقل مقدار این شاخص برابر است با ۱ و نشان‌دهنده شرایطی است که سهم نهاده‌های رایگان در تولید ناچیز است. EYR در نظام‌های زراعی و تلفیقی به‌ترتیب ۱/۹۶ و ۳/۲۳ محاسبه شد (جدول ۵). بیشتر بودن مقدار EYR در نظام‌های تلفیقی به علت استفاده کمتر از منابع خریداری شده و تأمین بخشی بزرگی از این نهاده‌ها توسط منابع فیدبک و در نتیجه کاهش استفاده از کودهای شیمیایی و خریداری علوفه است. در نظام‌های زراعی به دلیل استفاده زیاد از منابع خریداری شده به‌ویژه در بخش کود دامی با ٪۱۶/۰۴ و کودهای نیتروژن با ٪۱۴/۵۸ از کل منابع ورودی مخرج کسر محاسبه EYR بزرگ شده و پایداری نظام کاهش‌یافته است.

شاخص EYR به دلیل اطلاعات ارزشمندی که در اختیار قرار می‌دهد در بسیاری از مطالعات به‌عنوان یکی از شاخص‌های اصلی تحلیل امرژی گزارش گردیده است. به طور مثال در

مطالعه‌ای در نهبندان، ایران شاخص EYR برای دو نظام تولید خرما و پسته ۱۴/۳۹ و ۱۶/۰۳ محاسبه شد که به‌روشنی مقدار وابستگی زیاد این دو نظام به منابع رایگان محیطی را نشان می‌دهد (Jafari *et al*., 2018). مقادیر EYR برای نظام‌های اکولوژیک، تلفیقی، کم‌نهاده، متوسط نهاده و پرنهاده تولید لوبیا در ایران به‌ترتیب ۱/۲۸، ۱/۱۷، ۱/۲۸، ۱/۲۰ و ۱/۱۷ برآورد شده است (Asgharipour *et al*., 2019). مقادیرEYR به‌دست‌آمده برای سویا در جنوب توسکانی در کشور ایتالیا در محدوده ۳۲/۹۸-۲/۱ بود (Panzieri *et al*., 2000). هم‌چنین برای محصول ذرت در کشور ایتالیا EYR در محدوده ۱/۱۹-۱/۵۳ بود (Ulgiati *et al*., 1994).

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

میزان فشار وارد شده بر محیط توسط شاخص‌های نسبت بار محیط زیستی استاندارد (ELR) و نسبت بار محیط زیستی اصلاح شده (*ELR) بیان می‌شود. به بیان دیگر این دو شاخص بیانگر میزان فشار اعمال شده از سوی نظام به محیط است. در جدول ۲ روش محاسبه این دو شاخص ذکر گردیده است. ELR از طریق محاسبه نسبت ورودی‌های خریداری شده به همراه ورودی‌های تجدیدناپذیر محیطی بر نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر و *ELR با تمرکز روی نسبت منابع تجدیدناپذیر به منابع تجدیدپذیر محاسبه می‌گردد (Ortega *et al*., 2002). افزایش مقدار شاخص‌های ELR و *ELR نشان‌دهنده فشار محیطی جدی‌تر بر اکونظام‌های محلی به علت استفاده از منابع تجدیدناپذیر است (Odum 1996; Lu *et al*. 2014). در نظام‌های زراعی و تلفیقی روستای بلند مقادیر ELR به‌ترتیب، ۱۴/۸۰ و ۳۲/۷۷ بود (جدول ۵). هم‌چنین مقادیر *ELR در این نظام‌ها به‌ترتیب ۸/۹۴ و ۴/۵۸ محاسبه گردید. به طور کلی، ELR کمتر از ۲ نشان‌دهنده فشار محیطی نسبتاً کم، ELR بیشتر از ۲ و کمتر از ۱۰ نشان‌دهنده فشار متوسط محیطی و ELR بیش از ۱۰ نشانه استرس زیست محیطی بسیار بالا است (Brown and Ulgiati, 2004).

مقدار شاخص ELR در نظام‌های گندم و ذرت جنوب برزیل بالای ۱۰ گزارش گردید که نشان می‌دهد این نظام‌ها دارای تأثیرات محیطی زیادی هستند (Cavalett *et al*., 2006) . مقدار شاخص ELR به دست آمده برای نظام تولید ذرت در شمال شرقی چین ۱۰/۶۲ گزارش گردید (Wang *et al*., 2014a,b). هم‌چنین شاخص ELR برای نظام‌های تلفیقی تولید غله، خوک، ماهی در جنوب کشور برزیل مقدار ۳/۱۳ بود (Cavalett *et al*., 2006).

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

شاخص EIR از نسبت ورودی‌های خریداری شده به ورودی‌های رایگان به‌دست می‌آید (Wang *et al*., 2014). شاخص EIR اطلاعاتی راجع به کارایی نظام‌ها در استفاده از امرژی منابع سرمایه‌گذاری شده نسبت به امرژی منابع محیطی رایگان ارائه می‌دهد (Odum, 1996; Lan *et al*., 2002). مقدار کمتر این شاخص نشان‌دهنده وابستگی بیشتر نظام به منابع محیطی است (Wang *et al*., 2014). نسخه‌ای جدیدی از EIR که *EIR نامیده شده توسط امیری و همکاران با حذف مقادیر N از معادله EIR پیشنهاد گردید که هزینه‌های محیطی در ورودی‌های غیرقابل‌تجدید را لحاظ می‌کند (Amiri *et al*., 2019). نتایج بررسی جریان امرژی برای ورودهای خریداری شده در نظام‌های موردمطالعه به‌صورت: تلفیقی ($۲/۹۲\times۱۰^{۱۷}$ امژول خورشیدی در سال)> زراعی ($۲/۲۵\times۱۰^{۱۸}$ امژول خورشیدی در سال) است. با این‌حال، به دلیل اختلاف در مقدار نهاده‌های محیطی رایگان، روند شاخص EIR دو نظام ترتیب متفاوتی دارد: زراعی (۱/۰۴)> تلفیقی (۰/۴۵). هم‌چنین مقادیر شاخص *EIR به‌ترتیب زیر است: تلفیقی (۱۰/۴۶)> زراعی (۸/۰۶). در مقایسه مقدار امرژی ورودی منابع محیطی در نظام‌های زراعی و نظام‌های تلفیقی مقدار این منبع در نظام تلفیقی بسیار بیش‌تر از نظام‌های زراعی است؛ بنابراین علت اختلاف در مقادیر EIR نظام‌ها با توجه اختلاف کم در مقادیر ورودی‌های خریداری شده، عمدتاً به دلیل تفاوت در مقادیر ورودی‌های محیطی است.

در مطالعه‌ای روی تیمارهای مختلف اصلاحی تولید ذرت شامل شاهد و چهار تیمار افزودن ضایعات چغندرقند، بیوچار کود مرغی، بیوچار سبوس برنج و کود شیمیایی مقادیر EIR به‌ترتیب ۲/۴۷، ۱/۶۲، ۱/۳۷، ۰/۶۳ و ۰/۶۰ گزارش شد (Moonilall *et al*., 2020). EIR برای نظام‌های تولید کلزا در

واحدهای تجاری و سنتی به‌ترتیب ۹/۰ و ۸/۹۴ بود (Amiri *et al*., 2019). مقدار EIR برای نظام‌های تولید خرما و پسته شهرستان نهبندان در کشور ایران به‌ترتیب ۳/۱۷ و ۲/۹۳ به‌دست آمد، که نشان می‌دهد منابع غیر رایگان برای دو نظام به‌ترتیب ۳/۱۷ و ۲/۹۳ برابر نهاده‌های غیر رایگان مصرف شده‌اند. مقادیر به دست آمد بیانگر وابستگی بیشتر به نهاده‌های غیر رایگان بازاری در نظام تولید خرما و بهره‌برداری بیشتر نظام‌های تولید پسته از منابع رایگان است (Jafari *et al*., 2018). در ارزیابی نظام‌های زراعی، پرورش طیور و پرورش ماهی در چین نشان داده شده که EIR نظام‌های زراعی با مقدار ۳/۹۸، کمی پایین‌تر از نظام‌های پرورش طیور با مقدار ۴/۶۳ بوده و بسیار پایین‌تر از نظام‌های پرورش ماهی با ۵/۸۷ است و علت آن استفاده از منابع خریداری شده بیشتر درنظام‌های پرورش ماهی و طیور است (Cheng *et al*., 2017).

شاخص پایداری محیط‌زیست استاندارد (ESI) و شاخص پایداری محیط‌زیست اصلاح شده (ESI*)

دو شاخص ESI و ESI* برای سنجش پایداری استفاده می‌شوند. به‌طورکلی، دو شاخص پایداری ESI و ESI* جهت آشنایی با فرایندهایی استفاده می‌شود که حداکثر استفاده از ورودی‌های محیطی رایگان همراه با حداقل تنش محیطی را دارا می‌باشند (Odum, 1996). در واقع این شاخص‌ها پایداری مرتبط با اقتصاد و محیط را در نظر می‌گیرند. وضعیت ESI در یک نظام وابسته به مقدار شاخص‌های EYR و ELR است. باتوجه‌به معادله ESI و ESI*، مقادیر بالاتر این شاخص‌ها را می‌توان با کاهش ورودی‌های خریداری شده تجدیدناپذیر به‌دست آورد. علاوه بر این، سطوح بالاتر ورودی‌های تجدیدپذیر محیطی منجر به مقادیر بالاتر شاخص‌های ESI و ESI* می‌شود. با فرض ثابت بودن ورودی‌های F_N و F_R، پایین بودن مقدار ELR به سهم بالای R و یا سهم کم N در جریان‌های ورودی یا هر دو عامل بستگی دارد. در نتیجه، مقادیر بالای شاخص ESI در نهایت به سهم R و N از جریان‌های ورودی به نظام‌ها مربوط می‌شود. مقادیر ESI <1 , ESI 1-5, ESI >5 به‌ترتیب پایدار، نیمه پایدار و ناپایدار در نظر گرفته می‌شوند (Ulgiati and Brown, 1998; Hu *et al*., 2010).

مقادیر ESI محاسبه شده نظام‌های زراعی و تلفیقی به‌ترتیب برابر با ۰/۱۳ و ۰/۳۰ بود. هم‌چنین مقادیر به‌دست‌آمده برای شاخص ESI* نیز در نظام‌های زراعی و تلفیقی به‌ترتیب برابر با ۰/۲۲ و ۰/۷۱ بود (جدول ۵). نتایج بدست آمده از شاخص‌های ESI و ESI* نشان‌دهنده وضعیت ناپایدار برای تمام نظام‌های موردمطالعه در روستای بلند بود. سهم بسیار کم ورودی محیطی رایگان خصوصاً R هر دو نظام علت این موضوع است. مقادیر ESI و ESI* نشان داد نظام‌های تلفیقی دارای بیشترین پایداری است. در نتایج بدست آمده از شاخص ESI* پایداری نسبت به شاخص ESI در هر دو نظام موردمطالعه کمی بهبودیافته که باتوجه‌به تغییر در نوع محاسبات قابل توجیه است.

مقادیر شاخص ESI در نظام‌های مکانیزه، سنتی، حفاظتی و طبیعی برای تولید موسیر در کشور ایران به‌ترتیب ۰/۰۴۸، ۰/۰۴۱، ۰/۰۲۵ و ۰/۳۰۶ محاسبه شد که نشان‌دهنده وضعیت ناپایدار در هر چهار نظام است. هم‌چنین در تحلیل پایداری این نظام‌ها توسط شاخص ESI* به علت استفاده از ELR* در محاسبه نتایج کمی بهبودیافته و نشان داد نظام‌های سنتی و حفاظتی در مقایسه با نظام‌های مکانیزه پایدارتر هستند (Amiri *et al*., 2021). در ارزیابی نظام‌های تولید خرما و پسته در شهر نهبندان، ایران، مقادیر ESI نزدیک به ۱ بود که نشان می‌دهد هر دو نظام دارای خروجی امرژی بالا و نیاز کم به منابع تجدیدناپذیر هستند (Jafari *et al*., 2018).

در پژوهشی که در ایران انجام شد مقادیر ESI و ESI* برای نظام‌های تولید لوبیای غیر فشرده ۰/۰۸ و ۱/۴۸ محاسبه گردید که بیشترین مقدار در مقایسه با سایر نظام‌های موردمطالعه بود (Asgharipour *et al*., 2019). مقادیر ESI و ESI* برای نظام تجاری تولید کلزا ۰/۷۳ و ۰/۷۵ و برای نظام معیشتی تولید کلزا ۰/۸۷، ۱/۳۸ گزارش شدند (Amiri *et al*., 2019). در گزارش دیگری مقدار ESI برای یک مزرعه ذرت در چین ۰/۴۵ تعیین گردیده است (Zhang *et al*., 2012b). مقادیر ESI و ESI* کمتر از ۵ در انواع نظام‌های زراعی نشانگر فشار زیاد بر محیط توسط بسیاری از نظام‌های زراعی، و ناپایداری غالب نظام‌های مدرن امروزی است. برای افزایش شاخص ESI، ضمن افزایش جریان ورودی‌های رایگان محیطی، به ویژه از منابع تجدیدپذیر، لازم است ورودی‌های خریداری شده به حداقل برسند.

نسبت مبادله امرژی (EER)

EER یک شـــاخص دومنظوره برای ارزیابی‌های امرژی و اقتصادی است (Odum, 1996). EER به‌عنوان نسبت بین کل امرژی مورد اسـتفاده در تولید محصـول به امرژی پول پرداختی برای فروش محصـول (Y_M) تعریف می‌شـود (جدول ۲). Y_M با ضـرب مقدار بهای فروش محصـول در مقدار ضـریب تبدیل پول بدســـت می‌آید. EER یک محصـــول نه‌تنها ارزش بازاری یک محصول را نشان می‌دهد بلکه تفاوت قیمت و ارزش پولی فروش محصـول در بازارهای مختلف را بیان می‌کند. به بیان سـاده‌تر، نظام باتوجه به نحوه موازنه بین سـود حاصـل از فروش محصـول در بازار و مقدار امرژی ورودی به‌نظام جهت تولید با اسـتفاده از شـاخص EER ارزیابی می‌شـود (Lu and Campbell, 2009; Lu *et al*., 2006). اولجیـاتی و براون EER را بـه‌عنوان معیـار مقایسه منافع تجاری نظام‌های تولیدی معرفی کردند (Ulgiati and Brown, 2004). به‌عبارت‌دیگر EER به اندازه‌گیری سـود فروشـنده (تولیدکننده) و خریدار (مصـرف‌کننده) در مبادله کالا کمک می‌کند. در شـرایط ایده‌آل، EER برابر اسـت با عدد یک (Agostinho *et al*., 2008). هنگامی‌که EER بزرگ‌تر از یک باشـد، به خریدار منفعت بیشـتری می‌رسـد زیرا خریدار بیش از امرژی پولی که برای خرید کالا پرداخت کرده امرژی در غالب محصول دریافت می‌کند؛ و در مقابل فروشـنده ضرر می‌کند زیرا در هنگام فروش محصـــول، تولیدکننده به شـــکل پول امرژی کمتری نســـبت مقدار امرژی که صـــرف تولید محصـــول کرده بدست می‌آورد.

مقـادیر EER برای نظـام‌هـای زراعی و تلفیقی برابر بود بـا ۰/۰۱۸ و ۰/۱۶۵ (جدول ۵). این نتایج نشـان می‌دهد که تولید در نظام‌های تلفیقی برای کشـاورز منفعت بیشـتری نسـبت به نظـام‌هـای زراعی دارد. دلیـل این شـــرایط را افزایش عملکرد اقتصـادی نظام‌های تلفیقی در مقایسـه با امرژی خریداری شـده مصـرفی و هم‌چنین حذف بسـیاری از نهاده‌های خارج مزرعه‌ای مانند کودهای شـــیمیایی که اکثراً هزینه‌بر هســـتند و تأمین بخشـی از آن‌ها به‌وسـیله منابع فیدبک حاصـل برهم‌کنش زراعت و دام اسـت. در نظام‌های زراعی فروشـنده سـود کمتری دریافت می‌کند که به دلیل مصـرف بیشـتر از نهاده‌های رایگان محیطی در نظام‌های زراعی به خصـــوص نهاده خاک به عنوان مهم‌ترین منبع رایگان تجدیدناپذیر است.

مقـادیر EER چهـار نظـام تولیـد خیـار، گوجـه‌فرنگی، فلفل‌دلمه‌ای و بادمجان به‌ترتیب ۰/۷۷، ۰/۶۰، ۰/۵۰ و ۰/۳۷ بود. به‌عبارت‌دیگر به‌ترتیب ٪۷۷، ٪۶۰، ٪۵۰، و ٪۳۷ از امرژی ورودی به‌نظام‌های تولید خیار، گوجه‌فرنگی، فلفل و بادمجان به شکل پول حاصل از فروش این محصولات در بازار برگشت داده شـــده اســـت (Asgharipour *et al*., 2020). هم‌چنـین مقادیر EER ۴/۲، ۲/۵، ۲/۶، ۱/۹، ۳/۶، ۱/۸ و ۲/۵ به‌ترتیب در نظام‌های تولید لوتوس و ماهی، لوتوس و میگو، لوتوس، گواوا، پاپایا، موز، وامپی بدسـت آمده که نشـان‌دهنده سـطوح EER مطلوب و بالا اســـت (Lu *et al*., 2009, 2017). مقدار EER تولید گوشـــت در ســـه نظام پرواربندی گوســـفند شـــامل نظام اختصاصی گوسفند-در مرتع، نظام گوسفند-گیاهان باغیِ دائمی و نظام گوســفند-گیاهان زراعیِ یک‌ســاله در مناطق مدیترانه‌ای کشـور اسـپانیا به‌ترتیب ۱۱/۷۸، ۱۲/۷۸ و ۱۰/۱۳ گزارش شـد (Rodríguez-Ortega *et al*., 2017). مصـــرف بیش از ۱۰ برابری امرژی نســـبت به امرژی پول دریافتی در بازار در قبال فروش گوشـت گوسـفند، در مطالعه گفته شـده عدم تعادل بین کل امرژی ورودی و تبدیل آن به امرژی پول را نشان داد. مقادیر EER برای چهار زیربخش تولیدی محصـولات زراعی یک‌سـاله، باغ، مرتع و جنگل در مزرعه‌ای در برزیل به‌ترتیب ۵/۶۷، ۶/۰۳، ۳/۱۷ و ۲/۵۳ گزارش شـــد. بر مبنای این تحقیق کارآمدترین زیربخش تولیدی در جریان مبادله محصـــول در بازار، جنگل معرفی شـد. مبنای بیان مزیت بیشـتر زیربخش جنگل، کوچکی مقدار EER جنگل نسبت به سایر زیربخش‌های موردمطالعه بود (Agostinho *et al*., 2008). مقدار EER در مبادله ســـویا، علوفه بسـته‌بندی‌شـده سـویا و روغن بین برزیل و اروپا به‌ترتیب ۶/۷۰، ۵/۲۰ و ۵/۰۰ بود. به‌عبارت‌دیگر، در هنگام مبادله سویا و مشتقات آن از برزیل به اروپا، میزان امرژی منابعی که کشاورزان برای تولید سویا در کشور خود اسـتفاده می‌کردند تقریباً ۵ برابر امرژی پول دریافتی بوده اسـت. در حقیقت، در صـادرات سـویا از برزیل به اروپا، خریداران برنده می‌شـــوند و در نتیجه اروپا در مقایسه با برزیل از این مبادله سود بیشتری می‌برد (Cavalett and Ortega, 2009).

شاخص Emergy برای توسعه پایدار (EISD)

EISD با ترکیب شـاخص‌های ESI و EER بدسـت می‌آید

(Lu *et al*., 2003; Lu and Campbell, 2009). این شاخص با گنجاندن شاخص‌های EER، ELR و EYR اثرات بازار را بر پایداری محیطی نظام‌ها در کوتاه‌مدت و بلندمدت ارزیابی می‌کند (جدول ۲). مقدار بالاتر این شاخص، پایداری بالاتر نظام را باتوجه به تأثیرات اقتصادی بر تعادل امرژی در نظام‌ها شرح می‌دهد (Lu *et al*., 2003). مقادیر این شاخص در نظام‌های زراعی و تلفیقی به‌ترتیب ۰/۰۱۱۴ و ۰/۰۱۶۴ بود (جدول ۵). EISD بزرگ‌تر در نظام‌های تلفیقی به دلیل مقادیر EER و EYR بزرگ‌تر در مقایسه با نظام‌های زراعی بود.

مقادیر EISD به‌ترتیب در نظام‌های تولید موز، گوآوا، پاپایا و سنتی موز ۰/۷۳، ۰/۷۱، ۰/۵۵ و ۰/۲۴ گزارش شد (Lu *et al*., 2009). هم‌چنین، مقادیر EISD ۰/۱۱ و ۰/۰۴ در نظام‌های تولید کلزای معیشتی و تجاری محاسبه شده است (Amiri *et al*., 2019). مقادیر EISD چهار نظام تولید گلخانه‌ای، خیار، گوجه‌فرنگی، فلفل‌دلمه‌ای و بادمجان جیرفت، ایران به‌ترتیب $۳/۵۴\times۱۰^{-۴}$، $۲/۶۲\times۱۰^{-۴}$، $۱/۹۲\times۱۰^{-۴}$ و $۱/۳۹\times۱۰^{-۴}$ محاسبه گردید (Asgharipour *et al*., 2020). در پژوهشی که روی پایداری سیر به‌عنوان گیاه دارویی- صنعتی در کشور ایران انجام گردیده مقایسه مقادیر EISD پایداری زیستگاه طبیعی را نسبت به‌نظام‌های زراعی نشان داد. EISD بزرگ‌تر زیستگاه طبیعی به دلیل مقادیر EYR و IEER بزرگ‌تر و ELR کوچک‌تر این نظام در مقایسه با نظام‌های زراعی بود (Amiri *et al*., 2021).

شاخص امرژی سلامت تولید (EIPS)

شاخص امرژی سلامت محصول تأثیر کودهای شیمیایی، علف‌کش‌ها و داروها را بر امنیت محصول مورد بررسی قرار می‌دهد. هرچه EIPS بالاتر باشد محصولات از سلامت بالاتر برخوردار هستند (Guan *et al*., 2016). شاخص EIPS برای نظام‌های زراعی و تلفیقی به‌ترتیب برابر با ۰/۴۵ و ۰/۹۹۰ بود (جدول ۵). بر اساس نتایج بدست آمده نظام‌های زراعی به دلیل وابستگی زیاد به نهاده‌های آلاینده مانند کودها و سموم شیمیایی دارای کمترین EIPS بود. نظام‌های تلفیقی به دلیل استفاده کمتر از کودهای شیمیایی به دلیل بهره‌برداری از منابع فیدبک و استفاده بهتر از منابع تجدیدپذیر دارای EIPS بیشتری نسبت به نظام‌های زراعی است. در نظام‌های زراعی به دلیل وجود بادهای فصلی که در پراکنش بذر علف‌های هرز تأثیر بسزایی دارد مصرف علف‌کش بالا رفته و هم‌چنین مصرف زیاد کودهای شیمیایی یارانه‌ای باعث کاهش شدید EIPS گردیده است. فرهنگ‌سازی و آموزش علمی تولیدکنندگان می‌تواند در منطقه موردمطالعه تأثیر بسزایی در کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی و مقدار این شاخص داشته باشد.

در پژوهش انجام شده در ایران مقادیر EIPS برای نظام‌های مکانیزه، سنتی، حفاظتی و طبیعی تولید موسیر به‌ترتیب ۰/۸۸۳، ۰/۹۰۶، ۱/۰۰ و ۱/۰۰ بود (Amiri *et al*., 2021). در ارزیابی شاخص EIPS در نظام‌های تلفیقی برنج-اردک و تناوب گندم-برنج در شالیزارهای چین مقدار EIPS به‌ترتیب ۱/۰۰ و ۰/۳۴ گزارش شد (Xi and Qin, 2009). در مطالعه‌ای که در کشور چین جهت افزایش بهره‌وری نظام‌های تولید ذرت باتوجه به اهمیت آن جهت تولید غذا انجام شد دو مدل تولید پرورش غاز در مزارع ذرت و کاشت سنتی ذرت از نظر شاخص EIPS بررسی شدند. نتایج بدست آمده نشان داد نظام تلفیقی پرورش غاز با مقدار ۰/۸۶ از شاخص EIPS بالاتری نسبت به نظام سنتی تولید ذرت با مقدار ۰/۷۰ برخوردار است (Sha *et al*., 2015).

شاخص نسبت فیدبک بازده امرژی (FYE)

شاخص نسبت فیدبک بازده امرژی (FYE) توانایی خود سازمان‌دهی نظام را ارزیابی می‌کند. هرچه FYE بالاتر باشد، توانایی نظام در خود سازمان‌دهی بالاتر است. این شاخص از تقسیم منابع فیدبک به کل ورودی‌های نظام بدست می‌آید (Guan e*t al*., 2016). مقادیر FYE برای نظام‌های زراعی و تلفیقی به‌ترتیب ۰۰/۰ و ۱/۴۹ بود (جدول ۵). علت صفر بودن این شاخص در نظام زراعی، عدم برهم‌کنش میان اجزاء در این نظام است. مقدار این شاخص در نظام‌های تلفیقی موردمطالعه $۴/۳۶\times۱۰^{۱۸}$ امژول خورشیدی در سال بود. در نظام‌های تلفیقی به جهت استفاده از منابع فیدبک مقدار استفاده از منابع خریداری شده به مقدار ۲۰/۱۷ درصد نسبت به نظام‌های زراعی کاهش‌یافته که نشان‌دهنده توانایی خود سازمان‌دهی بیشتر نظام‌های تلفیقی است. افزایش تولیدات زراعی به منزله غذای بیشتر برای دام است و تغذیه بهتر دام یعنی تولید کود بیشتر برای زراعت، لذا هر دو زیربخش نظام به یکدیگر کمک می‌کنند.

بالاتر بودن این شـــاخص در یک نظام به منزله تأمین بخش بزرگ‌تری از منابع موردنیاز در خود نظام و کاهش وابســتگی به ورودی‌های خریداری شـده و مصـنوعی اسـت. نتایج بررسـی شـاخص FYE در نظام‌های تلفیقی پرورش غاز در مزارع ذرت، کاشت ذرت متعارف و تناوب گندم-نخود در چین به‌عنوان سه مدل کشـاورزی خانگی به‌ترتیب برابر با ۰/۳۰، ۰/۳۰ و ۰۰/۰۰ بود که نشـان دهند عدم توانایی خود سـازمان‌دهی نظام تناوب گندم و نخود است (Guan *et al*., 2016). در مطالعه نظام‌های تلفیقی گاو، بیوگاز و سـبزی‌های گلخانه‌ای و نظام‌های مسـتقل تولید گاو و سـبزی‌های گلخانه‌ای در شـمال غربی چین FYE به‌ترتیب برابر با ۱۰/۵، ۰/۰۰ و ۰/۰۰ بود؛ بنابراین نظام تلفیقی توانایی خود سازمان‌دهی بهتر و پتانسیل بیشتری برای توسعه پایدار نسـبت به نظام‌های تولید مسـتقل دام و سـبزی‌های گلخانه‌ای دارد (Wu *et al*., 2013).

تراکم سود خالص (NBD) و بازده اقتصادی (O/I)

NBD با کسـر تمام هزینه‌های تولید از کل درآمد نظام تولیدی در مدت زمان معین بدست می‌آید و مقادیر بزرگ‌تر این شاخص بیان کننده سود خالص اقتصادی بیشتر است (جدول۲). مقـادیر NBD در نظـام‌هـای تولیـد زراعی و تلفیقی بـه‌ترتیـب $۷/۵۱\times۱۰^{۱۱}$ و $۷/۶۶\times۱۰^{۱۱}$ ریال در سـال بود. سـوددهی بیشـتر نظام‌های تلفیقی به دلیل وابستگی کمتر به منابع خریداری شده به دلیل تأمین بخش مهمی از نهاده‌ها توسـط منابع فیدبک اسـت. توجه به این مهم نقش برجسـته‌ای در سـیاست‌گذاری‌ها جهت افزایش سوددهی نظام دارد. برای محاسـبه بازده اقتصادی (O/I) ارزش بازاری خروجی‌های نظام به ارزش بازاری ورودی‌ها تقسـیم می‌شـود و بالاتر بودن این شـاخص نشـان‌دهنده بازده اقتصادی بیشتر نظام است. نتایج تحلیل شاخص بازده اقتصادی O/I برای نظام‌های زراعی و تلفیقی به‌ترتیب ۱۳/۷۳ و ۱۱/۶۷ بود. دلیل O/I پایین‌تر نظام تلفیقی اسـتفاده بیشـتر از منابع امرژی خریداری شـده خصـوصـاً علوفه، کنسـانتره و داروهای دامپزشکی، پایین بودن قیمت گوشت و دیگر تولیدات است.

در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۷ در منطقه دریاچه نانسی در کشـور چین انجام گردید مقادیر I/O (معکوس O/I) نظام پرورش ماهی در قفس، نظام پرورش ماهی فشـرده در اسـتخر و نظام پرورش ماهی نیمه-طبیعی غیرفشـرده در اسـتخر به‌ترتیب ۰/۵۸، ۰/۸۱ و ۰/۴۸ و مقـادیر NBD برای نظـام‌هـای مـذکور بـه‌ترتیـب $۱/۲۷\times۱۰^{۳}$، $۲/۵۸\times۱۰^{۳}$ و $۲/۳۷\times۱۰^{۳}$ دلار در هکتـار بود. این نتایج بیانگر سـود خالص بالاتر در نظام پرورش ماهی فشـرده در اسـتخر اسـت (Zhang *et al*., 2011). در بررسـی نظام‌های تلفیقی کشـت سـنتی گندم-برنج و تناوب برنج-اردک در شـانگهای چین مقادیر شـاخص بازده اقتصـادی O/I به‌ترتیب ۱/۷۰ و ۱/۴۶ بود، هم‌چنین مقادیر شـاخص NBD به‌ترتیب ۸۸۹ و ۵۷۱ دلار در متر مربع بود (Xi and Qin, 2009).

نتیجه‌گیری کلی

در حال حاضـر منابع طبیعی تحت فشـار زیادی قرار دارند و یافتن راه‌حل‌هایی برای افزایش بهره‌وری از محصـولات زراعی و دام‌ها بدون اسـتفاده بیشـتر از آب یا تخریب بیشـتر محیط ضـروری اسـت. به دلیل افزایش تراکم جمعیت و کاهش سـرانه لندازه مزارع، همین‌طور افزایش رقلبت برای زمین، آب و سـایر منـابع بیوفیزیکی و اقتصـادی-اجتمـاعی در میـان بخش‌هـای مختلف اقتصـاد، اقدامات اصـلاحی در اسـتفاده از منابع به یک ضـرورت برای فشـرده‌سـازی نظام‌های تولید محصـولات زراعی و تلفیقی تبدیل شـده اسـت. باتوجه به کمبود روزافزون منابع و افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی، برای تأمین این تقاضا و هم‌چنین حفاظت هم‌زمان از خدمات محیطی بوم‌نظام‌ها، تخصیص مناسب منابع ضروری است. پایداری نظام‌های تولید و حفاظت از خدمات زیسـتی آن‌ها در منطقه سـیسـتان بدون کنترل گسترش اراضی زراعی و چراگاه‌ها به بوم‌نظام‌های طبیعی مجاور و محدود کردن و معکوس کردن تخریب مراتع امکان‌پذیر نیسـت. متنوع‌سـازی و فشـرده‌سـازی نظام‌های تولیدی خرده مالکین مؤثرترین مسیر برای دستیابی به این نتایج است. پاسخ به تقاضـا برای تولید مواد غذایی بیشـتر به نوآوری‌هایی نیاز دارد که کارایی مدیریت مواد مغذی را افزایش می‌دهد. با درنظرگرفتن هزینه‌های بالای تأمین نهاده‌های خارجی برای تولیدکنندگان محصـولات زراعی و دامی، مهم‌ترین نقاط ازدسـت‌دادن مواد مغذی و رویکردهای بهبود چرخه مواد مغذی باید شـناسـایی شـود. درجه ادغام زراعت و دامپروری در نظام‌های کشـاورزی و مسـیرهای فشـرده‌سـازی متنوع اسـت و به مجموعه‌ای از عوامل بیوفیزیکی و اقتصـادی بسـتگی دارد. این عوامل توسـط منابع موجود و شیوه‌های مدیریتی کشاورزان تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

کشـــاورزی و دامداری در ســـیســـتان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع امرار معاش روســـتائیان، دارای اهمیت بســـیار اســـت. در سیستان به علت شرایط سخت اقلیمی مانند گرمی هوا، کمبود نزولات آســـمانی، کمبود آب‌های جاری، ماده آلی کم خاک، یافتن نظامی که دارای پایداری بیشـــتری در ابعاد تولیدی، اقتصادی، محیطی باشد از اهمیت بالایی برخوردار است. تحلیل پایداری نظام‌های تولیدی نیازمند روشی علمی و جامع است.

References

Abbasi, H.R., Gohardasht, A., Khaksarian, F. and Ganjali, M. 2017. Morphological features of wind sediments and erosive winds in Sistan plain. *Desert Management*, 5: 28-42. (In Persian).

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 Modeling*, 210: 37-57.

Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E. and Aghapour Sabaghi, M. 2020. Comparison of the sustainability of mechanized and traditional rapeseed production systems using an emergy-based production function: A case study in Lorestan Province, Iran. *Journal of Cleaner Production*, 258: 1-11.

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. and Kakolvand, 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: 126000.

Amiri, Z., Maghsoudi, A., Asgharipour, M.R., Nejati-Javaremi, A. and Campbell, D.E. 2022. The semi-intensive production model: A strategy based on emergy and economic analyses to realize sustainability in the ecosystem of Sistani beef cattle raising in Iran. *Journal of Cleaner Production*, 132304.

Arshadi, M., Parsa, M., Lakzian, A. and Kafi, M. 2021. Evaluation of root traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under treatments of rhizobium, arbuscular mycorrhiza and pseudo-endomycorrhiza on conditions of sterilized and non-sterile soil. *Crop Science Research in Arid Regions*, 2(2): 241-254. (In Persian).

Artuzo, F.D., Allegretti, G., Santos, O.I.B., da Silva, L.X. and Talamini, E. 2021. Emergy unsustainability index for agricultural systems assessment: A proposal based on the laws of thermodynamics. *Science of the Total Environment*, 759: 143524.

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: 1-17.

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 Assessments*, 191: 2.

Bell, L.W., Moore, A.D. and Kirkegaard, J.A. 2014. Evolution in crop–livestock integration systems that improve farm productivity and environmental performance in Australia. *European Journal of Agronomy*, 57: 10-20.

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.

Campbell, D.E., Brandt-Williams, S.L. and Meisch, M.E.A. 2005. Environmental Accounting Using Emergy: Evaluation of the State of West Virginia. EPA/600/R-02/ 011. USEPA, Office of Research and Development, Washington, DC, pp. 116.

Campbell, D.E., Lu, H.F., Knox, G.A. and Odum, H.T. 2009. Maximizing empower on a human-dominated planet: the role of exotic Spartina. *Ecological Engineering*, 35: 463-486.

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.

Cavalett, O., de Queiroz, J.F. and Ortega, E. 2006. Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. *Ecological Modelling*, 193: 205-224.

Chen, F. 2011. Agricultural Ecology, second ed. China Agricultural University Press, Beijing.

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.

Clark, E.A. 2004. Benefits of re-integrating livestock and forages in crop production systems. *Journal of Crop Improvment*, 12(1-2): 405-436.

Conant, R.T., Ryan, M.G., Ågren, G.I., Birge, H.E., Davidson, E.A., Eliasson, P.E., Evans, S.E., Frey, S.D., Giardina, C.P., Hopkins, F.M. and Hyvönen, R. 2011. Temperature and soil organic matter decomposition rates–synthesis of current knowledge and a way forward. *Global Change Biology*, 17(11): 3392-3404.

de Barros, J.M., Blazy, G.S., Rodrigues, R. and Tournebize, J.P. 2009. Emergy evaluation and economic performance of banana cropping systems in Guadeloupe (French West Indies). *Agriciculte, Ecosystem & Environment*, 129: 437-449.

Duan, C., Shi, P., Zong, N., Wang, J., Song, M. and Zhang, X. 2019. Feeding solution: Crop-livestock integration via crop-forage rotation in the southern Tibetan Plateau. *Agriciculte, Ecosystem & Environment*, 284: 106589.

Fallahinejad, S. and Armin, M. 2022. Role of mechanization on the sustainability of sugar beet production using emergy approach. *Agriculture, Environment and Society*, 2(1): 15-24.

Franzluebbers, A.J. 2007. Integrated crop-livestock systems in the southeastern USA. *Agronomy Journal*, 99(2): 361-372.

Franzluebbers, A.J. and Stuedemann, J.A. 2007. Crop and cattle responses to tillage systems for integrated crop-livestock production in the Southern Piedmont, USA. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 22: 168-180.

Guan, F., Sha, Zh., Zhang, Y., Wang, J. and Wang, Ch. 2016. Emergy assessment of three home courtyard agriculture production systems in Tibet Autonomous Region, China. *JZUS-B*, 17(8): 628-639.

Hu, S., Mo, X., Lin, Z. and Qiu, J. 2010. Emergy assessment of a wheat-maize rotation system with different

water assignments in the North China Plain. *Journal of Environmental Management*, 46: 643-657.

Jafari, M., Asgharipour, M.R., Ramroudi, M., Galavi, M. and Hadarbadi, G. 2018. Sustainability assessment of date and pistachio agricultural systems using energy, emergy and economic approaches. *Journal of Cleaner Production*, 193: 642-651.

Lan, S.F., Qin, P. and Lu, H.F. 2002. *Emergy Analysis of Eco-economic System*. Chemical Industry Press.

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.

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.F., 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: 1743-1757.

Lu, H.F., Lan, S.F., Li, L. and Peng, S.L. 2003. New emergy indices for sustainable development. *Journal of Environmental Management*, 15(4): 562-569.

Lu, H.F., Tan, Y.W., Zhang, W.S., Qiao, Y.C., Campbell, D.E., Zhou, L. and Ren, H. 2017. Integrated emergy and economic evaluation of lotus-root production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. *Journal of Cleaner Production*, 158: 367-379.

Lu, H.F., Yuan, Y., Campbell, D.E., Qin, P. and Cui, L. 2014. Integrated water quality, emergy and economic evaluation of three bioremediation treatment systems for eutrophic water. *Ecological Engineering*, 69: 244-254.

Lu, P., Yu, Q., Liu, J. and Lee, X. 2006. Advance of tree-flowering dates in response to urban climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 138: 120-131.

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.

Muzari, W. 2014. Interactions of Biophysical and Socioeconomic Factors and Outputs in Mixed Crop-Livestock Smallholder Farming Systems in Africa South of the Sahara. *International Journal of Science and Research*, 5(1): 1777-1787.

Odum, H.T. 1996. Environmental Accounting: Emergy and Decision Making. Wiley, New York.

Odum, H.T. 2000. Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios. Folio No. 2 e Emergy of Global Processes. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, FL, p. 28.

Odum, H.T. and Peterson, N. 1996. Simulation and evaluation with energy systemsblocks. *Ecological Modelling*, 93: 155-173.

Panzieri, M., Marchettini, N. and Hallam, T.G. 2000. Importance of the Bradhyrizobium japonicum symbiosis for the sustainability of a soybean cultivation. *Ecological Modelling*, 135: 301-310.

Pizzigallo, A.C.I., 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.

Porsur, K. 2009. Comparative study of Wind Erosion Potential in the Sistan Agricultural and Non-Agricultural Lands Using IRIFR Models. Master Thesis, University of Zabol. (In Persian).

Quintero-Angel, M. and Gonzalez-Acevedo, A. 2018. Tendencies and challenges for the assessment 999 of agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystem & Environment,* 254: 273-281.

Rodríguez-Ortega, T., Bernues, A., Olaizola, A.M. and Brown, M.T. 2017. Does intensification result in higher efficiency and sustainability? An emergy analysis of Mediterranean sheep-crop farming systems. *Journal of Cleaner Production,* 144: 171-179.

Schiere, H. and Katere, L. 2001. Mixed crop-livestock farming: A review of traditional technologis based on literature and field experiences. FAO, Roma (Italia).

Schulte, E.E. and Hopkins, B.G. 1996. Estimation of soil organic matter by weight loss-on-ignition. Soil organic matter: *Analysis and Interpretation*, 46: 21-31.

Sha, Zh., Guan, F., Wang, J., Zhang,Y., Liu, H. and Wang, Ch. 2015. Evaluation of raising geese in cornfields based on emergy analysis: A case study in southeastern Tibet, China. *Ecological Engineering,* 84: 485-491.

Shahhoseini, H.R. and Kazemi, H. 2022. Evaluation of sustainability of rainfed rapeseed production in Gorgan county using Emergy analysis. *Agriculture, Environment and Society*, 2(1): 61-70.

Sneessens, I., Veysset, P., Benoit, M., Lamadon, A. and Brunschwig, G. 2016. Direct and indirect impacts of crop–livestock organization on mixed crop–livestock systems sustainability: a model-based study. *Animal,* 10(11): 1911-1922.

Sumberg, J. 2003. Toward a dis-aggregated view of crop-livestock integration in Western Africa. *Land Use Policy*, 20(3): 253-264.

Tavousi, T. and Raeispour, K. 2011. Statistical analysis and prediction of the occurrence of severe storms using the method. *Journal of Geographical Studies of Arid Areas,* 1(2): 93-105. (In Persian).

Ulgiati, S. and Brown, M.T. 1998. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecological Modelling,* 108(1-3): 23-36.

Ulgiati, S. and Brown, M.T. 2012. Resource quality, technological efficiency and factors of scale within the emergy framework: a response to Macro Raugei. *Ecological Modelling,* 227: 109-111.

Ulgiati, S., Odum, H. and Bastianoni, S. 1994. Emergy use, environmental loading and sustainability an emergy analysis of Italy. *Ecological Modelling,* 73: 215-268.

Van Beek, E., Bozorgy, B., Vekerdy, Z. and Meijer, K. 2008. Limits to agricultural growth in the sistan closed inland delta, Iran. *Irrigation and Drainage Systems*, 22(2): 131-143.

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

Wiesner, S., Duff, A.J., Desai, A.R. and Panke-Buisse, K. 2020. Increasing dairy sustainability with integrated

crop-livestock farming. *Sustainability*, 12(3): 765.

Wolmer, W. 1997. Crop-livestock integration: The dynamics of intensification in contrasting agroecological zones: A review. IDS Working Paper 63. IDS, University of Sussex.

World Bank. 2006. Agriculture Investment Sourcebook, Module 4: Investments in Sustainable Agricultural Intensification. Washington, DC, World Bank.

Wu, X.H., Wu, F.Q., Tong, X.G. and Jiang, B. 2013. Emergy-based sustainability assessment of an integrated production system of cattle, biogas, and greenhouse vegetables: insightinto the comprehensive utilization of wastes on a large-scale farm in Northwest China. *Ecological Engineering*, 61 (Part A): 335-344.

Xi, Y.G. and Qin, P. 2009. Emergy evaluation of organic rice-duck mutualism system. *Ecological Engineering*, 11: 1677-1683.

Yang, Q., Chen, G.Q., Liao, S., Zhao, Y.H., Peng, H.W. and Chen, H.P. 2013. Environmental sustainability of wind power: an emergy analysis of a Chinese wind farm. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25: 229-239.

Zhang, G. and Long, W. 2010. A key review on emergy analysis and assessment of biomass resources for a sustainable future. *Energy Policy*, 29: 4111-4129.

Zhang, L.X., Ulgiati, S., Yang, Z.F. and Chen, B. 2011. Emergy evaluation and economic analysis of three wetland fish farming systems in Nansi Lake area, China. *Journal of Environmental Management*, 92: 683-694.

Zhang, L.X., Song, B. and Chen, B. 2012a. Emergy-based analysis of four farming systems: insight into agricultural diversification in rural China. *Journal of Cleaner Production*, 28: 33-44.

Zhang, M.M., Wang, Z.F., Xu, C. and Jiang, H. 2012b. Embodied energy and emergy analyses of a concentrating solar power (CSP) system. *Energy Policy*, 42: 232-238.

Zia Tavana, M.H. 1992. Characteristics of the natural environment of Sistan hole. Geographical articles of Dr. Mohammad Hassan Ganji's celebration letter. Tehran. Gitashenasi Publications. (In Persian).

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 1, Spring and Summer 2023, P. 197-223

Emergy analysis of crop and integrated production systems of Boland Sistan village

Farshad Golshani[1], Mohammad Reza Asgharipour[2*], Seyed Ahmad Ghanbari[2], Esmaeel Seyedabadi[2]

[1] PhD student in Agroecology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
[2] Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
[*]Corresponding Author: m_asgharipour@yahoo.com

Received: 21 February 2022 Accepted: 26 April 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.330716.1195**

Abstract

Introduction: Analysis of agricultural ecosystems' sustainability is crucial for decision-making and management. Quantifying the sustainability of agroecosystems can provide solutions to achieve positive economic and environmental results. In order to meet the expanding human need for food, agricultural production techniques have become increasingly specialized. In recent years, the integration of agricultural and animal operations has been examined in order to address the challenges generated by intensive production systems. Crop and livestock production are intimately linked in integrated crop-livestock systems, resulting in favorable economic and environmental results.
Emergy analysis can be used to examine the sustainability of ecological and economic systems. By adopting this strategy, we can acquire a deeper knowledge of the linkages between ecological and economic systems. Environmental and economic costs involved with achieving sustainability are quantified using Emergy analysis, allowing for the integrated control of ecological and economic issues. Emergy analysis is now utilized in agriculture to examine the viability of production systems at various scales.
The goal of this study was to compare the productivity and ecological sustainability of an integrated crop and animal production system to that of a single crop production system using an emergy analysis technique.
Materials and Methods: This study was conducted in 2019 using data collected from smallholder agricultural land and livestock systems in the village of Boland, Sistan, Iran. Boland village is situated in Teymurabad village, approximately 17 kilometers north of Zabol city in the province of Sistan and Baluchistan. The agricultural composition of a Boland village includes crop production and animal husbandry.
Environmental renewable and nonrenewable resources, as well as purchased resources, were used as inputs. During the study period, these data were collected via a database of agricultural organizations, verbal estimates, field measurements, and researcher observations. First, the system's boundaries are analyzed, and an energy diagram is drawn to classify the system's inputs. The second step of emergy analysis is the creation of emergy evaluation tables. After determining each system's input flow in joules, grams, or Rials, the inputs were multiplied by their transformaties to calculate the solar emjoule (sej). This study utilized specific emergy, unit emergy value, percentage of renewable emergy, emergy investment ratio, emergy yield ratio, environmental loading ratio, environmental sustainability index, emergy exchange ratio, and emergy feedback ratio.
Results and Discussion: Both the agricultural and integrated production systems in Boland Sistan village required a total of 4.41E+18 and 9.43E+18 sej/year of emergy, respectively, to maintain their functionality. Specific emergy (SpE), emergy yield ratio (EYR), emergy investment ratio (EIR), environmental loading ratio (ELR), emergy exchange ratio (EER), net profit density (NBD), and output to output ratio (O/I) all demonstrated that the integrated system generates a higher net profit than individual crop systems as a result of positive interactions between agricultural and livestock components as well as a high level of environmental sustainability. The area around Sistan is able to produce a wide variety of crops throughout the year as a result of its favorable climate and abundant

natural resources. Additionally, there are several opportunities to combine cattle and crop production in this part of the world.
Conclusion: According to the findings of this research, integrating crop production and livestock production has the potential to lower economic risk and increase profitability, in addition to providing many benefits for the protection of soil and water resources and the productivity of the nutrient cycle. These benefits can be found in a variety of ways. As a result of this, an integrated crop production system is recommended as a suitable option for farmers to diversify agricultural operations in order to avoid hazards, improve crop production, and prevent environmental damage. This is because an integrated crop production system is a more comprehensive approach.

Keywords: Environmental burden, Environmental economics, Renewable inputs, Sustainability assessment