

## ارزیابی پایداری دو نظام تولید پسته تحت آبیاری بارانی و غرقابی با استفاده از روش تحلیل امرژی در استان قم

شهرام ریاحی نیا<sup>۱\*</sup>، محمدرضا اصغری پور<sup>۲</sup>

۱- گروه علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

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

\* مسئول مکاتبه: [riahinia@pnu.ac.ir](mailto:riahinia@pnu.ac.ir)

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.316751.1160

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۳

### چکیده

استفاده از رهیافت امرژی در ارزیابی پایداری نظام‌های کشاورزی، منجر به اعمال مدیریت صحیح در راستای افزایش پایداری تولید در این نظام‌ها است. در تحقیق حاضر، دو نظام تولید پسته در استان قم تحت آبیاری غرقابی و آبیاری بارانی با استفاده از روش امرژی بررسی شدند. نتایج نشان داد که ورودی امرژی کل برای نظام آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب  $10^{16} \times 4/05$  و  $10^{16} \times 2/72$  امژول خورشیدی در هکتار در سال بود. بر خلاف نظام آبیاری غرقابی، در نظام آبیاری بارانی وابستگی به جریان‌های خریداری شده امرژی بیشتر از جریان‌های محیطی امرژی بود. بیشترین سهم از ورودی امرژی کل در نظام آبیاری غرقابی مربوط به مصرف آب زیرزمینی با سهم ۲۷/۰ درصدی و در نظام آبیاری بارانی مربوط به کودهای آلی با سهم ۲۶/۱۴ درصدی بود. در نظام آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب، ضریب تبدیل  $10^5 \times 9/05$  و  $10^5 \times 5/46$  امژول خورشیدی بر ژول، تجدیدپذیری امرژی  $2/43$  و  $3/45$  درصد، نسبت عملکرد امرژی  $2/157$  و  $1/571$ ، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی  $0/186$  و  $1/75$ ، نسبت بارگذاری محیطی  $62/67$  و  $41/74$  و شاخص پایداری امرژی  $0/34$  و  $0/38$  بود. علی‌رغم سهم بالاتر جریان‌های محیطی نسبت به بازاری در نظام آبیاری غرقابی، مصرف زیاد آب زیرزمینی به عنوان یک جریان تجدیدناپذیر موجب تشدید فشار محیطی این نظام گردید. استفاده از روش آبیاری بارانی موجب مصرف بهینه آب و در نتیجه کاهش فشار نظام روی محیط خواهد شد. در تحقیق حاضر، نظام آبیاری بارانی از نظر عملکرد، بهره‌وری از منابع، تجدیدپذیری نهاده‌ها و پایداری محیطی مطلوب‌تر از نظام آبیاری غرقابی بود.

**واژه‌های کلیدی:** آب زیرزمینی، شاخص پایداری امرژی، نسبت بارگذاری محیطی، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی

### مقدمه

برای حصول کشاورزی پایدار تاکنون راه‌کارهای متفاوتی مانند کشاورزی سنتی، کشاورزی کم‌نهاده، کشاورزی حفاظتی و کشاورزی بوم‌شناختی مطرح شده است (Zhang et al., 2018). توجه به تعاملات انرژی و محیط زیست از رهیافت‌های توسعه کشاورزی و پایداری است. روش‌های بیوترمودینامیک مانند تحلیل امرژی از روش‌های نوین در ارزیابی پایداری بر اساس برآورد کمی و کیفی انرژی است (Odum, 2007). در نظام‌های کشاورزی متداول مقادیر زیادی منابع طبیعی تجدیدناپذیر به شکل انرژی‌های صنعتی برای ثابت نگه داشتن میزان تولید استفاده شده است (Sha et al., 2015). استفاده زیاد از نهاده‌های صنعتی و مواد شیمیایی باعث فرسایش خاک، آلودگی ناشی از آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی، تخلیه شدید و گسترده آب‌های زیرزمینی، کاهش باروری خاک، از بین رفتن تنوع زیستی و گرم شدن کره زمین شده است که می‌تواند تولید

آبی نظام‌های کشاورزی را تحت تأثیر قرار دهد (Hole et al., 2005).

بوم‌نظام‌های کشاورزی به جریان‌های محیطی رایگان مانند آب، باد، نور خورشید، خاک و مواد آلی خاک و جریان‌های غیر رایگان مانند کود، آفت‌کش‌ها، برق، سوخت، تجهیزات مکانیکی و سایر محصولات صنعتی وابسته هستند (Cheng et al., 2017). در این زمینه، استفاده از راه‌کارهای بیوفیزیکی مبنی بر قوانین ترمودینامیکی مانند تحلیل انرژی، تحلیل امرژی، ارزیابی انرژی و ارزیابی چرخه حیات با توجه به سهم خدمات محیطی و نهاده‌ها در نظام تولیدی بر مبنای واحد معادل مفید است (Lu et al., 2010). در این راستا، روش برآورد امرژی لبداع شده توسط ادوم (Odum, 2000) روشی مفید برای بررسی سهم جریان‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر محیطی و جریان‌های خارجی غیر رایگان است که در تولید یک محصول استفاده می‌شود (Brown et al., 2000). امرژی، انرژی یا

ناپایداری نظام‌های مکانیزه گزارش گردید (Amiri et al., 2020). در تحقیقی دیگر، نظام‌های تولید پیاز، سیر و گندم در منطقه سیستان با استفاده از تحلیل تلفیقی امرژی و اقتصادی مقایسه گردیدند. نتایج این تحقیق نشان داد که در یک نظام تولیدی، عملکرد محیط زیستی بهتر با عملکرد اقتصادی بدتر همراه است (Yasini et al., 2020). در تحقیق دیگری، نظام‌های تولید سنتی، مکانیزه و روش حفاظتی تولید موسیر در منطقه ورتختان استان لرستان مقایسه گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که نظام حفاظتی تولید موسیر پایدارترین بود (Amiri et al., 2021).

در ایران و حتی دنیا مطالعات معدودی بر مبنای شاخص‌های بیومودپننامیکی برای ارزیابی پایداری نظام‌های تولیدی کشاورزی انجام شده است. مزیت روش آبیاری بارانی نسبت به آبیاری غرقابی، آسانی استفاده و توزیع یکنواخت آب است اما نیاز به هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالایی در مقایسه با آبیاری غرقابی دارد (Qureshi et al., 2001).

در این راستا با ارزیابی و مقایسه دو نظام آبیاری غرقابی و بارانی در تولید پسته با استفاده از تلفیق شاخص‌های امرژی و اقتصادی، می‌توان تصویر دقیقی از وضعیت پایداری دو نظام آبیاری پسته در شهر قم ارائه کرد تا بر اساس نتایج آن، راهکارهایی برای توسعه کشت و پایدارسازی تولید پسته و حضور بهینه این گیاه در الگوی کشت منطقه ارائه گردد.

## مواد و روش‌ها

### توصیف نظام‌های مورد مطالعه

این پژوهش در دو نظام آبیاری غرقابی و بارانی تولید پسته در باغ موسسه زائر کریمه در استان قم در عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۳۷ متر از سطح دریا انجام شد. به طور کلی قم دارای تابستان گرم و زمستانی معتدل است. نظام تجاری پسته با مساحت ۲۵ هکتار و نظام تولید سنتی با مساحت ۱۰ هکتار در روستای کوه سفید واقع شده است. آبیاری در نظام تجاری و سنتی به ترتیب به صورت تحت فشار (روش بارانی) و سنتی (روش غرقابی) انجام می‌شود و منبع آب جهت آبیاری در هر دو نظام آب زیرزمینی است.

اگرژی در دسترس است که برای تولید یک کالا یا خدمت به طور مستقیم و غیر مستقیم مورد نیاز است (Odum, 2000). در تحلیل امرژی، جریان انرژی و ماده در ضرایب تبدیل مناسب ضرب شده و بر مبنای واحد معادل (ام ژول خورشیدی یا seJ) بیان شده است (Wu et al., 2013). برخی محققان، امرژی را پلی میان محیط‌زیست و اقتصاد در نظر گرفته‌اند (Lan et al., 2010; Copeland et al., 2002).

در تحقیقی در برزیل به کمک تحلیل امرژی، در مطالعه ۳ مزرعه با مدیریت‌های مختلف از نظر نوع و میزان جریان‌ها، نظامی که از جریان‌های خریداری شده و شیمیایی کمتر استفاده کرده و تعامل بهتری با محیط داشت، پایدارتر گزارش شد (Agostinho et al., 2008). در تحقیقی در چین به منظور ارائه مناسب‌ترین نسبت سطح زیر کشت برنج و سبزیجات با استفاده از تحلیل‌های امرژی، انرژی و اقتصادی بیشترین سوددهی اقتصادی برای نظام تولید سبزیجات و پایداری در درآمدت برای نظام تولید برنج و سپس نظام چرخشی برنج - سبزیجات گزارش شد (Lu et al., 2010). محققان پس از بررسی تالاب‌های احیاء شده در چین گزارش کردند که تحلیل امرژی و ارزیابی اقتصادی، درک کاملی از وضعیت اقتصادی و زیست‌محیطی نظام‌ها را در بعد مکان و زمان بیان می‌کند و روش تولید و خصوصیات نظام‌های کشاورزی، موجب اثرات زیست‌محیطی و پایداری در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف خواهد شد (Lu et al., 2017). در تحقیقی دیگر در شهرستان نهبندان، در مورد دلایل تغییر کاربری اراضی از خرما به پسته با استفاده از تحلیل‌های انرژی، امرژی و اقتصادی، نتایج بررسی اقتصادی نشان داد که انگیزه اصلی باغ‌داران در تغییر باغ از خرما به پسته، سود اقتصادی بیشتر حاصل از تولید در باغ‌های پسته بود. با این حال، ارزیابی انرژی و امرژی نشان داد که تولید خرما در دراز مدت پایدارتر است (Jafari et al., 2018).

در تحقیقی پایداری چهار نظام تولید محصولات گلخانه‌ای در ایران بررسی گردید. بر اساس شاخص‌های امرژی، گیاهی که از انرژی‌های رایگان محیطی استفاده بیشتری برده بود و طول دوره رشد طولانی‌تری داشت پایداری بیشتری نشان داد (Asgharipour et al., 2020). در تحقیقی دیگر، نظام‌های مکانیزه و سنتی تولید کلزا در خرم‌آباد با استفاده از تحلیل امرژی مقایسه شدند و کاهش شدید مواد آلی خاک دلیل اصلی

## جمع‌آوری داده‌ها

در این پژوهش به منظور محاسبه شاخص‌های انرژی و تحلیل اقتصادی دو نظام بارانی و غرقابی تولید پسته، ابتدا جریان‌های محیطی رایگان تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر و جریان‌های غیر رایگان در سال ۱۳۹۸ برای هر دو نظام اندازه‌گیری و برآورد گردید. جریان‌های رایگان محیطی تجدیدپذیر شامل نور خورشید، باران، باد، تبخیر و تعرق و آب رودخانه؛ جریان‌های رایگان محیطی تجدیدنپذیر شامل فرسایش و تلفات مواد آلی خاک؛ جریان‌های غیر رایگان شامل کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها، ماشین‌آلات، سوخت، کود آلی، نیروی کارگری و الکتریسیته که از خارج نظام نشأت گرفته‌اند. خروجی نظام‌ها محصول پسته بود.

## روش تحلیل انرژی

جزئیات فرآیند محاسبه انرژی توسط محققین مختلف ارائه شده است (Uligati et al., 1993; Odum, 1996; Brown and Uligati, 1997; Odum et al., 2000). اولین گام برای تحلیل انرژی تعیین مرزهای مکانی و زمانی نظام مورد بررسی و ترسیم دیاگرام انرژی برای طبقه‌بندی جریان نظام‌های مورد بررسی به منابع تجدیدپذیر یا تجدیدنپذیر، محلی یا وارداتی است. این کار برای مدیریت روابط بین اجزای اصلی و فرآیندهای سودآور نظام ضروری است و هم‌چنین پایه‌های زیست‌محیطی بوم‌نظام و ارتباط آن‌ها را نمایش می‌دهد. نمودار زبان مفهومی نظام‌های انرژی در نظام آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. زبان نظام‌های انرژی یک زبان نمادین برای مدل‌سازی است، این زبان خصوصیات شبکه نظام‌ها را نشان می‌دهد (Odum, 1996). دومین گام برای تحلیل انرژی، ترسیم جداول ارزیابی انرژی است.

برای تجزیه و تحلیل نظام‌های تولید، منابع به چهار دسته تقسیم شدند (Lu et al., 2010): منابع محیطی تجدیدپذیر ( $R^1$ )، شامل: نورخورشید، باد، باران، آب رودخانه و تبخیر و تعرق؛ منابع محیطی تجدیدنپذیر ( $N^2$ )، شامل: فرسایش و

تلفات ماده آلی خاک؛ منابع خریداری شده تجدیدپذیر ( $FR^3$ )، شامل: ۸۰ درصد کود آلی، ۴۳ درصد انرژی مصرفی در تولید نهال، ۱۰ درصد نیروی کارگری و ۱ درصد الکتریسیته؛ منابع خریداری شده تجدیدنپذیر ( $FN^4$ )، شامل: ماشین‌آلات کشاورزی، سوخت فسیلی، کودها و سموم شیمیایی، ۹۹ درصد الکتریسیته، ۹۰ درصد نیروی کارگری، ۵۷ درصد انرژی مصرفی در تولید نشا و ۲۰ درصد کود آلی تجدیدنپذیر فرض شد (Asgharipour et al., 2019). با توجه به چگونگی پراکنش و تطابق بارش‌ها طی فصل رشد گیاه و تأمین بخشی از نیاز آبی گیاهان از بارش‌های مربوطه، مقدار انرژی هر نوع منبع تأمین‌کننده نیاز آبی گیاه (باران و آب‌های زیرزمینی)، محاسبه گردید. انرژی ماشین‌آلات با توجه به وزن فولاد به کار رفته، عمر اقتصادی ماشین و ساعات کار ماشین‌آلات در سال در نظر گرفته شد (Campbell et al., 2005). برای محاسبه انرژی نهال پسته و استقرار نظام آبیاری تحت فشار از ضریب انرژی به ازای واحد پول استفاده شد (Asgharipour et al., 2019). محتوای انرژی محصول تازه پسته، با سوزاندن در بمب کالری‌متر (Parr-6200 Calorimeter) محاسبه گردید. پس از محاسبه همه جریان‌های ورودی (U) و خروجی (Y)، اطلاعات خام برای هر کدام از نظام‌های تولید، بر حسب ژول، گرم یا دلار در ارزش واحد انرژی<sup>۵</sup> آن‌ها ضرب شد (Odum et al., 2000; Campbell et al., 2005; Bastianoni et al., 2007; Lu et al., 2010). ضرایب تبدیل برای الکتریسیته و پول، با توجه به شرایط ایران، توسط Asgharipour et al. (2019) در نظر گرفته شد.

در تحلیل انرژی برای ارزیابی‌های زیست‌محیطی و اقتصادی از شاخص‌های مبتنی بر انرژی استفاده می‌شود (Lu et al., 2010 and 2018). در این مطالعه از شاخص‌های ضریب تبدیل انرژی ( $TR^6$ )، درصد انرژی تجدیدپذیر ( $R\%^7$ )، نسبت سرمایه‌گذاری انرژی ( $EIR^8$ )، نسبت عملکرد انرژی ( $EYR^9$ )، نسبت بار محیط زیستی ( $ELR^{10}$ ) و نسخه اصلاح شده آن ( $ELR^*$ )، شاخص پایداری انرژی ( $ESI^{11}$ ) و نسخه اصلاح شده آن

<sup>7</sup> Renewable energy ratio

<sup>8</sup> Energy investment ratio

<sup>9</sup> Energy yield ratio

<sup>10</sup> Environmental loading ratio

<sup>11</sup> Energy sustainability index

<sup>1</sup> Renewable environmental inputs

<sup>2</sup> Non-renewable environmental inputs

<sup>3</sup> Renewable purchased inputs

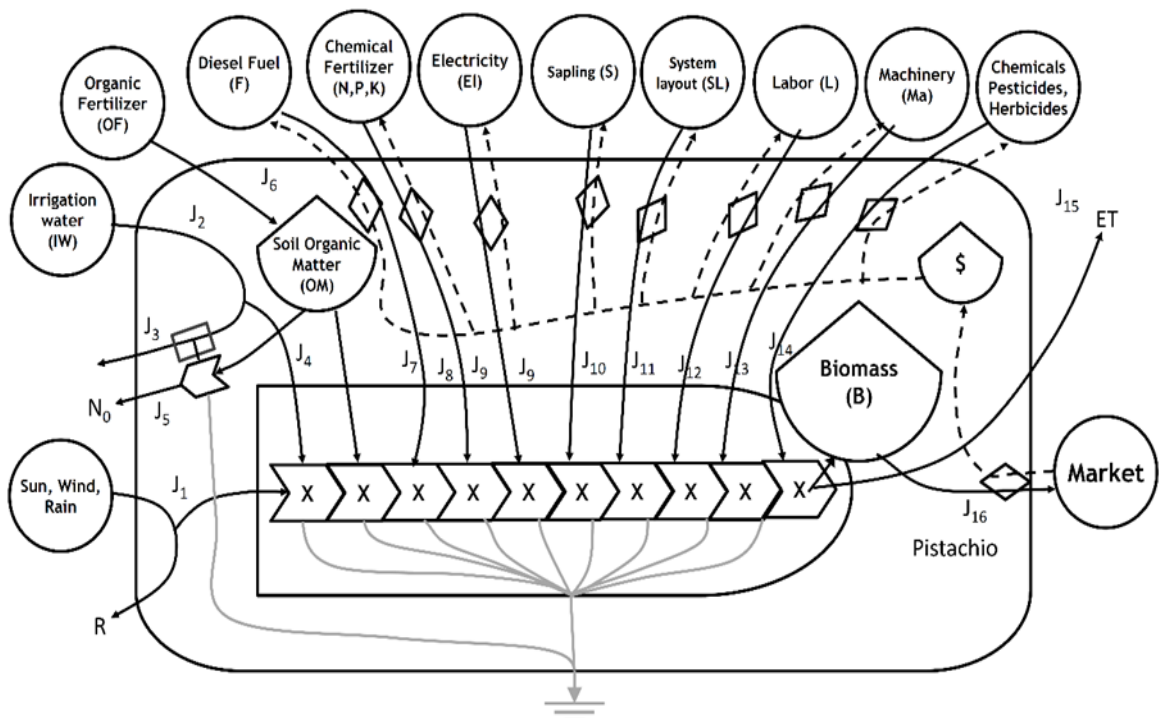
<sup>4</sup> Non-renewable purchased inputs

<sup>5</sup> Unit emery value

<sup>6</sup> Transformity

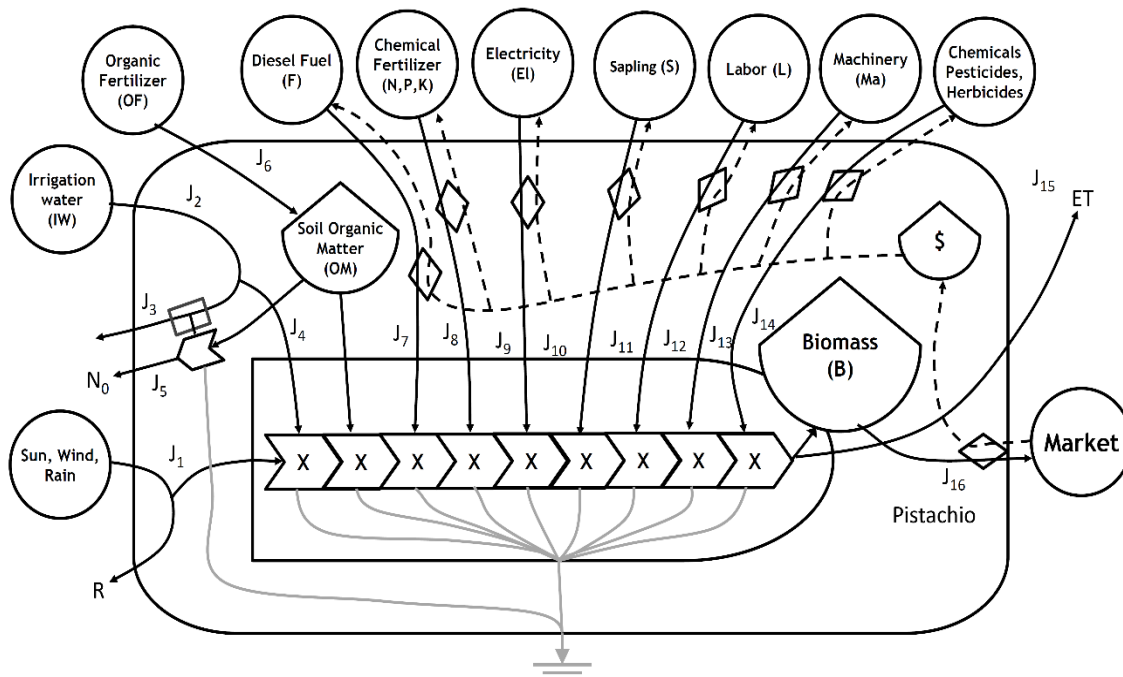
استفاده در این مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

(ESI\*) برای مقایسه دو نظام تجاری و سنتی تولید پسته استفاده شد. مشخصات و فرمول شاخص‌های امرژی مورد



شکل ۱- دیاگرام جریان امرژی برای نظام تحت آبیاری بارانی پسته

Figure 1- Diagram of the energy flows for drip irrigation pistachio system



شکل ۲- دیاگرام جریان امرژی برای نظام تحت آبیاری غرقابی پسته

Figure 2- Diagram of the energy flows for flood irrigation pistachio system

جدول ۱- مشخصات و فرمول شاخص‌های مبتنی بر انرژی مورد استفاده در ارزیابی نظام‌های تولید پسته در قم

Table 1- Specifications and formulae of the energy-based indices used in the evaluation pistachio fields of Qom

شاخص Indices	فرمول Formula	خصوصیات Specifications
جریان‌های محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental inputs	R	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع محلی رایگان Renewable flows from free local resources
جریان‌های محیطی تجدید ناپذیر Non-renewable environmental inputs	N <sub>0</sub>	جریان‌های تجدیدناپذیر از منابع محلی رایگان Local potentially renewable flows from free local resources that used in a non-renewable manner
جریان‌های بازاری تجدید پذیر Renewable purchased inputs	F <sub>R</sub>	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع غیر رایگان Renewable flows from purchased resources
جریان‌های بازاری تجدید ناپذیر Non-renewable purchased inputs	F <sub>N</sub>	جریان‌های تجدیدناپذیر از منابع غیر رایگان Nonrenewable flows from purchased resources
کل انرژی مورد استفاده Total energy input	U= R+ N +F <sub>R</sub> + F <sub>N</sub>	کل منابع انرژی مورد نیاز برای پشتیبانی نظام تولید Total energy resources required to support the production system
انرژی خروجی Total energy output	Y=R+N <sub>0</sub> +F	مجموع انرژی محصولات نظام Total energy of system products
ضریب تبدیل Transformity	Tr=U/AE	مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد خروجی بر حسب ژول، یک مقیاس بهره‌وری نظام. AE انرژی در دسترس محصول است. Amount of energy required to produce an output unit in joules, a measure of system efficiency. AE is the accessible energy of the product.
انرژی ویژه Specific energy	SE= U/W	مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد خروجی بر حسب گرم، W وزن در دسترس محصول است. Amount of energy required to produce an output unit measured in grams. W is the accessible weight of the product.
تجدید پذیری انرژی Energy renewability	%R= (R+ F <sub>R</sub> )/U	درصد انرژی تجدیدپذیر مورد استفاده نظام Percentage of renewable energy used by the system
نسبت عملکرد انرژی Energy yield ratio	EYR=Y/F <sub>R</sub> +F <sub>N</sub>	توانایی یک فرایند برای استفاده از منابع تجدیدپذیر و غیر قابل تجدید محیطی در صورت سرمایه‌گذاری منابع اقتصادی خارج از نظام به عنوان ورودی سرمایه. Ability of a process to use local renewable and nonrenewable resources when economic resources from outside are invested in the system as a capital input.
نسبت سرمایه‌گذاری انرژی Energy investment ratio	EIR=(F <sub>N</sub> +F <sub>R</sub> )/(R+N <sub>0</sub> )	نسبت خریداری شده برای انرژی رایگان نشان دهنده شدت سرمایه‌گذاری اقتصادی و تطابق آن با منابع رایگان تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر محیط محلی است. The ratio purchased to free energy indicates the intensity of economic investment and its matching to the free renewable and nonrenewable resources of the local environment.
نسبت بارگذاری محیطی Energy loading ratio	ELR=(N <sub>0</sub> +F <sub>R</sub> +F <sub>N</sub> )/R	نسبت انرژی خریداری شده و تجدیدناپذیر به ورودی‌های تجدیدپذیر از محیط محلی. این شاخص اندازه‌گیری بار بر روی محیط محلی است. The ratio of purchased and non-renewable energy to the renewable inputs from the local environment. This index is a measure of loading on the local environment.
نسبت بارگذاری محیطی اصلاح شده Energy loading ratio*	ELR*=(N <sub>0</sub> +F <sub>N</sub> )/(R+F <sub>R</sub> )	نسبت انرژی تجدیدناپذیر به انرژی تجدیدپذیر که توسط نظام مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ELR* یک معیار معکوس از پایداری نظام است. The ratio of nonrenewable energy to renewable energy used by the system. This ELR* is an inverse measure of the sustainability of the system.
شاخص پایداری انرژی Energy sustainability index	ESI=EYR/ELR	نسبت عملکرد نظام در واحد ورودی خریداری شده به کل بار در نظام محلی. نظام‌هایی با عملکرد بیشتر و بار کمتر پایدارترند. The ratio of system yield per unit of purchased input to the total loading on the local system. Systems with higher yields and lower loadings are more sustainable.
شاخص پایداری انرژی اصلاح شده Energy sustainability index*	ESI* =EYR/ELR*	این شاخص عملکرد نظام را در مقایسه با معیار معکوس پایداری نظام نشان می‌دهد. نظامی با ESI* بالاتر پایدارترند. This index shows the system yield in relation to an inverse measure of system sustainability, ELR*. A system with a higher ESI* is more sustainable.

## تجزیه و تحلیل شاخص‌های اقتصادی

ورودی‌ها و خروجی‌های نظام‌های تولید پسته تحت آبیاری بارانی و غرقابی با استفاده از روش‌های تحلیل اقتصادی متعارف از تحقیقات میدانی مورد ارزیابی قرار گرفت. به دلیل اینکه یک سال به عنوان مقیاس زمانی برای ارزیابی نظام‌ها در نظر گرفته شد، ورودی‌ها و خروجی‌ها در این نظام‌ها به شکل سالیانه بیان شد. جریان سالانه ورودی‌ها و خروجی‌ها بر مبنای قیمت‌های بازار محلی محاسبه شد. به منظور تحلیل شرایط اقتصادی مزارع در منطقه مورد مطالعه، برخی از شاخص‌های اقتصادی شامل درآمد ناخالص، ارزش ناخالص تولید، درآمد خالص، هزینه کل تولید، نسبت سود به هزینه و بهره‌وری محاسبه شد (Asgharipour et al., 2021).

$$NR = GVP - TCP \quad (1)$$

$$GVP = CY \times CP \quad (2)$$

$$TCP = VCP + FCP \quad (3)$$

$$B \text{ to } C = \frac{GVP}{TRD} \quad (4)$$

$$Productivity = \frac{CY}{TRD} \quad (5)$$

که NR، درآمد خالص (هزار ریال در هکتار)، GVP، ارزش ناخالص تولید (هزار ریال در هکتار)، TCP، هزینه کل تولید (هزار ریال در هکتار)، CY، عملکرد محصول زراعی (کیلوگرم در هکتار)، CP، قیمت محصول (هزار ریال در هکتار)، B to C، نسبت سود به هزینه و Productivity، بهره‌وری است.

## نتایج و بحث

### ساختار استفاده از امرژی

در جدول ۲ جریان ورودی‌های محیطی رایگان، خریداری شده و خروجی‌ها بر اساس واحدهای فیزیکی برای دو نظام مختلف تولید پسته نشان داده شده است. جریان‌های ورودی برحسب تجدیدپذیری به دو بخش جریان‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم شدند. در این مطالعه، ورودی امرژی کل نظام آبیاری غرقابی و بارانی تولید پسته به ترتیب  $4/05 \times 10^{16}$

و  $2/72 \times 10^{16}$  امژول خورشیدی در هکتار در سال تخمین زده شد (جدول ۳). مقایسه مقادیر امرژی ورودی نظام‌های مورد مطالعه نشان داد که امرژی کل ورودی در آبیاری غرقابی، حدوداً ۴۹ درصد بیشتر از آبیاری بارانی بود. علت بالا بودن مقدار امرژی نظام آبیاری غرقابی، نیاز بیشتر این نظام به جریان‌های محیطی تجدیدناپذیر شامل آب‌های زیرزمینی، تبخیر و تعرق و فرسایش خاک و سهم بیشتر جریان‌های خریداری شده شامل نیروی کار، ماشین‌آلات، سوخت فسیلی و روغن، و کودهای نیتروژن، فسفر و میکرو بود.

در تحقیقی، کل امرژی تولید انگور یاقوتی سیستان را  $10^{16} \times 1/94$  امژول خورشیدی در هکتار در سال گزارش نمودند که بیشترین میزان امرژی به ترتیب مربوط به نیروی کارگری، آب آبیاری و کود نیتروژن با  $10^{15} \times 8/05$ ،  $10^{15} \times 4/5$  و  $10^{15} \times 2/2$  امژول خورشیدی در هکتار در سال و کمترین مقدار مصرف امرژی در بین منابع خریداری شده مربوط به کود حیوانی با  $10^{11} \times 2/63$  امژول خورشیدی در هکتار در سال بود (Kohkan et al., 2017). در بررسی اثر کشاورزی حفاظتی در پایداری مزارع در منطقه نیمه‌خشک کانادا مقدار امرژی ورودی در نظام زراعی با تناوب آیش-کلزا-گندم دوروم در دو روش کشت بدون شخم و شخم در کانادا حداقل به ترتیب  $10^{15} \times 2/49$  و  $10^{15} \times 2/77$  امژول خورشیدی در هکتار در سال گزارش شد (Fan et al., 2018). مقدار امرژی کل ورودی برای نظام‌های تولید پسته و خرما در شهرستان نهبندان در خراسان جنوبی به ترتیب  $10^{16} \times 2/97$  و  $10^{16} \times 2/26$  (Jafari et al., 2018)، نظام‌های تولید تجاری و معیشتی کلزا در خرم آباد به ترتیب  $10^{16} \times 4/13$  و  $10^{16} \times 4/47$  (Amiri et al., 2019)، نظام‌های تولید سیب‌زمینی پاییزه و بهاره در شهرستان گرگان به ترتیب  $10^{16} \times 1/71$  و  $10^{16} \times 1/76$  (Shahhoseini et al., 2020) و برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در منطقه سیستان (در استان سیستان و بلوچستان) به ترتیب  $10^{16} \times 2/45$ ،  $10^{16} \times 3/12$  و  $10^{16} \times 4/73$  امژول خورشیدی در هکتار در سال (Yasini et al., 2020) گزارش شده است.

جدول ۲- جریان‌های طبیعی و اقتصادی برای آبیاری غرقابی و بارانی زمین‌های پسته قم در واحد هکتار

Table 2- Natural and economic flows for flood and drip irrigation pistachio fields of Qom per hectare

متغیرهای امرژی Energy Variables	واحد Unit	جریان یک ساله خام Raw annual flow		ضریب تبدیل خورشیدی Solar transformity	منبع ضریب تبدیل Reference for transformity
		بارانی Drip	غرقابی Flood		
جریان‌های محیطی تجدید پذیر Renewable environmental inputs					
انرژی خورشیدی Solar energy	J	4.63E+13	4.63E+13	1.00E+00	Odum, 1996
انرژی جنبشی باد Wind, kinetic energy	J	1.33E+09	1.33E+09	1.25E+03	Campbell and Erban, 2016
انرژی شیمیایی باران Rain, chemical	J	2.62E+10	2.62E+10	2.25E+04	Campbell and Erban, 2016
تبخیر و تعرق Evapotranspiration	J	1.19E+09	1.19E+09	2.88E+04	Campbell, 2003
جریان‌های محیطی تجدید ناپذیر Non-renewable environmental inputs					
آب‌های زیرزمینی Ground water	J	2.66E+10	5.70E+10	1.92E+05	Buenfil, 2001
تبخیر و تعرق Evapotranspiration	J	2.52E+10	4.92E+10	2.88E+04	Campbell, 2003
تلفات ماده آلی خاک SOM reduction	J	0.00E+00	0.00E+00	9.36E+04	Brandt-Williams, 2002
فرسایش خاک Soil erosion	g	2.68E+06	6.89E+06	1.27E+09	Brown and Bardi, 2001
جریان‌های خریداری شده Purchased inputs					
نیروی کار Human labor	J	2.35E+08	7.84E+08	2.22E+06	Lu and Campbell, 2009
ماشین‌آلات Machinery	g	5.26E+03	8.00E+03	1.01E+10	Campbell et al., 2005
سوخت فسیلی و روغن Fossil fuel and lubricant	g	5.60E+08	2.99E+09	8.60E+04	Bastianoni et al., 2009
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	g	1.18E+05	1.84E+05	3.09E+10	Brandt-Williams, 2002
کود فسفر Phosphorus fertilizer	g	9.00E+04	1.00E+05	2.82E+10	Brandt-Williams, 2002
کود پتاسیم Potash fertilizer	g	1.00E+05	1.00E+05	2.23E+09	Brandt-Williams, 2002
کود میکرو Micro fertilizer	g	6.10E+04	8.10E+04	3.91E+09	Lan et al., 2002
کود آلی Organic fertilizer	g	2.40E+07	2.40E+07	2.96E+08	Brandt-Williams, 2002
آفت کش Pesticide	g	7.50E+03	7.50E+03	1.89E+10	Maccanti et al. (man)
علف کش Herbicide	g	2.20E+04	2.20E+04	1.89E+10	Maccanti et al. (man)
الکتریسیته Electricity	J	2.70E+08	5.40E+07	2.31E+05	Amiri et al., 2019
نظام آبیاری Irrigation system	sej	2.31E+15	0.00E+00	6.76E+07	Asgharipour et al. 2019
نهل Sapling	Rial	5.33E+05	5.33E+05	1.00E+00	Asgharipour et al. 2020

ادامه جدول ۲- جریان‌های طبیعی و اقتصادی برای آبیاری غرقابی و بارانی زمین‌های پسته قم در واحد هکتار

Table 2 Continued- Natural and economic flows for flood and drip irrigation pistachio fields of Qom per hectare

خروجی Output			
عملکرد اقتصادی Economic yield	g	2.00E+06	1.80E+06
عملکرد اقتصادی Economic yield	J	4.98E+10	4.48E+10
افزایش ماده آلی Organic matter addition	g	3.E+07	7.E+07
افزایش ماده آلی Organic matter addition	J	7.60E+11	1.52E+12
کل Subtotal		1.73E+16	1.88E+16
جمع کل Total		2.72E+16	4.05E+16

سیستان به ترتیب  $1/0.9 \times 10^{15}$ ،  $1/0.36 \times 10^{15}$  و  $1/0.37 \times 10^{15}$  امژول خورشیدی در هکتار در سال (Yasini et al., 2020) گزارش شده است.

#### جریان‌های محیطی تجدیدناپذیر (N)

مصرف منابع آب زیرزمینی، تبخیر و تعرق، تلفات ماده آلی خاک و فرسایش خاک اجزای اصلی جریان‌های محیطی تجدیدناپذیر را تشکیل دادند که سهم آن‌ها از کل امرژی‌های ورودی برای نظام آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب  $52/06$  و  $33/99$  درصد بود. بیشترین بخش جریان ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر در هر دو نظام مربوط به آب زیرزمینی بود. به طور کلی، میزان مصرف آب زیرزمینی، تبخیر و تعرق و فرسایش خاک در نظام آبیاری غرقابی بیشتر از بارانی بود (جدول ۳).

جریان‌های محیطی تجدیدناپذیر در نظام‌های تولید پسته و خرما در شهرستان نهبندان به ترتیب  $9/01 \times 10^{15}$  و  $10^{15}$  ×  $6/26$  (Jafari et al., 2018)، نظام‌های تولید تجاری و معیشتی کلزا در خرم آباد به ترتیب  $2/14 \times 10^{16}$  و  $6/74 \times 10^{15}$  (Amiri et al., 2019)، نظام‌های تولید سیب‌زمینی پاییزه و بهاره در شهرستان گرگان به ترتیب  $4/63 \times 10^{15}$  و  $10^{15}$  ×  $8/51$  (Shahhoseini et al., 2020) و برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در منطقه سیستان به ترتیب  $9/68 \times 10^{15}$ ،  $1/32 \times 10^{16}$  و  $1/50 \times 10^{16}$  امژول خورشیدی در هکتار در سال (Yasini et al., 2020) گزارش شده است.

#### جریان‌های محیطی تجدیدپذیر (R)

جریان‌های محیطی تجدیدپذیر شامل نور خورشید، باد، باران و تبخیر و تعرق بودند. جریان‌های محیطی تجدیدپذیر مستقیماً از انرژی نور خورشید منشعب شدند. بنابراین، به منظور اجتناب از ارزیابی مضاعف، بزرگ‌ترین آن‌ها به اضافه انرژی خورشیدی که در فتوسنتز استفاده می‌گردد، به عنوان امرژی جریان‌های محیطی تجدیدپذیر در نظر گرفته شد (Asgharipour et al., 2019). بزرگ‌ترین ورودی رایگان محیطی در هر دو نظام، انرژی شیمیایی باران ( $5/90 \times 10^{14}$  امژول خورشیدی در هکتار در سال) بود (جدول ۳). جریان‌های محیطی تجدیدپذیر برای هر دو نظام در این مطالعه  $10^{14}$  ×  $6/36$  امژول خورشیدی در هکتار در سال بود. این دسته از منابع ورودی برای نظام‌های آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب  $2/34$  و  $1/57$  درصد از کل امرژی‌های ورودی به هر نظام را تشکیل داد.

جریان‌های محیطی تجدیدپذیر در نظام‌های تولید پسته و خرما در شهرستان نهبندان در استان خراسان جنوبی  $10^{15}$  ×  $3/13$  (Jafari et al., 2018)، نظام‌های تولید تجاری و معیشتی کلزا در خرم آباد به ترتیب  $1/99 \times 10^{15}$  و  $1/80 \times 10^{15}$  (Amiri et al., 2019)، نظام‌های تولید سیب‌زمینی پاییزه و بهاره در شهرستان گرگان  $5/68 \times 10^{14}$  (Shahhoseini et al., 2020)، نظام تولید برنج در چین  $1/82 \times 10^{15}$  (Su et al., 2020) و برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در منطقه

جدول ۳- تحلیل انرژی، ساختار ورودی و سهم جریان‌ها برای آبیاری غرقابی و بارانی زمین‌های پسته

Table 3- Energy synthesis, input structure and share of energy inputs for flood and drip irrigation pistachio fields

متغیرهای انرژی Energy Variables	بارانی Drip		غرقابی Flood	
	انرژی خورشیدی Solar energy (sej ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	انرژی خورشیدی Solar energy (%)	انرژی خورشیدی Solar energy (sej ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	انرژی خورشیدی Solar energy (%)
	جریان‌های محیطی تجدید پذیر Renewable environmental inputs		جریان‌های محیطی تجدید ناپذیر Non-renewable environmental inputs	
انرژی خورشیدی Solar energy	4.63E+13	0.17%	4.63E+13	0.11%
انرژی جنبشی باد Wind, kinetic energy	1.66E+12		1.66E+12	
انرژی شیمیایی باران Rain, chemical	5.90E+14	2.17%	5.90E+14	1.45%
تبخیر و تعرق Evapotranspiration	3.43E+13		3.43E+13	
کل Subtotal	6.36E+14	2.34%	6.36E+14	1.57%
آب‌های زیرزمینی Ground water	5.11E+15	18.79%	1.09E+16	27.00%
تبخیر و تعرق Evapotranspiration	7.26E+14	2.67%	1.42E+15	3.50%
تلفات مواد آلی خاک SOM reduction	0.00E+00	0.00%	0.00E+00	0.00%
فرسایش خاک Soil erosion	3.40E+15	12.52%	8.75E+15	21.57%
کل Subtotal	9.24E+15	33.99%	2.11E+16	52.06%
نیروی کار Human labor	5.22E+14	1.92%	1.74E+15	4.29%
ماشین‌آلات Machinery	5.31E+13	0.20%	8.08E+13	0.20%
سوخت فسیلی و روغن Fossil fuel and lubricant	4.82E+13	0.18%	2.57E+14	0.63%
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	3.65E+15	13.42%	5.69E+15	14.02%
کود فسفر Phosphorus fertilizer	2.54E+15	9.34%	2.82E+15	6.96%
کود پتاسیم Potash fertilizer	2.23E+14	0.82%	2.23E+14	0.55%
کود میکرو Micro fertilizer	2.39E+14	0.88%	3.17E+14	0.78%
کود آلی Organic fertilizer	7.10E+15	26.14%	7.10E+15	17.52%
آفت کش Pesticide	1.42E+14	0.52%	1.42E+14	0.35%
علف کش Herbicide	4.16E+14	1.53%	4.16E+14	1.03%
الکتریسیته				

ادامه جدول ۳- تحلیل انرژی، ساختار ورودی و سهم جریان‌ها برای آبیاری غرقابی و بارانی زمین‌های پسته

Table 3 Continued - Emery synthesis, input structure and share of emery inputs for flood and drip irrigation pistachio fields

Electricity نظام آبیاری	6.24E+13	0.23%	1.25E+13	0.03%
Irrigation system نهال	2.31E+15	8.50%	0.00E+00	0.00%
Sapling	5.33E+05	0.00%	5.33E+05	0.00%
کل				
Subtotal جمع کل	1.73E+16	63.67%	1.88E+16	46.37%
Total	2.72E+16	100.00%	4.05E+16	100.00%

### جریان‌های خریداری شده

مقدار جریان‌های خریداری شده در نظام‌های آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب  $10^{16} \times 1/88$  و  $10^{16} \times 1/73$  امژول خورشیدی در هکتار در سال بود که به ترتیب  $46/37$  و  $63/67$  درصد از کل جریان‌های ورودی به نظام‌ها را به خود اختصاص دادند. مقایسه جریان‌های خریداری شده دو نظام نشان داد که ساختار این جریان‌ها بین دو نظام دارای تفاوت زیادی بودند. به عنوان مثال انرژی ورودی سوخت فسیلی و روغن، نیروی کارگری، کود نیتروژن، ماشین‌آلات، و کودهای میکرو و فسفر در نظام غرقابی به ترتیب  $5/33$ ،  $2/33$ ،  $1/56$ ،  $1/52$ ،  $1/33$  و  $1/11$  برابر نظام بارانی بود. در مقابل انرژی ورودی الکتروسیته در نظام آبیاری بارانی  $4/99$  برابر نظام آبیاری غرقابی بود. هزینه استقرار نظام آبیاری در آبیاری بارانی معادل  $10^{15} \times 2/31$  امژول خورشیدی در هکتار در سال و در نظام غرقابی صفر بود. تفاوت زیاد در نوع جریان‌های خریداری شده به دلیل شیوه متفاوت مدیریت بود و الگوهای متفاوت تولید، منجر به تفاوت در ساختار جریان‌های خریداری شده دو نظام شده است. ماشین‌آلات، سوخت فسیلی و روغن، کودهای پتاسیم و کود میکرو، آفت‌کش، الکتروسیته و خرید نهال در هر دو نظام سهم بسیار کمی (کمتر از یک درصد) در میان ورودی‌های خریداری شده داشتند (جدول ۳).

جریان‌های خریداری شده در نظام‌های تولید پسته و خرما در شهرستان نهبندان به ترتیب  $10^{16} \times 1/76$  و  $10^{16} \times 1/32$  (Jafari et al., 2018)، نظام‌های تولید تجاری و معیشتی کلزا در خرم‌آباد به ترتیب  $10^{16} \times 1/80$  و  $10^{16} \times 1/61$  (Amiri et al., 2019)، نظام‌های تولید سیب‌زمینی پاییزه و بهاره در شهرستان گرگان به ترتیب  $10^{16} \times 1/19$  و

$10^{15} \times 1/54$  (Shahhoseini et al., 2020) و برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در منطقه سیستان به ترتیب  $10^{16} \times 2/45$ ،  $10^{16} \times 3/12$  و  $10^{16} \times 4/73$  امژول خورشیدی در هکتار در سال (Yasini et al., 2020) گزارش شده است.

### عملکرد و جریان کل انرژی (U)

نظامی پایدارتر و کارآمدتر خواهد بود که انرژی ورودی (برحسب امژول خورشیدی یا  $sej^1$ ) پایین‌تری در مقدار مشابه از محصول تولیدی (برحسب ژول (J) یا گرم (g)) داشته باشد. به عبارت دیگر در مقدار مشابه انرژی ورودی، محصول بیشتری تولید شود (Odum 1996; Brown et al., 2000). عملکرد اقتصادی در نظام آبیاری غرقابی و بارانی بر حسب انرژی به ترتیب  $10^{10} \times 4/48$  و  $10^{10} \times 4/98$  ژول و بر حسب گرم به ترتیب  $10^6 \times 1/80$  و  $10^6 \times 2/00$  گرم بود. کل انرژی ورودی در نظام‌های آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب  $10^{16} \times 4/05$  و  $10^{16} \times 2/72$  امژول خورشیدی در هکتار در سال بود؛ بنابراین نظام آبیاری بارانی کارآمدتر از نظام آبیاری غرقابی تعیین شد، چون هر واحد محصول تولید شده در نظام بارانی، توسط مقدار کمتری از انرژی در مقایسه با نظام غرقابی پشتیبانی شده است (جدول ۳).

جریان کل انرژی در نظام‌های تولید پسته و خرما در شهرستان نهبندان به ترتیب  $10^{16} \times 2/97$  و  $10^{16} \times 2/26$  (Jafari et al., 2018)، نظام‌های تولید تجاری و معیشتی کلزا در خرم‌آباد به ترتیب  $10^{16} \times 4/13$  و  $10^{16} \times 2/47$  (Amiri et al., 2019)، نظام‌های تولید سیب‌زمینی پاییزه و بهاره در شهرستان گرگان به ترتیب  $10^{16} \times 1/71$  و  $10^{16} \times 1/76$  و

<sup>1</sup> solar emjoules

ماده آلی (SpE)، کسر تجدیدپذیری انرژی (R%)، نسبت عملکرد انرژی (EYR)، نسبت سرمایه‌گذاری انرژی (EIR)، نسبت بارگذاری محیطی استاندارد (ELR) و اصلاح شده (ELR\*) و شاخص پایداری انرژی استاندارد (ESI) و اصلاح شده (ESI\*) بررسی شد. مقایسه شاخص‌های انرژی انعکاسی از روش مدیریت آبیاری و چگونگی اعمال شیوه‌های تولید در دو نظام مورد بررسی است. روابط ریاضی و تعاریف شاخص‌های مورد بحث در جدول ۱ و مقادیر شاخص‌های مبتنی بر انرژی در جدول ۴ ارائه شده است.

(Shahhoseini *et al.*, 2020) و برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در منطقه سیستان به ترتیب  $10^{16} \times 2/45$ ،  $10^{16} \times 3/12$  و  $10^{16} \times 4/73$  امژول خورشیدی در هکتار در سال (Yasini *et al.*, 2020) گزارش شده است.

### شاخص‌های انرژی

با استفاده از شاخص‌های انرژی میزان تفاوت بین دو نظام آبیاری بارانی و غرقابی، از لحاظ ویژگی‌های کارکردی شامل ضریب تبدیل انرژی (Tr)، انرژی ویژه برای عملکرد اقتصادی و

جدول ۴- شاخص‌های مبتنی بر انرژی و شاخص‌های اقتصادی برای آبیاری غرقابی و بارانی زمین‌های پسته قم

Table 4- Energy-based indices and economic indices for flood and drip irrigation pistachio fields of Qom

شاخص Indice	بارانی Drip	غرقابی Flood
ضریب تبدیل انرژی برای عملکرد اقتصادی Transformity for EY	5.46E+05	9.05E+05
ضریب تبدیل انرژی برای ماده آلی Transformity for OM	3.58E+04	2.67E+04
انرژی ویژه برای عملکرد اقتصادی Specific energy for EY	1.36E+10	2.25E+10
انرژی ویژه برای ماده آلی Specific energy for OM	8.09E+08	6.03E+08
تجدید پذیری انرژی (%) R%	3.45	2.43
نسبت عملکرد انرژی EYR	1.571	2.157
نسبت سرمایه‌گذاری انرژی EIR	1.753	0.865
نسبت سرمایه‌گذاری انرژی اصلاح شده EIR*	27.214	29.566
نسبت بارگذاری محیطی ELR	41.74	62.76
نسبت بارگذاری محیطی اصلاح شده ELR*	27.964	40.236
شاخص پایداری انرژی ESI	0.038	0.034
شاخص پایداری انرژی اصلاح شده ESI*	0.056	0.054
درآمد ناخالص Gross income	1700	1530
درآمد خالص Net income	1584.05	1413.61
نسبت ورودی به خروجی Input/Output ratio	14.66	13.14

### ضریب تبدیل (Tr)

ضریب تبدیل (Tr) شاخصی مفید برای بررسی بازده امرژی تولید محصول است (Brown and Ulgiati, 2004). مقدار بیشتر Tr به ازای تولید یکسان، اثربخشی پایین امرژی از جنبه اقتصادی و زیست‌محیطی را نشان می‌دهد (Odum, 1996; Lu et al., 2010). در نظام آبیاری غرقابی و بارانی، ضریب تبدیل امرژی برای عملکرد اقتصادی به ترتیب  $10^5 \times 9/05$  و  $10^5 \times 5/46$  امژول خورشیدی در ژول و برای ماده آلی به ترتیب  $10^4 \times 2/67$  و  $10^4 \times 3/58$  امژول خورشیدی در ژول بود. ضریب تبدیل بزرگتر در نظام آبیاری غرقابی به دلیل مصرف بالاتر امرژی به ویژه آب زیرزمینی و در عین حال تولید پایین‌تر این نظام بود که بیانگر کارایی کمتر آن در مقایسه با نظام آبیاری بارانی بود. اگرچه مصرف امرژی در نظام آبیاری بارانی کمتر از نظام آبیاری غرقابی بود ولی تولید آن بیشتر بود؛ بنابراین کارایی نظام آبیاری بارانی در تبدیل امرژی ورودی به عملکرد از آبیاری غرقابی بیشتر بود. به این معنی که در نظام آبیاری بارانی به ازای هر واحد از محصول تولیدی، امرژی کمتری اختصاص یافته بود؛ بنابراین دلیل اصلی بازده بهتر امرژی ورودی نظام آبیاری بارانی، میزان بیشتر تولید محصول اقتصادی ( $10^6 \times 2/00$  امژول خورشیدی در ژول) در واحد سطح نسبت به امرژی ورودی به نظام، در مقایسه با آبیاری غرقابی ( $10^6 \times 1/80$  امژول خورشیدی در ژول) بود.

مقدار این شاخص برای نظام‌های چند کشتی سنتی و تولید مکانیزه ذرت در ایالات متحده به ترتیب  $10^5 \times 2/32$  و  $10^4 \times 9/30$  (Martin et al., 2006)، در تولید چرخشی ذرت-گندم در شمال چین  $10^4 \times 6/05$  (Hu et al., 2010)، تولید گندم در شمال چین  $10^5 \times 1/63$  (Wang et al., 2014)، تولید زراعی گندم و ذرت در جهرم به ترتیب  $10^5 \times 4/05$  و  $10^8 \times 4/23$  (Houshyar et al., 2018)، تولید پسته و خرما در شهرستان نهندان به ترتیب  $10^9 \times 1/71$  و  $10^9 \times 1/47$  (Jafari et al., 2018)، نظام‌های تولید سیب‌زمینی پاییزه و بهاره در شهرستان گرگان به ترتیب  $10^5 \times 1/5$  و  $10^5 \times 2/54$  (Shahhoseini et al., 2020) و در نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در سیستان به ترتیب  $10^8 \times 6/73$  و  $10^6 \times 4/19$  و  $10^6 \times 7/12$  امژول خورشیدی در ژول (Yasini et al., 2020) گزارش شده است.

### شاخص امرژی مخصوص (SpE)

شاخص امرژی مخصوص (SpE)، مقدار امرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد جرم خروجی است. این شاخص عاملی برای ارزیابی امرژی واحد زیست‌توده تولیدی در نظام است و مقدار امرژی پشتیبان کننده هر واحد بیوماس تولیدی را بر حسب واحد جرم (گرم یا کیلوگرم) بیان می‌کند (Odum, 2000; Zhang et al., 2012). هر چه زیست‌توده تولیدی در یک نظام، نیاز کمتری به جریان امرژی پشتیبان کننده در واحد سطح داشته باشد، شاخص امرژی مخصوص در آن نظام کمتر است (Pizzigallo et al., 2008). در نظام‌های آبیاری غرقابی و بارانی، امرژی ویژه برای عملکرد اقتصادی به ترتیب  $10^{10} \times 2/25$  و  $10^{10} \times 1/36$  امژول خورشیدی در گرم و برای ماده آلی به ترتیب  $10^8 \times 6/03$  و  $10^8 \times 8/09$  امژول خورشیدی در گرم بود. امرژی ویژه برای عملکرد اقتصادی در نظام آبیاری بارانی کمتر از آبیاری غرقابی بود که بیانگر مقدار امرژی مورد نیاز کمتر برای تولید یک واحد خروجی در آن در مقایسه با آبیاری غرقابی بود اما امرژی ویژه برای ماده آلی در نظام آبیاری بارانی بیشتر از آبیاری غرقابی بود.

### کسر تجدیدپذیری امرژی (%R)

کسر تجدیدپذیری امرژی (%R) نشان‌دهنده درصد تجدیدپذیری ورودی‌های امرژی است (Zhang and Long, 2010). نظام‌های تولیدی که منابع تجدیدپذیر تأمین‌کننده کسر بیشتری از امرژی ورودی است، احتمالاً پایدارترند. نظامی در بلندمدت در رقابت اقتصادی موفق‌تر است که از منابع تجدیدناپذیر به میزان کمتری نسبت به منابع تجدیدپذیر استفاده نماید (Brown and Ulgiati, 2004; Lefroy and Rydberg, 2003). درصد تجدیدپذیری امرژی نظام‌های آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب  $2/43$  و  $3/45$  درصد بود. ورودی امرژی از منابع تجدیدپذیر محیطی در هر دو نظام آبیاری  $10^{14} \times 6/36$  امژول خورشیدی در هکتار در سال و میزان کل امرژی ورودی در آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب  $10^{16} \times 4/05$  و  $10^{16} \times 2/72$  امژول خورشیدی در هکتار در سال بود. در این تحقیق، مقدار کمتر درصد تجدیدپذیری امرژی در آبیاری غرقابی نشان‌دهنده این است که این نظام درصد بیشتری از امرژی مورد استفاده خود را به منابع تجدیدناپذیر به

به عبارت دیگر، توانایی یک فرایند برای استفاده از منابع تجدیدپذیر و غیر قابل تجدید محیطی در صورت سرمایه‌گذاری منابع اقتصادی خارج از نظام به عنوان ورودی سرمایه است. هر چه نسبت عملکرد امرژی بالاتر باشد نشان‌دهنده استفاده بیشتر از منابع رایگان امرژی است (Odum, 2000; Brown and Ulgiati, 2004). حداقل مقدار نسبت عملکرد امرژی یک است که نشان‌دهنده سهم صفر برای جریان‌های رایگان در فرآیند تولید و وابستگی کامل به جریان‌های خریداری شده از بازار است. میزان بیشتر این شاخص، بیانگر بازگشت بیشتر امرژی به ازای هر واحد از جریان‌های خریداری شده و مصرف کارآمدتر جریان‌ها و در نتیجه کارایی بیشتر نظام در مصرف امرژی به ازای هر واحد از جریان‌های خریداری شده است (Ghaley et al., 2018).

مقدار این شاخص برای آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب ۲/۱۵۷ و ۱/۵۷۱ بود. در آبیاری غرقابی به دلیل استفاده بیشتر از جریان‌های تجدیدناپذیر رایگان مقدار EYR بالاتری داشت. این موضوع نشان می‌دهد که بهره‌برداری یک نظام از منابع رایگان بیانگر کارآمدی نظام نیست. در واقع، در مقایسه با نظام بارانی، آبیاری غرقابی توانایی خوبی برای بهره‌برداری از منابع رایگان محلی داشت اما نسبت ورودی به خروجی در آبیاری غرقابی (۱۳/۱۴) کمتر از بارانی (۱۴/۶۶) بود.

در تحقیقی، مقدار EYR برای نظام‌های تولید پسته و خرما در شهرستان نهبندان را به ترتیب ۱/۶۹ و ۱/۷۱ گزارش نمودند که بیانگر وابستگی این دو نظام به جریان‌های خریداری شده بود (Jafari et al., 2018). در تحقیق دیگری، مقدار EYR برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر را به ترتیب ۱/۷۹، ۱/۸۷ و ۱/۵۳ گزارش نمودند که بیانگر مقدار وابستگی پایین این سه نظام به جریان‌های رایگان محیطی بود و نظام‌های تولید پیاز و گندم در منطقه سیستان به دلیل مصرف کمتر جریان‌های بازاری مقدار EYR بالاتری داشتند (Yasini et al., 2020). در تحقیق دیگری، مقدار این شاخص برای نظام‌های تولید سیب‌زمینی پاییزه و بهار در شهرستان گرگان را به ترتیب ۱/۴۴ و ۲/۰۶ درصد گزارش کردند که بیانگر وابستگی زیادتر تولید به جریان‌های خریداری شده در نظام پاییزه بود (Shahhoseini et al., 2020).

ویژه مصرف بیشتر آب زیرزمینی و فرسایش بیشتر خاک وابسته است. بنابراین نظام آبیاری بارانی در مقایسه با نظام آبیاری غرقابی در بلندمدت پایداری بیشتری دارد. جریان‌های غیر رایگان معمولاً از خارج نظام وارد می‌شوند و سهم زیاد آن‌ها نشان می‌دهد که این نظام‌ها باز هستند و به شدت تحت تأثیر جریان‌های خریداری شده از اقتصاد قرار می‌گیرند (Yasini et al., 2020).

این شاخص در نظام‌های تولید پسته و خرما در شهرستان نهبندان به ترتیب ۳۵/۴ و ۴۳/۲ درصد گزارش شد. نظام تولید خرما به دلیل سهم کوچک‌تری از جریان‌های خریداری شده و وابستگی بیشتر آن به فرآیندهای بوم‌شناختی و منابع تجدیدپذیر محلی دارای نسبت تجدیدپذیری بالاتری بود (Jafari et al., 2018). این شاخص در نظام‌های تولید تجاری و معیشتی کلزا در خرم‌آباد به ترتیب ۵/۳۰ و ۱۹/۹۰ درصد گزارش شد. عمده‌ترین دلیل کوچکی این شاخص در نظام تجاری، تلفات بالای مواد آلی خاک از منبع تجدیدناپذیر در اثر خاک‌ورزی و شیوه تولید بود (Amiri et al., 2019). در تحقیقی، نسبت تجدیدپذیری امرژی برای نظام‌های تولید پاییزه و بهار سیب‌زمینی در شهرستان گرگان را به ترتیب ۲۲/۸۵ و ۱۲/۷۸ درصد گزارش کردند. آن‌ها علت تجدیدپذیری بیشتر در نظام پاییزه نسبت به نظام بهار را سهم بیشتر منابع تجدیدپذیر از ورودی‌های بازاری در نظام پاییزه و وابستگی بیشتر به منابع تجدیدناپذیر به ویژه آب زیرزمینی در نظام بهار گزارش کردند؛ لذا پایداری بیشتر نظام پاییزه نسبت به نظام بهار را در بلندمدت گزارش کردند (Shahhoseini et al., 2020). در تحقیق دیگری، مقدار این شاخص را در نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر را در منطقه سیستان به ترتیب ۴/۸، ۱۱/۶ و ۱۲/۵ درصد گزارش نمودند. نظام‌های تولید پیاز و سیر به دلیل مصرف میزان زیاد کودهای آلی برای تأمین نیازهای غذایی وابستگی کمتری به جریان‌های امرژی تجدیدناپذیر داشتند و نظام تولید گندم با مصرف کمتر جریان‌های امرژی تجدیدپذیر ناپایدارتر بود (Yasini et al., 2020).

### نسبت عملکرد امرژی (EYR)

نسبت عملکرد امرژی (EYR) نسبت کل امرژی خروجی به امرژی خریداری شده از بازار تعریف می‌شود (Odum, 2000).

### نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR)

نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR) نسبت امرژی‌های خریداری شده به امرژی‌های رایگان است و نشان‌دهنده شدت سرمایه‌گذاری اقتصادی و تطابق آن با منابع رایگان تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر از منابع محیطی محلی است. به عبارت دیگر، شاخص EIR نشان‌دهنده درجه وابستگی نظام کشاورزی به محیط‌زیست و سطح توسعه اقتصادی است (Odum, 2000). بنابراین دو شاخص EIR و EYR شاخص‌های مشابهی هستند که میزان بهره‌برداری از جریان‌های رایگان را به روش‌های مختلفی تعریف می‌کنند. میزان کمتر EIR نشان‌دهنده وابستگی شدید نظام به جریان‌های رایگان و سطح کم هزینه‌های اقتصادی است (Odum, 2000; Lan et al., 2002). مقدار EIR برای نظام‌های آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب ۰/۸۶۵ و ۱/۷۵۳ بود. مقادیر به دست آمده بیانگر مقدار بیشتر وابستگی به جریان‌های غیر رایگان بازاری در آبیاری بارانی به ویژه هزینه استقرار نظام آبیاری بود.

این شاخص در نظام‌های تولید تجاری و معیشتی کلزا در خرم آباد به ترتیب ۰/۷۶ و ۱/۸۶ گزارش شد. عمده‌ترین دلیل کوچکی این شاخص در نظام تجاری، تلفات بالای مواد آلی خاک بود (Amiri et al., 2019).

در تحقیق دیگری، مقدار EIR برای نظام‌های تولید پسته و خرما را به ترتیب ۱/۴۵ و ۱/۴۱ گزارش نمودند (Jafari et al., 2018). در تحقیق دیگری، مقدار این شاخص برای نظام‌های تولید سیب‌زمینی پاییزه و بهاره در شهرستان گرگان به ترتیب ۲/۲۹ و ۰/۹۴ بود که بیانگر وابستگی زیاد تولید به جریان‌های خریداری شده در نظام پاییزه بود. علت بیشتر بودن این شاخص در نظام پاییزه سرمایه‌گذاری اقتصادی بیشتر جریان‌های اقتصادی در آن و بیانگر سطح بالای توسعه اقتصادی آن بود. مصرف بیشتر جریان‌های بازاری مانند بذر، کود دامی و سوخت فسیلی در نظام پاییزه و مصرف بیشتر آب زیرزمینی به عنوان یک ورودی محیطی در نظام بهاره باعث بیشتر شدن این شاخص در نظام پاییزه نسبت به نظام بهاره شد (Shahhoseini et al., 2020).

در تحقیق دیگری، مقدار EIR را برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در منطقه سیستان به ترتیب ۱/۲۷، ۱/۱۵ و ۱/۹۰ گزارش نمودند که بیانگر وابستگی بیشتر به جریان‌های

غیر رایگان بازاری در نظام تولید پیاز و گندم و بهره‌برداری بیشتر نظام‌های تولید سیر از جریان‌های رایگان است (Yasini et al., 2020).

### نسبت بارگذاری محیطی استاندارد (ELR) و اصلاح شده (ELR\*)

شاخص ELR نسبت امرژی‌های خریداری شده و تجدیدنپذیر محلی به جریان‌های تجدیدپذیر محلی است. ELR شاخصی از فشار محیطی ایجاد شده از فعالیت‌های تولید اقتصادی است و به عنوان معیاری از فشار بالقوه انسانی از یک فرآیند به محیط اطرافش در نظر گرفته شده است (Odum, 2000). میزان بالاتر ELR نشان‌دهنده فشار محیطی بیشتر بر بوم‌نظام‌های محلی به دلیل استفاده از جریان‌های تجدیدنپذیر است (Odum, 1996).

میزان شاخص ELR مستقیماً با جریان‌های تجدیدپذیر ارتباط دارد و به عنوان معیاری از فشار محیطی وارد شده بر نظام در اثر تولید در نظر گرفته شده است (Ulgiati and Brown, 1998). به طور کلی، مقدار ELR کمتر از ۲ بیانگر فشار محیطی کم، مقادیر بین ۲ تا ۱۰ بیانگر فشار محیطی متوسط و مقدار ELR بیشتر از ۱۰ بیانگر فشار محیطی زیاد است (Brown and Ulgiati, 2004). ELR\* نسبت امرژی تجدیدنپذیر به امرژی تجدیدپذیر است که توسط نظام مورد استفاده قرار می‌گیرد. به بیان دیگر ELR\* معیار معکوس از پایداری نظام است و بیانگر مقدار استفاده نظام از خدمات محیط‌زیست است (Campbell and Garmestani, 2012).

مقدار شاخص ELR برای نظام‌های آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب ۶۲/۶۷ و ۴۱/۴۷ و ELR\* در نظام‌های آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب ۴۰/۲۴ و ۲۷/۹۶ بود. مقدار بالای ELR در نظام‌های این مطالعه به دلیل مصرف بیشتر جریان‌های امرژی تجدیدنپذیر و خریداری شده بود که نشان‌دهنده فشار زیادی بر محیط‌زیست است. دلیل بالاتر بودن ELR و ELR\* در نظام آبیاری غرقابی در مقایسه با نظام آبیاری بارانی میزان مصرف بیشتر جریان‌های امرژی تجدیدنپذیر به ویژه میزان مصرف آب زیرزمینی، تبخیر و تعرق و فرسایش خاک و جریان‌های خریداری شده مانند سوخت فسیلی و روغن، نیروی کارگر، کود نیتروژن، ماشین‌آلات، و کودهای میکرو و فسفر بود. در این

زیاد انرژی نیاز دارد (Ulgiati and Brown, 1998). شاخص ESI مزایای ایجاد شده از یک نظام در واحد سطح را می‌سنجد (Brown and Ulgiati, 1997).

به عبارت دیگر، شاخص ESI مزیت نظام را نسبت به هزینه‌های آن اندازه‌گیری می‌کند؛ بنابراین، شاخص ESI هر دو جنبه محیط‌زیست و اقتصاد را در نظر می‌گیرد. شاخص ESI می‌تواند به عنوان معیاری از پایداری نظام‌های کشاورزی استفاده گردد. این شاخص باعث شناسایی نظام‌هایی می‌گردد که نیاز کمتری به محیط‌زیست دارند و برای تولید وابسته به جریان‌های تجدیدپذیر محلی هستند (Jafari et al., 2018).

به‌طور کلی دو شاخص پایداری امرژی استاندارد (ESI) و اصلاح شده (ESI\*) به طور هم‌زمان استفاده از منابع و فشار وارد شده بر محیط‌زیست را بررسی می‌کنند (Odum, 1996). شاخص‌های ESI و ESI\* از دیدگاه‌های مختلف میزان سازگاری در محیط‌زیست و اقتصاد را در محاسبات در نظر گرفته‌اند و میزان بالاتر این شاخص‌ها بیانگر میزان بیشتر جریان‌های تجدیدپذیر محیطی و کاهش جریان‌های خریداری شده است و بیانگر پایداری بیشتر نظام است (Asgharipour et al., 2018). مقادیر ESI در نظام‌های آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب ۰/۰۳۴ و ۰/۰۳۸ و مقادیر ESI\* در نظام‌های آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب ۰/۰۵۴ و ۰/۰۵۶ بود که نشان‌دهنده این است که نظام‌ها از سطح پایداری مطلوبی برخوردار نیستند و فشار محیطی زیادی اعمال می‌کنند. با توجه به مقادیر ESI و ESI\* نظام آبیاری غرقابی نسبت به نظام آبیاری بارانی ناپایدارتر بود.

در مقایسه پایداری پنج نظام مختلف لوبیا در خمین در استان مرکزی، مقدار ESI را بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۸ و ESI\* را بین ۰/۰۴ تا ۱/۴۸ گزارش نمودند. در تحقیق آن‌ها همه ESI‌ها کمتر از یک بودند که بیانگر فشار بالا به محیط‌زیست توسط نظام‌های مختلف کشاورزی بود. در این مطالعه محققین توانستند با کمک ESI\* تفکیک بهتری از فشار نظام‌ها بر محیط‌زیست ایجاد کرده و نظام بوم‌شناختی با ESI\* ۱/۴۸ را به عنوان پایدارترین و نظام با ورودی بالا با ESI\* ۰/۰۴ را ناپایدارترین نظام در مقایسه با نظام‌های دیگر گزارش نمودند (Asgharipour et al., 2018). مقدار شاخص ESI برای نظام‌های تولید خرما و پسته در نهبندان به ترتیب ۱/۳۰ و ۰/۹۳

مطالعه نظام آبیاری بارانی به دلیل ELR و ESI\* کمتر نسبت به نظام آبیاری غرقابی پایداری بیشتری داشت.

در تحقیقی، میزان ESI\* برای سه نظام تولید لوتوس خالص، لوتوس-میگو و لوتوس-ماهی در چین را به ترتیب ۲/۳، ۲/۸ و ۲/۴ گزارش نمودند (Ul et al., 2017). آن‌ها با توجه به میزان ESI\* پایداری بیشتر نظام تولید لوتوس خالص نسبت به دو نظام دیگر را گزارش نمودند. مقدار شاخص ESI\* برای نظام‌های تولید خرما و پسته نهبندان به ترتیب ۱/۳۱ و ۱/۸۲ گزارش شده است (Jafari et al., 2018).

مقدار ELR برای نظام‌های تولید کلزا تجاری و سنتی در خرم آباد به ترتیب ۱۹/۷۵ و ۱۲/۶۸ و ESI\* در نظام‌های تجاری و سنتی به ترتیب ۱۷/۸۵ و ۴/۰۰ گزارش شده است. در نظام تجاری، فقط ۰/۵ درصد از کل انرژی ورودی به نظام از جریان‌های بازاری تجدیدپذیر بود و این باعث شد مقادیر ELR و ESI\* شبیه یکدیگر شوند ولی در نظام سنتی، نسبت جریان‌های بازاری تجدیدپذیر به کل جریان‌های انرژی حدود ۱۳ درصد بود که منجر به تفاوت قابل توجهی بین مقادیر ELR و ESI\* شد (Amiri et al., 2019).

در تحقیق دیگری، مقدار ELR برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در منطقه سیستان را به ترتیب ۲۱/۴۲، ۲۱/۹۳ و ۳۳/۴۲ گزارش نمودند. نظام تولید سیر درصد ESI\* بیشتری در مقایسه با تولید گندم و پیاز داشت که به دلیل مصرف بیشتر جریان‌های امرژی تجدیدناپذیر به ویژه تلفات مواد آلی خاک، سیرچه و نیروی انسانی در مقایسه با تولید گندم و پیاز بود (Yasini et al., 2020).

## شاخص پایداری امرژی استاندارد (ESI) و اصلاح شده (ESI\*)

شاخص پایداری امرژی استاندارد (ESI) و اصلاح شده (ESI\*) نسبت عملکرد نظام در واحد جریان‌های خریداری شده به کل بار در نظام است. نظام‌هایی با عملکرد بیشتر و بار کمتر پایدارتر هستند. مقدار این شاخص بین صفر تا بی نهایت تغییر می‌کند. مقادیر شاخص‌های پایداری امرژی بیشتر از ۱۰ نظام‌های پایدار با حداقل فشار، مقادیر بین ۱ و ۱۰ پتانسیل خوب و مقادیر کمتر از ۱ بیانگر نظام پرمصرف است که منابع نظام را تخلیه کرده و اثر محیطی زیاد دارد و بقای آن به مصرف

هزینه آن و پایداری اقتصادی در نظام بهاره بیشتر از نظام پاییزه بود. علت کمتر بودن این شاخص در نظام پاییزه مصرف بسیار بیشتر جریان‌های اقتصادی در آن بود (Shahhoseini *et al.*, 2020).

گزارش شده است که بیانگر عدم پایداری نظام و فشار محیطی بالا بود (Jafari *et al.*, 2018). مقدار این شاخص برای نظام‌های تولید سیب‌زمینی پاییزه و بهاره در شهرستان گرگان به ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۰۷ بود؛ بنابراین مزایای نظام نسبت به

جدول ۵- تحلیل اقتصادی برای آبیاری غرقابی و بارانی زمین‌های پسته قم (میلیون ریال)

Table 5- Economic analysis for flood and drip irrigation pistachio fields of Qom (million Rials)

متغیر Variable	بارانی	غرقابی
جریان‌های خریداری شده Purchased inputs	Drip	Flood
نیروی کار Human labor	7.5	28.125
ماشین‌آلات Machinery	14.25	21.68
سوخت فسیلی و روغن Fossil fuel and lubricant	1.05	5.6
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	1.27	1.99
کود فسفر Phosphorus fertilizer	7.52	8.36
کود پتاسیم Potash fertilizer	10	10
کود میکرو Micro fertilizer	12.81	17.01
کود آلی Organic fertilizer	7.44	7.44
آفت کش Pesticide	2.96	2.96
علف‌کش Herbicide	11.22	11.22
الکترسیته Electricity	7.4	1.48
نظام آبیاری Irrigation system	32	0
نهال Sapling	0.53	0.53
کل Total	115.95	116.395
خروجی Output		
عملکرد اقتصادی Economic yield	1700	1530

پایین در تمام نظام‌ها و تقاضای نسبتاً بالا برای جریان‌های تجدیدناپذیر بود (Yasini *et al.*, 2020).

مقدار ESI برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در منطقه سیستان را کمتر از یک گزارش نمودند که بیانگر امری خروجی

## تحلیل اقتصادی

در نظام آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب هزینه کار نیروی انسانی و استقرار نظام آبیاری بیشترین هزینه‌ها را به خود اختصاص دادند. با توجه به جدول ۵، هزینه کل تولید برای آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب ۱۱۶/۳۹۵ و ۱۱۵/۹۵ میلیون ریال در هکتار در سال بود. برای آبیاری غرقابی و بارانی درآمد ناخالص به ترتیب ۱۵۳۰ و ۱۷۰۰ میلیون ریال در هکتار در سال برای هر هکتار و درآمد خالص به ترتیب ۱۴۱۳/۶۱ و ۱۵۸۴/۰۵ میلیون ریال برای هر هکتار در سال و نسبت ورودی به خروجی به ترتیب ۱۳/۱۴ و ۱۴/۶۶ بود. با توجه به این نتایج، درآمد خالص به دست آمده در آبیاری بارانی بیشتر از آبیاری غرقابی بود.

در تحقیقی در منطقه سیستان، در نظام تولید گندم هزینه‌های بذر، ماشین‌آلات و سوخت و در نظام تولید پیاز هزینه‌های کود آلی، نیروی انسانی و الکتروسیته و در نظام تولید سیر بذر، کود دامی و نیروی انسانی بیشترین هزینه را به خود اختصاص دادند. برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر هزینه کل تولید به ترتیب ۱۲/۵۷، ۳۰/۵۴ و ۷۱/۴۲، درآمد خالص به ترتیب ۵۵/۷۸، ۱۱۳/۶۱ و ۳۳۱/۱۳ و نسبت سود به هزینه به ترتیب ۴/۴۴، ۳/۷۲ و ۴/۶۴ میلیون ریال در هکتار گزارش گردید (Yasini et al., 2020).

## نتیجه‌گیری کلی

محاسبه شاخص‌های مختلف، برای مقایسه دو نظام آبیاری نشان داد، شاخص‌های ضریب تبدیل برای ماده آلی، امرژی ویژه برای ماده آلی، %R، EIR، ESI، \*ESI، درآمد ناخالص، درآمد خالص و نسبت ورودی به خروجی در نظام آبیاری بارانی بیشتر از آبیاری غرقابی و شاخص‌های ضریب تبدیل برای عملکرد

اقتصادی، امرژی ویژه برای عملکرد اقتصادی، EYR، ELR و \*ELR در نظام آبیاری غرقابی بیشتر از آبیاری بارانی بود. ارزیابی شاخص ضریب تبدیل نشان داد که نظام آبیاری بارانی به دلیل ورود امرژی کمتر و عملکرد بیشتر، از سودمندی و کارایی تولید بیشتری نسبت به آبیاری غرقابی برخوردار است. ارزیابی شاخص‌های اقتصادی نسبت عملکرد امرژی و نسبت سرمایه‌گذاری امرژی نشان داد که سطح توسعه اقتصادی در نظام آبیاری بارانی از غرقابی بیشتر است. با این وجود، کارایی استفاده از منابع اقتصادی در نظام آبیاری غرقابی بیشتر است. ارزیابی شاخص تجدیدپذیری امرژی نشان داد که وابستگی نظام آبیاری غرقابی به منابع تجدیدناپذیر به ویژه مصرف آب زیرزمینی و فرسایش خاک، بیشتر بوده و بنابراین نظام‌های آبیاری بارانی در مقایسه با غرقابی در بلندمدت پایداری بیشتری دارد.

ارزیابی شاخص نسبت بار محیطی نشان داد که وابستگی محیطی در نظام آبیاری غرقابی نسبت به بارانی بیشتر بود و سهم زیاد مصرف آب زیرزمینی (به عنوان یک ورودی محیطی تجدیدناپذیر) باعث افزایش فشار محیطی و کاهش پایداری محیطی در نظام آبیاری غرقابی نسبت به نظام بارانی شد. استفاده از آبیاری بارانی موجب کاهش مصرف آب زیرزمینی و در نتیجه کاهش فشار محیطی خواهد شد. ارزیابی شاخص پایداری امرژی نشان داد که پایداری اقتصادی نظام آبیاری غرقابی کمی از آبیاری بارانی کمتر است که دلیل آن وابستگی بیشتر نظام آبیاری غرقابی به ورودی‌های اقتصادی به ویژه مصرف کود نیتروژن و استفاده از نیروی انسانی بود. به عنوان نتیجه نهایی، نظام آبیاری بارانی از لحاظ عملکرد، سودمندی تولید، نسبت درآمد به هزینه و درآمد خالص و پایداری محیطی از نظام آبیاری غرقابی مطلوب‌تر است.

## References

- Agostinho, F., Diniz, G., Siche, R. and Ortega, E., 2008. The use of emergy assessment and the geographical information system in the diagnosis of small family farms in Brazil. *Ecological Modelling*, 210, pp.37-57. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2007.07.007
- Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E. and AghapourSabaghi, 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(120891), pp.1-11. doi:

**10.1016/j.jclepro.2020.120891**

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(126000), pp.1-19. doi: **10.1016/j.jclepro.2021.126000**

Asgharipour, M.R., Amiri, Z., Asgharipour, M.R. 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, pp.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(1), pp.1-21. doi: **10.1007/s10661-018-7123-3**

Bastianoni, S., Vassallo, P., Beiso, I., Ridolfi, R. and Fabiano, M., 2007. Emergy analysis for the environmental sustainability of an inshore fish farming system. *Ecological Indicators*, 7(2), pp.290-298. doi: **10.1016/j.ecolind.2006.02.003**

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. and Ulgiati, S., 1997. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecological Engineering*, 9(1-2), pp.51-69. doi: **10.1016/s0925-8574(97)00033-5**

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(1-2), pp.201-213. doi: **10.1016/j.ecolmodel.2004.03.002**

Brown, M.T., Brandt-Williams, S., Tilley, D. and Ulgiati, S., 2000. Applications of the Emergy Methodology. *In First Biennial Emergy Analysis Research Conference*. Centre for Environmental Policy, Gainesville, FL, pp.1-14.

Buenfil, A.A., 2001. Emergy evaluation of water. University of Florida.

Campbell, D.E., Bastianoni, S., Ridolfi, R. and Pulselli, F.M., 2005. The solar transformity of petroleum fuels. *Ecological Modelling*, 220, pp.40-50. doi: **10.1016/j.ecolmodel.2008.09.003**

Campbell, D.E. and Garmestani, A.S., 2012. An energy systems view of sustainability: emergy evaluation of the San Luis Basin, Colorado. *Journal of Environmental Management*, 95(1), pp.72-97. doi: **10.1016/j.jenvman.2011.07.028**

- 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, pp.559-571. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.12.053
- Copeland, J.P., McKelvey, K.S., Landa, A. and Aubry, K.B., 2010. The bioclimatic envelope of the wolverine (*Gulogulo*): do climatic constraints limit its geographic distribution? *Canadian Journal of Zoology*, 88(3), pp.233-246. doi:10.1139/z09-136
- Fan, J., Mc Conkey, B.G., Janzen, H.H. and Miller, P.R., 2018. Emergy and energy analysis as an integrative indicator of sustainability: a case study in semi-arid Canadian farmlands. *Journal of Cleaner Production*, 172, pp.428-437. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.10.200
- Ghaley, B.B., Kehli, N. and Mentler, A., 2018. Emergy synthesis of conventional fodder maize (*Zea mays* L.) production in Denmark. *Ecological Indicators*, 87, pp.144-151. doi: 10.1016/j.ecolind.2017.12.027
- Hole, D.G., Perkins, A.J., Wilson, J.D., Alexander, I.H., Grice, P.V. and Evans, A.D., 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation*, 122, pp.113-130. doi: 10.1016/j.biocon.2004.07.018
- Houshyar, E., Wu, X.F. and Chen, G.Q., 2018. Sustainability of wheat and maize production in the warm climate of southwestern Iran: an emergy analysis. *Journal of Cleaner Production*, 172, pp.2246-2255. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.11.187
- Hu, S., Mo, X.G., Lin, Z.H. and Qiu, J.X., 2010. Emergy assessment of a wheat-maize rotation system with different water assignments in the North China Plain. *Journal of Environmental Management*, 46, pp.643-657. doi: 10.1007/s00267-010-9543-x
- 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, pp.642-651. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.089
- Kohkan, Sh.A., Ghanbari, A., Asgharipour, M.R. and Fakheri, B.A., 2017. Emergy evaluation of Yaghtuti grape of Sistan. *Arid Biome Scientific and Research Journal*, 7(2), pp.73-84. [In Persian]. doi: 10.29252/aridbiom.7.2.73
- Lan, S.F., Qin, P. and Lu, H.F., 2002. Emergy Assessment of Ecological Systems. *Chemical Industry Press*, Beijing, China, 76, pp.406, 412. doi: 10.1016/j.chnaes.2015.06.007
- Lefroy, E. and Rydberg, T., 2003. Emergy evaluation of three cropping systems in southwestern Australia. *Ecological Modelling*, 161(3), pp.195-211. doi: 10.1016/s0304-3800(02)00341-1
- Lu, H., Bai, Y., Ren, H. and Campbell, D.E., 2010. Integrated emergy, energy and economic evaluation of rice and vegetable production systems in alluvial paddy fields: implications for agricultural policy in China. *Journal of Environmental Management*, 91(12), pp.2727-2735. doi: 10.1016/j.jenvman.2010.07.025
- Lu, H.F., Cai, C.J., Zeng, X.S., Campbell, D.E., Fan, S.H. and Liu, G.L., 2018. Bamboo vs. crops: an integrated emergy and economic evaluation of using bamboo to replace crops in south Sichuan Province, China. *Journal of Cleaner Production*, 177, pp.464-473. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.12.193
- 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. *Journal of Cleaner Production*, 158, pp.367-379. doi: **10.1016/j.jclepro.2017.05.016**
- Martin, J.F., Diemont, S.A.W., Powell, E., Stanton, M. and Levy-Tacher, S., 2006. Emery evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 115, pp.128-140. doi: **10.1016/j.agee.2005.12.016**
- Odum, H.T., 1996. Environmental Accounting: Emery and Environmental Decision Making. Wiley, New York.
- Odum, H.T., 2000. Handbook of Emery Evaluation: A Compendium of Data for Emery Computation Issued in a Series of Folios. Folio No. 2 e Emery of Global Processes. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, FL, p. 28.
- Odum, H.T., 2007. Environment, Power, and Society for the Twenty-First Century. The Hierarchy of Emery. Columbia University Press, New York.
- Pizzigallo, A.C.I., Granai, C. and Borsa, S., 2008. The joint use of LCA and emery evaluation for the analysis of two Italian wine farms. *Journal of Environmental Management*, 86, pp.396-406. doi : **10.1016/j.jenvman.2006.04.020**
- Qureshi, M.E., Wegener, M.K., Bristow, K.L. and Harrison, S.R., 1970. Economic evaluation of alternative irrigation systems for sugarcane in the Burdekin delta in north Queensland, Australia. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 48.
- Sha, Zh., Guan, F., Wang, J., Zhang, Y., Liu, H. and Wang, Ch., 2015. Evaluation of raising geese in cornfields based on emery analysis: A case study in southeastern Tibet, China. *Ecological Engineering*, 84, pp.485-491. doi: **10.1016/j.ecoleng.2015.09.025**
- Shahhoseini, H.R., Ramroudi, M. and Kazemi, H., 2020. Evaluating the resources use efficiency and sustainability indices for two potato production systems using emery analysis (Case study: Gorgan county). *Journal of Agroecology*, 12(1), pp.127-142. [In Persian]. doi: **10.22067/jag.v12i1.81189**
- Su, Y., He, Sh., Wang, K., Shahtahmassebi, A.R., Zhang, L., Zhang, J., Zhang, M. and Gan, M., 2020. Quantifying the sustainability of three types of agricultural production in China: an emery analysis with the integration of environmental. *Journal of Cleaner Production*, 252, pp.30-58. doi: **10.1016/j.jclepro.2019.119650**
- Ulgianti, S. and Brown, M.T., 1998. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecological Modelling*, 108(1-3), pp.23-36. doi:**10.1016/s0304-3800(98)00016-7**
- Ulgianti, S., Odum, H.T. and Bastianoni, S., 1993. Emery analysis of Italian agricultural system. The role of energy quality and environmental inputs. In: *Trends in ecological physical chemistry*. Elsevier Science Publishers Amsterdam, p. 187-215.
- Wang, X., Dadouma, A., Chen, Y., Sui, P., Gao, W., Qin, F., Zhang, J. and Xia, W., 2014. Emery analysis of grain production systems on large-scale farms in the North China Plain based on LCA. *Agricultural Systems*, 128, pp.66-78. doi: **10.1016/j.agsy.2014.03.005**
- Wu, X.H., Wu, F.Q., Tong, X.G. and Jiang, B., 2013. Emery-based sustainability assessment of an integrated production system of cattle, biogas, and greenhouse vegetables: Insight into the comprehensive utilization of

wastes on a large-scale farm in Northwest China. *Ecological Engineering*, 61, pp.335-344.

**doi:10.1016/j.ecoleng.2013.09.060**

Yasini, H., Ghanbari, A., Asgharipour, M.R. and Seyedabadi, E., 2020. Evaluation of sustainability in wheat, onion and garlic cropping systems by joint use of emergy and economic accounting. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(2), pp.269-288. [In Persian].

Zhang, G. and Long, W., 2010. A key review on emergy analysis and assessment of biomass resources for a sustainable future. *Energy Policy*, 38(6), pp.2948-2955. **doi: 10.1016/j.enpol.2010.01.032**

Zhang, L.X., Song, B. and Chen, B., 2012. Emergy-based analysis of four farming systems: insight into agricultural diversification in rural China. *Journal of Cleaner Production*, 28, pp.33-44. **doi: 10.1016/j.jclepro.2011.10.042**

Zhang, Q., Yue, D., Fang, M., Yu, Q., Huang, Y., Su, K., Ma, H. and Wang, Y., 2018. Study on sustainability of land resources in Dengkou County based on emergy analysis. *Journal of Cleaner Production*, 171, pp.580-591. **doi: 10.1016/j.jclepro.2017.09.275**

## Appendix A

### Items of emergy for drip irrigation layout (sej ha<sup>-1</sup>)

**Initial investment in the pumping station (sej ha<sup>-1</sup>):** (cost, 6.50E+07) × (emRials, 6.67E+07 sej IR Rials) = 4.34E+15sej ha<sup>-1</sup>

**Initial investment in irrigation equipment (sej ha<sup>-1</sup>):** (cost, 22.70E+07) × (emRials, 6.67E+07 sej IR Rials) = 1.53E+16sej ha<sup>-1</sup>

**Central control system for pumping stations (sej ha<sup>-1</sup>):** (cost, 1.30E+07) × (emRials, 6.67E+07 sej IR Rials) = 8.79E+14sej ha<sup>-1</sup>

**Drip irrigation accessories (sej ha<sup>-1</sup>):** [(iron, 5.80E+04 g ha<sup>-1</sup>) × (specific emergy, 3.56E+10 sej g<sup>-1</sup>)] + [(Plastic, 5.20E+04 g ha<sup>-1</sup>) × (specific emergy, 4.19E+09sej g<sup>-1</sup>)] = 2.28E+15 sejha<sup>-1</sup>

**Drip irrigation tape (sej ha<sup>-1</sup>):** (plastic, 1.20E+05 g ha<sup>-1</sup>) × (specific emergy, 3.56E+10 sej g<sup>-1</sup>) = 4.27E+15 sejha<sup>-1</sup>

**Drip irrigation tapeinstallation cost (sej ha<sup>-1</sup>):** (cost, 4.0E+06) × (emRials, 6.67E+07 sej IR Rials) = 2.74E+14sej ha<sup>-1</sup>

**Drip irrigation layout emergy (sej ha<sup>-1</sup>):** ∑emergy item = 2.31E+16sej ha<sup>-1</sup>

Assume a life span of 10 years, yearly emergy for drip irrigation layout: 2.31E+15 sej ha<sup>-1</sup>

## Appendix B

### Drip irrigation system

**1-Solar energy (J ha<sup>-1</sup>):** (area, 1 ha) × (10,000 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) × (during growth season, 5.79E+09 J m<sup>-2</sup>) × (1-albedo, 0.8) = 4.63E+13 J ha<sup>-1</sup>

**2-Wind, kinetic energy (J ha<sup>-1</sup>):** (area, 1 ha) × (10,000 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) × (air density, 1.3 kg m<sup>-3</sup>) × (drag coefficient, 0.002) × (wind velocity × 2.9 m s<sup>-1</sup>)<sup>3</sup> × (growth season, 2.048E+7 s) = 1.33E+09 J ha<sup>-1</sup>

**3- Rain, chemical potential energy (J ha<sup>-1</sup>):** (area, 1 ha) × (10,000 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) × (rainfall, 0.028 m yr<sup>-1</sup>) (density, 1,000 kg m<sup>-3</sup>) (Gibbs free energy, 4,740 J kg<sup>-1</sup>) = 2.62E+10 J ha<sup>-1</sup>

**4- Rain evapotranspiration energy (J ha<sup>-1</sup>):** (area, 1 ha) × (10,000 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) × (transpiration, 0.025 m yr<sup>-1</sup>) × (density, 1,000 kg m<sup>-3</sup>) × (Gibbs free energy, 4,740 J kg<sup>-1</sup>) = 1.19E+09 J ha<sup>-1</sup>

**5- Ground water energy (J ha<sup>-1</sup>):** (area, 1 ha) × (10,000 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) × (average quantity, 0.750 m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup>) × (conversion, 1000 kg m<sup>-3</sup>) × (Gibbs free energy, 4,590 J kg<sup>-1</sup>) = 3.44E+10 J ha<sup>-1</sup>

**6- Groundwater evapotranspiration energy (J ha<sup>-1</sup>):** (area, 1 ha) × (10,000 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) × (transpiration, 0.732 m yr<sup>-1</sup>) × (density, 1,000 kg m<sup>-3</sup>) × (Gibbs free energy, 4,740 J kg<sup>-1</sup>) = 3.47E+10 J ha<sup>-1</sup>

**7- SOM change:** + 0.80%

SOM reduction weight = (area, 1 ha) × (10,000 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) × (0.3 m, soil layer) × (1400 kg m<sup>-3</sup>, Soil bulk density) × (0.80%) = 33,600 kg ha<sup>-1</sup>

SOM reduction energy: (33,600 kg ha<sup>-1</sup>, SOM reduction weight) × (5400 kcal kg<sup>-1</sup>) × (4186 J kcal<sup>-1</sup>) = 7.60E+11 J ha<sup>-1</sup>

**8- Soil erosion (J ha<sup>-1</sup>):**

Average soil loss from water erosion calculated by USLE model to be 4.675 tones ha<sup>-2</sup>

Soil erosion = (area, 1 ha) × (soil loss rate, 4.675 tones ha<sup>-2</sup>) × (1.0E+06 g tones<sup>-1</sup>) = 4.68E+06g ha<sup>-1</sup>

**9- Human labor (J ha<sup>-1</sup>):** (Working hour, 200 h ha<sup>-1</sup>) × (1.96E+06 J h<sup>-1</sup>) = 3.92E+08J ha<sup>-1</sup>

**10- Agricultural Machinery steel (gr ha<sup>-1</sup>):**

Tractor: (Steel weight, 3.60E+06 g × work hours, 20 h ha<sup>-1</sup>) = 7.20E07 g h ha<sup>-1</sup>

Assume an economic life of 15 years, yearly work hours 540 h).

Agricultural Machinery (g ha<sup>-1</sup>) = Σ (steel × work hours /economic life/yearly work hours) × hours ha<sup>-1</sup> = 5.33E+03 gr ha<sup>-1</sup>

**11- Fuel for machinery (J ha<sup>-1</sup>):** (average quantity, 12.0 kg ha<sup>-1</sup>) × (conversion, 4.67E+07 J kg<sup>-1</sup>) = 5.60E+08 J ha<sup>-1</sup>

**12- Electricity (J ha<sup>-1</sup>):** (average quantity, 75 kWh ha<sup>-1</sup>) × (conversion, 3.6E+06 J kWh<sup>-1</sup>) = 2.70E+08 J ha<sup>-1</sup>

## Flood irrigation system

**1-Solar energy (J ha<sup>-1</sup>):** (area, 1 ha) × (10,000 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) × (during growth season, 5.79E+09 J m<sup>-2</sup>) × (1-albedo, 0.8) = 4.63E+13 J ha<sup>-1</sup>

**2-Wind, kinetic energy (J ha<sup>-1</sup>):** (area, 1 ha) × (10,000 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) × (air density, 1.3 kg m<sup>-3</sup>) × (drag coefficient, 0.002) × (wind velocity × 2.9 m s<sup>-1</sup>)<sup>3</sup> × (growth season, 2.048E+7 s) = 1.33E+09 J ha<sup>-1</sup>

**3- Rain, chemical potential energy (J ha<sup>-1</sup>):** (area, 1 ha) × (10,000 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) × (rainfall, 0.028 m yr<sup>-1</sup>) (density, 1,000 kg m<sup>-3</sup>) (Gibbs free energy, 4,740 J kg<sup>-1</sup>) = 2.62E+10 J ha<sup>-1</sup>

**4- Rain evapotranspiration energy (J ha<sup>-1</sup>):** (area, 1 ha) × (10,000 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) × (transpiration, 0.025 m yr<sup>-1</sup>) ×

$$(\text{density, } 1,000 \text{ kg m}^{-3}) \times (\text{Gibbs free energy, } 4,740 \text{ J kg}^{-1}) = 1.19\text{E}+09 \text{ J ha}^{-1}$$

**5- Ground water energy (J ha<sup>-1</sup>):** (area, 1 ha) × (10,000 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) × (average quantity, 1.050 m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup>) × (conversion, 1000 kg m<sup>-3</sup>) × (Gibbs free energy, 4,790 J kg<sup>-1</sup>) = 4.98E+10 J ha<sup>-1</sup>

**6- Ground water evapotranspiration energy (J ha<sup>-1</sup>):** (area, 1 ha) × (10,000 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) × (transpiration, 0.927 m yr<sup>-1</sup>) × (density, 1,000 kg m<sup>-3</sup>) × (Gibbs free energy, 4,740 J kg<sup>-1</sup>) = 4.51E+10 J ha<sup>-1</sup>

**7- SOM change:** +0.8%

SOM reduction weight = (area, 1 ha) × (10,000 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) × (0.3 m, soil layer) × (1400 kg m<sup>-3</sup>, Soil bulk density) × (1.60%) = 67,200 kg ha<sup>-1</sup>

SOM reduction energy: (67,200 kg ha<sup>-1</sup>, SOM reduction weight) × (5400 kcal kg<sup>-1</sup>) × (4186 J kcal<sup>-1</sup>) = 1.52E+12 J ha<sup>-1</sup>

**8- Soil erosion (J ha<sup>-1</sup>):**

Average soil loss from water erosion calculated by USLE model to be 6.886 tones ha<sup>-2</sup>

Soil erosion = (area, 1 ha) × (soil loss rate, 6.886 tones ha<sup>-2</sup>) × (1.0E+06 g tones<sup>-1</sup>) = 6.886E+06g ha<sup>-1</sup>

**9- Human labor (J ha<sup>-1</sup>):** (Working hour, 400 h ha<sup>-1</sup>) × (1.96E+06 J h<sup>-1</sup>) = 7.84E+08J ha<sup>-1</sup>

**10- Agricultural Machinery steel (gr ha<sup>-1</sup>):**

Tractor: (Steel weight, 3.60E+06 g × work hours, 30 h ha<sup>-1</sup>) = 1.08E08 g h ha<sup>-1</sup>

Assume an economic life of 15 years, yearly work hours 540 h).

Agricultural Machinery (g ha<sup>-1</sup>) = Σ (steel × work hours /economic life/yearly work hours) × hours ha<sup>-1</sup> = 8.00E+03 gr ha<sup>-1</sup>

**11- Fuel for machinery (J ha<sup>-1</sup>):** (average quantity, 64.0 kg ha<sup>-1</sup>) × (conversion, 4.67E+07 J kg<sup>-1</sup>) = 2.99E+09 J ha<sup>-1</sup>

**12- Electricity (J ha<sup>-1</sup>):** (average quantity, 15 kWh ha<sup>-1</sup>) × (conversion, 3.6E+06 J kWh<sup>-1</sup>) = 5.40E+07 J ha<sup>-1</sup>

## Evaluation of sustainability of two pistachio production systems under drip and flood irrigation using energy analysis technique in Qom province

Shahram Riahinia<sup>1\*</sup>, Mohammad Reza Asgharipour<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Agricultural Science and Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Department of Agronomy, University of Zabol, Zabol, Iran

\*Corresponding Author: [riahinia@pnu.ac.ir](mailto:riahinia@pnu.ac.ir)

Received: 24 November 2021

Accepted: 20 July 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.316751.1160

### Abstract

**Introduction:** Agricultural ecosystems depend on free environmental flows such as water, wind, sunlight, soil and soil organic matter and non-free flows such as fertilizers, pesticides, electricity, fuel, mechanical equipment and other industrial products. In this context, it is useful to use biophysical methods based on thermodynamic laws such as energy analysis, exergy analysis, exergy evaluation and life cycle evaluation with regard to the contribution of environmental services and inputs in the production system based on equivalent unit. By applying the emergy approach to analyzing the sustainability of agricultural systems, we can ensure that adequate management is implemented in order to increase the sustainability of production in these systems. In this regard, by evaluating and comparing two flood and drip irrigation systems in pistachio production using the integration of emergy and economic indicators, it is possible to provide an accurate picture of the sustainability of the two pistachio irrigation systems in Qom city, so that based on the results, Solutions for the development of cultivation and stabilization of pistachio production and the optimal presence of this plant in the cultivation pattern of the region should be provided.

**Materials and Methods:** In the current study, two irrigation systems for pistachio fields in Qom Province, Iran, were analyzed using emergy analysis. For this study, we measured free renewable and non-renewable environmental flows, as well as non-free flows, in 2019 for two pistachio production systems that were irrigated by flood and rain. Free renewable environmental flows including sunlight, rain, wind, evaporation and transpiration and river water; Non-renewable environmental free flows including erosion and losses of soil organic matter; Non-free flows include chemical fertilizers, pesticides, herbicides, machinery, fuel, organic fertilizers, labor and electricity that originate from outside the system. The output of the system was pistachio product.

**Results and Discussion:** The largest free environmental input in both systems was the chemical energy of rain with  $5.90E+14$  sej ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. Renewable environmental flows for both systems in this study were  $6.36E+14$  sej ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. This category of input sources for flood and drip irrigation systems constituted 1.57% and 2.34% of the total inputs to each system, respectively. Consumption of underground water resources, evaporation and transpiration, loss of soil organic matter and soil erosion formed the main components of non-renewable environmental flows, whose share of the total input energy for flood and drip irrigation systems was 52.06% and 33.99%, respectively. Most of the flow of non-renewable environmental inputs in both systems was related to underground water. In general, the amount of underground water consumption, evaporation and transpiration and soil erosion was higher in flood irrigation system than drip irrigation system. The total emergy inputs for the flood and drip irrigation systems were calculated to be  $4.05E+16$  and  $2.72E+16$  sej ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, respectively, according to the findings. In contrast to the flood irrigation system, the drip irrigation system was more reliant on purchased supplies than on environmental inputs. Groundwater consumption accounted for 27.00% of total energy input in the flood irrigation system, while livestock manure accounted for 26.14% of total energy input in the drip irrigation system. Transformities in the flood and drip irrigation systems were  $9.05E+05$  and  $5.46E+05$  sej J<sup>-1</sup>, respectively; emergy renewabilities were 2.43% and 3.45%; emergy yield ratios were 2.157 and 1.571; emergy investment

ratios were 0.86 and 1.75; standard environmental loading ratios were 62.76 and 41.74; and standard emergy sustainability indices were 0.034 and 0.038, respectively.

**Conclusion:** Despite the flood irrigation system's larger contribution of environmental resources, the high use of groundwater as a non-renewable input resulted in an increase in environmental burden. The adoption of drip irrigation will lessen environmental burden on ecosystems while also improving water use. In the current study, the drip irrigation system outperformed the flood irrigation system in terms of yield, resource efficiency, renewability, and environmental sustainability.

**Keywords:** Emergy investment ratio, Environmental loading ratio, Emergy sustainability index, Ground water