

## Evaluation and Comparison of the Efficiency and Sustainability of soybean Production in Aq Qala and Aliabad-e-Katul counties based on the Emergy Analysis Technique

Ebrahim Asdkhani<sup>1</sup>, Mahmoud Ramroudi<sup>2</sup>, Mohammad Reza Asghripour<sup>2</sup>,  
Hamidreza Shahhoseini<sup>3</sup>

Received: 20 July 2023 Accepted: 11 December 2023

1-Student of Agroecology, University of Zabol, Zabol, Iran

2-Prof. of Department of Agronomy, University of Zabol, Zabol, Iran.

3-PhD. Graduated of Agroecology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.

\*Corresponding Author Email: mramroudi42@uoz.ac.ir

### Abstract

**Background and Objective:** The purpose of this study was to evaluate and compare the efficiency and sustainability of soybean (*Glycine max* L.) agricultural ecosystems in the counties of Aq Qala and Aliabad-e-Katul.

**Materials and Methods:** The study was conducted in 2018-2019. First, resources were divided into four categories: renewable environmental resources, nonrenewable environmental resources, purchased renewable resources and purchased nonrenewable resources. After determining the inputs and outputs of farms and their emergy equivalent, emergy indices were evaluated. In this study, production systems of soybean were evaluated using emergy indices in counties of Aq Qala and Aliabad-e-Katul (Golestan province), by questionnaires and face to face interview with farmers and managers of farms.

**Results:** The total emergy input to soybean farming ecosystems in Aq Qala and Aliabad-e-Katul was  $6.21E+16$  and  $6.42E+16$  sej ha<sup>-1</sup>, respectively. In both agricultural ecosystems, dependence on non-renewable environmental inputs was much more than renewable environmental, renewable purchased and non-renewable purchased inputs, which was due to the large contribution of groundwater and soil erosion from the total emergy input.

**Conclusion:** Soybean production system in Aq Qala was more favorable in terms of resources use efficiency and environmental and economic sustainability than soybean production system in Aliabad-e-Katul. Implementation of the recommended solutions to reduce the consumption of non-renewable resources in providing purchased inputs, along with awareness, education and encouragement of farmers in this field, is effective in increasing efficiency and environmental and economic sustainability in agricultural ecosystems.

**Keywords:** Emergy Input, Environmental Load, Groundwater, Soil Erosion, Yield

## ارزیابی و مقایسه کارایی و پایداری تولید سویا در شهرستان های آق قلا و علی آباد کتول بر پایه روش تحلیل امرژی

ابراهیم اسدخانی<sup>۱</sup>، محمود رمودی<sup>۲</sup>، محمدرضا اصغری پور<sup>۳</sup>، حمیدرضا شاه حسینی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۰

۱- دانشجوی ارشد آگرواکولوژی، دانشگاه زابل

۲- استاد گروه زراعت، دانشگاه زابل

۳- دانش آموخته دکتری آگرواکولوژی، دانشگاه زابل

\*مسئول مکاتبه: Email: mramroudi42@uoz.ac.ir

### چکیده

**اهداف:** این تحقیق با هدف ارزیابی و مقایسه کارایی و پایداری بوم‌نظام‌های زراعی سویا (*Glycine max L.*) در شهرستان‌های آق قلا و علی‌آباد کتول، انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** مطالعه، در استان گلستان در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و توسط پرسش‌نامه و مصاحبه با کشاورزان و مدیران مزارع انجام شد. در ابتدا منابع به چهار گروه محیطی تجدیدپذیر، محیطی تجدیدناپذیر، بازاری تجدیدپذیر و بازاری تجدیدناپذیر تقسیم شد. پس از تعیین ورودی‌ها و خروجی مزارع و معادل امرژی آنها، شاخص‌های امرژی ارزیابی شد.

**یافته‌ها:** ورودی امرژی کل به بوم‌نظام‌های زراعی سویا در آق قلا و علی‌آباد کتول به ترتیب  $۱۰۱۶ \times ۶/۲۱$  و  $۱۰۱۶ \times ۶/۴۲$  امژول خورشیدی در هکتار بود که نشان دهنده تراکم بیشتر امرژی در تولید سویا در شهرستان علی‌آباد کتول در مقایسه با آق قلا است. در هر دو بوم‌نظام زراعی، وابستگی به ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر، بسیار بیشتر از ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر، بازاری تجدیدپذیر و بازاری تجدیدناپذیر بود که به دلیل سهم زیاد آب زیرزمینی و فرسایش خاک از ورودی امرژی کل بود.

**نتیجه‌گیری:** کارآیی مصرف منابع، کارآیی اقتصادی، پایداری محیطی و پایداری اقتصادی در بوم‌نظام زراعی سویا در شهرستان آق قلا بیشتر از علی‌آباد کتول بود. اجرای راهکارهای توصیه شده برای کاهش مصرف منابع تجدیدناپذیر در تامین ورودی‌های خریداری شده، در کنار آگاهی، آموزش و تشویق کشاورزان در این زمینه، در افزایش کارایی و پایداری محیطی و اقتصادی در بوم‌نظام‌های زراعی موثر است.

**واژه‌های کلیدی:** آب زیرزمینی، فرسایش خاک، فشار محیطی، عملکرد، ورودی امرژی

### مقدمه

توسعه پایدار جهانی نیز سهیم باشند (سینگ جاتا و نایک ۲۰۲۳). پایداری در کشاورزی به دلیل افزایش نیاز به تولید غذا طی دهه‌های اخیر و در نتیجه گسترش

امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست، دو عامل مهم در کشاورزی پایدار هستند که می‌توانند در پیشبرد

باشد (کوماراسوامی ۲۰۱۲). دستیابی به این امر نیازمند روش‌های ارزیابی است که اطلاعات مفیدی در خصوص وضعیت نظام و شدت و جهت تغییرات آن در اختیار قرار دهد. این روش‌ها باید شامل جنبه‌های محیطی، اجتماعی و اقتصادی باشد (کوئینترو آنجل و گنزالز آسودو ۲۰۱۸). روش‌های تحلیل محیطی، برای ارزیابی استفاده از منابع، آلودگی‌ها و پایداری در یک نظام به کار می‌روند و شامل تحلیل ورودی-خروجی محیطی، ردپای بوم‌شناختی، ارزش‌گذاری بوم‌شناختی، ارزیابی چرخه حیات، ارزیابی انرژی و ارزیابی امرژی است (پترسون و همکاران ۲۰۱۷).

مزیت روش ارزیابی امرژی نسبت به سایر روش‌ها این است که جریان‌های متنوع انرژی و ماده را به شکل واحدی در نظام مورد مطالعه منعکس می‌کند که نشان دهنده هر دو مورد کمیت و کیفیت آن است (براون و همکاران ۲۰۱۶). تحلیل امرژی با تبدیل تمام جریان‌ها و ذخایر طبیعی و منابع اقتصادی به واحدهای امرژی خورشیدی، پایداری یک بوم نظام را به طور کامل بررسی می‌کند (ادوم ۱۹۹۶). ارزیابی امرژی با تعیین میزان پایداری نظام‌های بوم‌شناختی و اقتصادی پیوسته، فهم ما از این نظام‌ها و چگونگی اثرات متقابل آنها بر هم را افزایش می‌دهد. شاخص‌های امرژی، ابزار خوبی برای تلفیق نظام‌های بوم‌شناختی-اقتصادی هستند و امکان اندازه‌گیری و مقایسه جنبه‌های مختلف این بوم نظام‌ها را فراهم می‌سازند (پترسون و همکاران ۲۰۱۷). این شاخص‌ها قادر به تعیین میزان کارایی، تجدیدپذیری، فشار محیطی و پایداری محیطی و اقتصادی یک سامانه هستند (ادوم ۲۰۰۰ و براون و اولجیاتی ۲۰۰۴). امرژی، نشان دهنده مقدار کل انرژی مصرفی در یک نظام است و امرژی خورشیدی، مقدار انرژی خورشیدی در دسترس است که به طور مستقیم یا غیرمستقیم مصرف شده تا به ارائه خدمت یا تولید محصول منجر شود که با اثرول خورشیدی بیان می‌شود (ادوم ۱۹۹۶).

تحلیل شاخص‌های امرژی برای ارزیابی پایداری نظام‌های تولید در مقیاس‌های مختلف کاربرد دارد (ژای

رویکرد کشاورزی صنعتی و با مصرف زیاد نهاده‌ها، کاهش یافته است (لمباردی و همکاران ۲۰۲۱). کشاورزی، به عنوان یک نظام تولید غذا، سرعت تخریب محیط، تخلیه منابع و انتشار آلودگی‌ها در هر دو سطح محلی و جهانی را افزایش داده است (منتیا و همکاران ۲۰۲۰). بنابراین، حل مسائل کمبود منابع طبیعی و آلودگی‌ها و پایداری سامانه‌های تولید-مصرف غذا باید در اولویت سیاست‌های تولید غذا قرار بگیرد. همچنین، به منظور اطمینان از قابلیت زیستی سامانه‌های تولید محصول پایدار، باید سودمندی کشاورزی، در کنار حفاظت از منابع و تولید سالم، در نظر گرفته شود (لمباردی و همکاران ۲۰۲۱).

کشاورزی و انرژی ارتباط نزدیکی با یکدیگر دارند؛ کشاورزی از یک طرف مصرف‌کننده انرژی و از طرف دیگر، تامین‌کننده انرژی به شکل زیستی می‌باشد (السوراگابی و همکاران ۲۰۱۹). در وضعیت کنونی کشاورزی، بهره‌وری تولید محصولات به مصرف کارآمد انرژی در این بخش بستگی دارد (کائور و همکاران ۲۰۲۱). مصرف انرژی در بخش کشاورزی به دلیل افزایش مکانیزاسیون و کاربرد انرژی‌های تجاری، سریع‌تر از بخش‌های دیگر اقتصادی در جهان افزایش یافته است؛ با این وجود، افزایش مصرف ورودی‌ها به منظور کسب حداکثر عملکرد، ممکن است موجب کاهش پایداری شود؛ زیرا منابع طبیعی در حال کاهش و آلودگی‌های محیطی در حال افزایش است. بنابراین، بهبود کارایی مصرف انرژی به دلیل کاهش اثرات نامطلوب محیطی، از جمله کاهش پایداری، ضرورت دارد. مصرف کارآمد منابع و انرژی در بخش کشاورزی، راهکار قابل دستیابی برای کاهش مصرف ورودی‌ها، کاهش ردپای بوم‌شناختی، کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای، کاهش تخریب منابع محیطی و در نتیجه دستیابی به کشاورزی پایدار است (موسوی اول و همکاران ۲۰۱۱). پایداری در کشاورزی، ایجاد تعادل بین امنیت غذایی و حفظ کیفیت محیط است و عملیات کشاورزی زمانی پایدار است که حافظ کیفیت محیط بوده و مقبولیت اجتماعی و مزایای اقتصادی داشته

تولیدی در این استان مربوط به شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول است. با وجود اهمیت تولید این محصول، هیچ مطالعه‌ای در خصوص ارزیابی پایداری تولید، بر اساس تحلیل امرژی در ایران یافت نشد. هدف از این پژوهش، ارزیابی و مقایسه کارایی و پایداری بوم‌نظام‌های زراعی سویا (*Glycine max L.*) در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول و ارائه پیشنهاداتی برای مدیریت بهینه و پایدار نظام تولید این محصول بود.

### مواد و روش‌ها

#### زمان و مشخصات منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول، در استان گلستان، انجام شد.

#### جمع‌آوری داده‌ها

جمع‌آوری داده‌ها از طریق پرسشنامه و مصاحبه چهره به چهره با سویاکاران انجام شد. تعداد پرسشنامه با استفاده از رابطه کوکران (رابطه ۱) تعیین گردید (کوکران ۲۰۰۳).

و همکاران ۲۰۱۷). ارزیابی پایداری تولید محصول بر پایه تحلیل شاخص‌های امرژی در هند و پاکستان نشان داد، ورودی‌های آب آبیاری و نیروی کارگری، بیشترین سهم از ورودی امرژی کل در هر دو کشور را داشتند و پایداری فعالیت‌های کشاورزی در هر دو کشور پایین بود (علی و همکاران ۲۰۱۹). همچنین، ارزیابی پایداری نظام‌های تولید سیر، پیاز و گندم سیستان با تحلیل شاخص‌های امرژی نشان داد، سهم منابع خریداری شده در هر سه نظام تولید، بیشتر از منابع رایگان محیطی بود. با این وجود، نظام‌های گندم و پیاز از پایداری بیشتری نسبت به نظام تولید سیر برخوردار بودند (یاسینی و همکاران ۲۰۲۰).

سویا، به عنوان محصول دانه روغنی مهم در ایران و جهان، دارای بیشترین پروتئین گیاهی است و کنجاله آن برای دام و طیور نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. استان گلستان، مقام نخست تولید سویا در ایران را دارد؛ به گونه‌ای که حدود ۷۵ درصد از کل سویای تولیدی در ایران را شامل می‌شود. میزان تولید و سطح زیر کشت این محصول در استان گلستان، در سال ۲۰۱۵، به ترتیب ۱۵۰۰۰۰ تن دانه و ۵۰۰۰۰ هکتار بود (عالی‌مقام و همکاران ۲۰۱۷). بخش عمده سویای

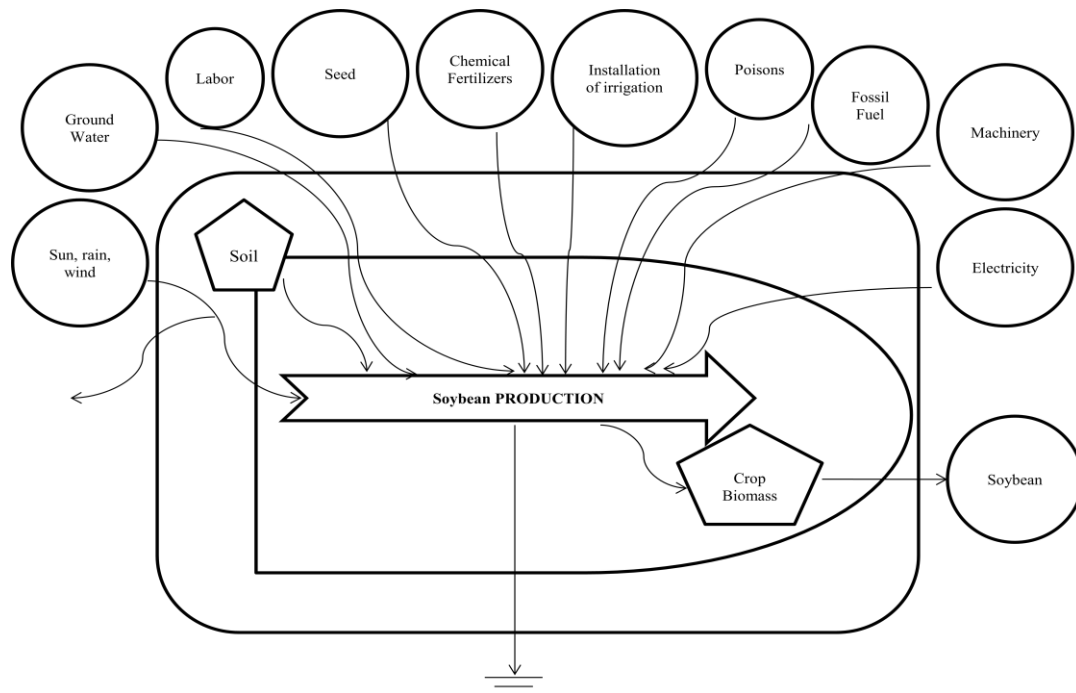
رابطه (۱)

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

### تحلیل امرژی

برای ارزیابی امرژی در یک نظام، ابتدا، مرزهای مکانی و زمانی، مهم‌ترین ورودی‌های نظام و جریان‌های ماده، انرژی و اقتصادی در آن تعیین می‌شوند (شکل ۱) است (ادوم ۱۹۹۶ و ادوم ۲۰۰۰). بر این اساس، ورودی‌ها به نظام، به محیطی یا غیرمحیطی، خریداری شده یا رایگان و تجدیدپذیر یا تجدیدناپذیر تقسیم می‌شوند (ادوم ۲۰۰۰).

در این رابطه،  $n$  حجم نمونه،  $N$  حجم جامعه آماری،  $z$  خطای معیار ضریب اطمینان قابل قبول (۱/۹۶)،  $p$  نسبتی از جمعیت دارای صفتی معین (۰/۵)،  $q$  نسبتی از جمعیت فاقد صفتی معین (۰/۵) و  $d$  دقت احتمالی قابل قبول بود. انتخاب کشاورزان با روش نمونه برداری تصادفی انجام گرفت.



شکل ۱- دیاگرام جریان امرژی بوم نظام‌های زراعی سویا در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کنول

عملیات زراعی، نوع، تعداد و مدت زمان بکارگیری نیروی کارگری و عملکرد ثبت شد. داده‌های مربوط به میزان فرسایش و ماده آلی خاک و داده‌های اقلیمی، به ترتیب از اداره منابع طبیعی و آبخیزداری و اداره هواشناسی شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کنول جمع‌آوری گردید (پیوست ۱).

جریان امرژی منابع تجدیدپذیر برای هر کدام از مزارع سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کنول در این پژوهش، یکسان در نظر گرفته شد. برای تعیین مقدار ورودی کودها و سموم شیمیایی، مقدار ماده موثر آنها محاسبه شد. ضریب تجدیدپذیری نیز برای تمام ورودی‌ها تعیین شد. این ضریب برای نیروی کارگری، الکتریسیته و بذر سویا در ایران به ترتیب ۰/۱۰، ۰/۰۲ و ۰/۳۷ است (اصغری پور و همکاران ۲۰۲۰). برای محاسبه میزان امرژی خورشیدی ورودی‌ها و خروجی در بوم نظام‌های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کنول، ابتدا مقدار مهم‌ترین ورودی‌ها و خروجی در هر کدام از مزارع مورد مطالعه بر حسب واحد جرم (گرم) یا واحد انرژی

ارزیابی امرژی بر اساس تقسیم تمام ورودی‌ها به چهار گروه ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر (R) مانند نور خورشید، باد، باران و تبخیر و تعرق آن، ورودی‌های محیطی که به طور بالقوه تجدیدپذیر هستند، اما به دلیل زمان بسیار زیاد در تجدید یافتن آنها به عنوان ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر در نظر گرفته می‌شوند (N<sub>0</sub>) مانند فرسایش خاک، تلفات ماده آلی خاک، آب‌های زیرزمینی و تبخیر و تعرق آن، ورودی‌های خریداری شده تجدیدپذیر (F<sub>R</sub>) و ورودی‌های خریداری شده تجدیدناپذیر (F<sub>N</sub>) می‌باشد (کمپل و لاهری ۱۹۹۸ و اصغری پور و همکاران ۲۰۱۹). مزارع انتخابی از مرحله آماده‌سازی زمین تا برداشت محصول مورد پایش قرار گرفته و اطلاعاتی شامل سابقه کشاورزی مزرعه، زمان و نوع انجام عملیات آماده‌سازی زمین، روش کاشت، کودپاشی، سم‌پاشی و برداشت، نوع و مقدار نهاده‌های مصرفی مانند کود شیمیایی و سموم شیمیایی، نوع ماشین‌آلات و دفعات استفاده از آنها، نوع و میزان سوخت مصرفی در هر

در این پژوهش بر اساس ضریب سیاره‌ای  $12/00 \times 10^{24}$  امژول خورشیدی در سال انجام گرفت و ضرایب تبدیل نیز بر این اساس تعیین شد (براون و همکاران ۲۰۱۶). ورودی امژوی کل در هر مزرعه با جمع مقادیر امژوی تمام ورودی‌ها به آن مزرعه محاسبه گردید. سپس، ورودی امژوی و خروجی امژوی برای هر یک از بوم نظام‌های زراعی سوویا در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول با میانگین‌گیری از تمام مزارع مورد مطالعه محاسبه گردید. در نهایت، شاخص‌های ضریب تبدیل، نسبت عملکرد امژوی، نسبت سرمایه‌گذاری امژوی، نسبت بارگذاری محیطی و شاخص پایداری امژوی، برای ارزیابی کارایی و پایداری بوم نظام‌های زراعی سوویا در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول محاسبه شد.

(ژول) یا واحد پول (ریال)، در هکتار تعیین شد. محاسبات مربوط به وزن ماشین‌آلات (گرم) و مقادیر انرژی (ژول) ورودی‌های نور خورشید، باد، باران و تبخیر و تعرق آن، فرسایش خاک، تلفات ماده آلی خاک، آب‌های زیرزمینی و تبخیر و تعرق آن، نیروی کارگری، سوخت فسیلی و الکتروسیته در پیوست الف نشان داده شده است. معادل انرژی عملکرد اقتصادی سوویا (گرم)  $1/50 \times 10^4$  ژول در گرم در نظر گرفته شد (عالی‌مقام و همکاران ۲۰۱۷). تمام محاسبات مربوط به تحلیل امژوی، توسط نرم افزار EXCEL 2019 انجام شد.

پس از تعیین مناسب‌ترین ضریب تبدیل امژوی خورشیدی برای هر ورودی، مقدار امژوی خورشیدی از طریق ضرب مقدار عددی آن ورودی در ضریب تبدیل مربوطه‌اش محاسبه گردید (ادوم ۲۰۰۰). ارزیابی امژوی

جدول ۱- معادلات و خصوصیات شاخص‌های امژوی برای ارزیابی بوم نظام‌های زراعی سوویا در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول

منبع	خصوصیات	فرمول	شاخص
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع محلی رایگان	R	ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	جریان‌های بالقوه تجدیدپذیر از منابع محلی رایگان که به عنوان تجدیدناپذیر در نظر گرفته می‌شوند	NO	ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع خریداری شده	FR	ورودی‌های خریداری شده تجدیدپذیر
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	جریان‌های تجدیدناپذیر از منابع خریداری شده	FN	ورودی‌های خریداری شده تجدیدناپذیر
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	کل منابع امژوی مورد نیاز برای حمایت از نظام تولید	$U=R+NO+FR+FN$	ورودی امژوی کل
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	امژوی کل تولیدات نظام	$Y= R+NO+FR+FN$	خروجی امژوی کل
براون و اولجیاتی ۲۰۰۴	مقدار امژوی برای تولید یک واحد خروجی بر حسب ژول است. AE انرژی قابل استفاده محصول است	$Tr = \frac{U}{AE}$	ضریب تبدیل
ادوم ۲۰۰۰	مقیاس استفاده از منابع محیطی با سرمایه‌گذاری در منابع اقتصادی	$EYR = \frac{Y}{FR + FN}$	نسبت عملکرد امژوی
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	مقیاس شدت سرمایه‌گذاری اقتصادی و کاربرد منابع محیطی	$EIR = \frac{FR + FN}{R + NO}$	نسبت سرمایه‌گذاری امژوی
لو و همکاران ۲۰۱۴	فشار محیطی ایجاد شده توسط یک نظام	$ELR^* = \frac{NO + FN}{R + FR}$	نسبت بارگذاری محیطی
لو و همکاران ۲۰۱۴	مقیاسی از پایداری نظام	$ESI^* = \frac{EYR}{ELR^*}$	شاخص پایداری امژوی

نتایج و بحث

ارزیابی ساختار امرژی ورودی و شاخص‌های امرژی: مقادیر امرژی مهم‌ترین جریان‌های محیطی و ورودی‌های خریداری شده و سهم هر یک از آنها از

ورودی امرژی کل در بوم نظام‌های زراعی سویا در شهرستان‌های آق قلا و علی آباد کتول به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند.

جدول ۲- منابع طبیعی و اقتصادی، تجدیدپذیری، ضریب تبدیل و امرژی خورشیدی سویا در شهرستان آق قلا

منابع ضریب تبدیل	امرژی خورشیدی (%)	امرژی خورشیدی (امژول خورشیدی/هکتار/سال)	ضریب تبدیل خورشیدی (امژول خورشیدی/واحد)	ضریب تجدیدپذیری	جریان یک‌ساله خام	واحد	متغیر
<b>ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر</b>							
ادوم ۱۹۹۶	۰/۰۴	۲/۶۴ × ۱۰ <sup>۳</sup>	۱	۱	۲/۶۴ × ۱۰ <sup>۱۲</sup>	ژول	انرژی تابشی خورشید
امیری و همکاران ۲۰۲۱		۴/۱۰ × ۱۰ <sup>۱۳</sup>	۱/۲۵ × ۱۰ <sup>۳</sup>	۱	۳/۲۸ × ۱۰ <sup>۱۰</sup>	ژول	انرژی جنبشی باد
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	۱/۰۰	۶/۲۱ × ۱۰ <sup>۱۴</sup>	۲/۲۵ × ۱۰ <sup>۴</sup>	۱	۲/۷۶ × ۱۰ <sup>۱۰</sup>	ژول	انرژی شیمیایی باران
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹		۶/۰۸ × ۱۰ <sup>۱۴</sup>	۲/۸۸ × ۱۰ <sup>۴</sup>	۱	۲/۱۱ × ۱۰ <sup>۱۰</sup>	ژول	تبخیر و تعرق باران
جمع	۱/۰۴	۶/۴۷ × ۱۰ <sup>۱۴</sup>					
<b>ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر</b>							
کوآدرا و ریڈبرگ ۲۰۰۶	۳۹/۶۱	۲/۴۶ × ۱۰ <sup>۱۶</sup>	۱/۹۲ × ۱۰ <sup>۵</sup>	۰	۱/۲۸ × ۱۰ <sup>۱۱</sup>	ژول	آب‌های زیرزمینی
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	۳/۹۱	۲/۴۳ × ۱۰ <sup>۱۵</sup>	۲/۸۸ × ۱۰ <sup>۴</sup>	۰	۸/۴۳ × ۱۰ <sup>۱۰</sup>	ژول	تبخیر و تعرق آب‌های زیرزمینی
برند ویلیامیز ۲۰۰۲	۷/۱۲	۴/۴۵ × ۱۰ <sup>۱۵</sup>	۹/۳۶ × ۱۰ <sup>۴</sup>	۰	۴/۷۵ × ۱۰ <sup>۱۰</sup>	ژول	تلفات ماده آلی و خاک
ادوم ۱۹۹۶	۲۵/۱۲	۱/۵۶ × ۱۰ <sup>۱۶</sup>	۱/۲۷ × ۱۰ <sup>۹</sup>	۰	۱/۲۳ × ۱۰ <sup>۷</sup>	ژول	فرسایش خاک
جمع	۷۵/۷۷	۴/۷۱ × ۱۰ <sup>۱۶</sup>					
<b>ورودی‌های بازاری</b>							
برند ویلیامیز ۲۰۰۲	۳/۴۲	۲/۱۳ × ۱۰ <sup>۱۵</sup>	۳/۰۹ × ۱۰ <sup>۱۰</sup>	۰	۶/۹۰ × ۱۰ <sup>۴</sup>	گرم	کود نیتروژن
لن و همکاران ۲۰۰۲	۰/۰۳	۱/۹۶ × ۱۰ <sup>۱۳</sup>	۳/۹۱ × ۱۰ <sup>۹</sup>	۰	۵/۰۰ × ۱۰ <sup>۳</sup>	گرم	کود میکرو
ادوم ۱۹۹۶	۵/۷۲	۳/۵۵ × ۱۰ <sup>۱۵</sup>	۲/۹۶ × ۱۰ <sup>۸</sup>	۰/۸۰	۱/۲۰ × ۱۰ <sup>۷</sup>	گرم	کود آلی
هو و همکاران ۲۰۱۰	۰/۱۸	۱/۱۳ × ۱۰ <sup>۱۴</sup>	۱/۸۹ × ۱۰ <sup>۱۰</sup>	۰	۶/۰۰ × ۱۰ <sup>۳</sup>	گرم	حشره‌کش
کمپل و همکاران ۲۰۰۵	۰/۱۲	۷/۸۵ × ۱۰ <sup>۱۲</sup>	۱/۰۱ × ۱۰ <sup>۱۰</sup>	۰	۷/۷۷ × ۱۰ <sup>۲</sup>	گرم	ماشین‌آلات
ادوم ۱۹۹۶	۰/۷۲	۴/۴۸ × ۱۰ <sup>۱۴</sup>	۸/۶۰ × ۱۰ <sup>۴</sup>	۰	۵/۲۱ × ۱۰ <sup>۹</sup>	ژول	سوخت فسیلی و روغن
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	۰/۴۴	۲/۷۰ × ۱۰ <sup>۱۴</sup>	۲/۳۱ × ۱۰ <sup>۵</sup>	۰/۰۲	۱/۱۷ × ۱۰ <sup>۹</sup>	ژول	الکتریسته
لو و همکاران ۲۰۰۹	۱/۹۲	۱/۲۰ × ۱۰ <sup>۱۵</sup>	۲/۲۲ × ۱۰ <sup>۶</sup>	۰/۱۰	۵/۴۱ × ۱۰ <sup>۸</sup>	ژول	نیروی کارگری
امیری و همکاران ۲۰۲۰	۱/۳۶	۸/۴۵ × ۱۰ <sup>۱۴</sup>	۲/۵۰ × ۱۰ <sup>۸</sup>	۰	۳/۳۸ × ۱۰ <sup>۶</sup>	ریال	دستگاه نصب سیستم آبیاری
لن و همکاران ۲۰۰۲	۹/۲۵	۵/۷۵ × ۱۰ <sup>۱۵</sup>	۶/۷۶ × ۱۰ <sup>۷</sup>	۰/۳۷	۸/۵۰ × ۱۰ <sup>۷</sup>	ریال	بذر
جمع	۲۳/۱۹	۱/۴۴ × ۱۰ <sup>۱۶</sup>					
جمع کل	۱۰۰/۰۰	۶/۲۱ × ۱۰ <sup>۱۶</sup>					
محاسبه شده		۶/۲۱ × ۱۰ <sup>۱۶</sup>	۱/۴۸ × ۱۰ <sup>۶</sup>		۴/۲۰ × ۱۰ <sup>۱۰</sup>	ژول	عملکرد اقتصادی

جدول ۳- منابع طبیعی و اقتصادی، تجدیدپذیری، ضریب تبدیل و امرژی خورشیدی سویا در شهرستان علی‌آباد کتول

منابع ضریب تبدیل	امرژی خورشیدی	امرژی خورشیدی (امژول خورشیدی/هکتار/سال)	ضریب تبدیل خورشیدی (امژول خورشیدی/واحد)	ضریب تجدیدپذیری	جریان یک‌ساله خام	واحد
<b>ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر</b>						
ادوم ۱۹۹۶	۰/۰۴	۲/۵۰ × ۱۰ <sup>۱۳</sup>	۱	۱	۲/۵۰ × ۱۰ <sup>۱۳</sup>	انرژی تابشی خورشید
امیری و همکاران ۲۰۲۱		۷/۵۰ × ۱۰ <sup>۱۳</sup>	۱/۲۵ × ۱۰ <sup>۲</sup>	۱	۶/۰۰ × ۱۰ <sup>۹</sup>	انرژی جنبشی باد
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹		۵/۴۷ × ۱۰ <sup>۱۴</sup>	۲/۲۵ × ۱۰ <sup>۴</sup>	۱	۲/۴۳ × ۱۰ <sup>۱۰</sup>	انرژی شیمیایی باران
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	۰/۹۵	۶/۰۸ × ۱۰ <sup>۱۴</sup>	۲/۸۸ × ۱۰ <sup>۴</sup>	۱	۲/۱۱ × ۱۰ <sup>۱۰</sup>	تبخیر و تعرق باران
جمع	۰/۹۹	۶/۳۳ × ۱۰ <sup>۱۴</sup>				
<b>ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر</b>						
کوآدرا و ری‌دبرگ ۲۰۰۶	۳۸/۳۲	۲/۴۶ × ۱۰ <sup>۱۶</sup>	۱/۹۲ × ۱۰ <sup>۵</sup>	۰	۱/۲۸ × ۱۰ <sup>۱۱</sup>	آب‌های زیرزمینی
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	۳/۷۹	۲/۴۳ × ۱۰ <sup>۱۵</sup>	۲/۸۸ × ۱۰ <sup>۴</sup>	۰	۸/۴۳ × ۱۰ <sup>۱۰</sup>	تبخیر و تعرق آب‌های زیرزمینی
برند ویلیامز ۲۰۰۲	۶/۸۲	۴/۴۵ × ۱۰ <sup>۱۵</sup>	۹/۳۶ × ۱۰ <sup>۴</sup>	۰	۴/۷۵ × ۱۰ <sup>۱۰</sup>	تلفات ماده آلی و خاک
ادوم ۱۹۹۶	۲۴/۳۰	۱/۵۶ × ۱۰ <sup>۱۶</sup>	۱/۲۷ × ۱۰ <sup>۹</sup>	۰	۱/۲۳ × ۱۰ <sup>۷</sup>	فرسایش خاک
جمع	۷۳/۲۳	۴/۷۱ × ۱۰ <sup>۱۶</sup>				
<b>ورودی‌های بازاری</b>						
برند ویلیامز ۲۰۰۲	۳/۳۲	۲/۱۳ × ۱۰ <sup>۱۵</sup>	۳/۰۹ × ۱۰ <sup>۱۰</sup>	۰	۶/۹۰ × ۱۰ <sup>۴</sup>	کود نیتروژن
لن و همکاران ۲۰۰۲	۰/۰۳	۱/۹۶ × ۱۰ <sup>۱۳</sup>	۳/۹۱ × ۱۰ <sup>۹</sup>	۰	۵/۰۰ × ۱۰ <sup>۳</sup>	کود میکرو
ادوم ۱۹۹۶	۵/۵۳	۳/۵۵ × ۱۰ <sup>۱۵</sup>	۲/۹۶ × ۱۰ <sup>۸</sup>	-/۸۰	۱/۲۰ × ۱۰ <sup>۷</sup>	کود آلی
هو و همکاران ۲۰۱۰	۰/۱۸	۱/۱۳ × ۱۰ <sup>۱۴</sup>	۱/۸۹ × ۱۰ <sup>۱۰</sup>	۰	۶/۰۰ × ۱۰ <sup>۳</sup>	حشره‌کش
کمپل و همکاران ۲۰۰۵	۰/۱۴	۸/۸۴ × ۱۰ <sup>۱۳</sup>	۱/۰۱ × ۱۰ <sup>۱۰</sup>	۰	۸/۷۵ × ۱۰ <sup>۳</sup>	ماشین‌آلات
ادوم ۱۹۹۶	۱/۵۵	۹/۹۸ × ۱۰ <sup>۱۴</sup>	۸/۶۰ × ۱۰ <sup>۴</sup>	۰	۱/۱۶ × ۱۰ <sup>۱۰</sup>	سوخت فسیلی و روغن
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	۰/۴۲	۲/۷۰ × ۱۰ <sup>۱۴</sup>	۲/۳۱ × ۱۰ <sup>۵</sup>	-/۰۲	۱/۱۷ × ۱۰ <sup>۹</sup>	الکتریسیته
لو و همکاران ۲۰۰۹	۴/۳۳	۲/۷۸ × ۱۰ <sup>۱۵</sup>	۲/۲۲ × ۱۰ <sup>۶</sup>	-/۱۰	۱/۲۵ × ۱۰ <sup>۹</sup>	نیروی کارگری
امیری و همکاران ۲۰۲۰	۱/۳۲	۸/۴۵ × ۱۰ <sup>۱۴</sup>	۲/۵۰ × ۱۰ <sup>۸</sup>	۰	۳/۳۸ × ۱۰ <sup>۶</sup>	دستگاه نصب سیستم آبیاری
لن و همکاران ۲۰۰۲	۸/۹۶	۵/۷۵ × ۱۰ <sup>۱۵</sup>	۶/۷۶ × ۱۰ <sup>۷</sup>	-/۳۷	۸/۵۰ × ۱۰ <sup>۷</sup>	بنر
جمع	۲۵/۷۸	۱/۶۵ × ۱۰ <sup>۱۶</sup>				
جمع کل	۱۰۰/۰۰	۶/۴۲ × ۱۰ <sup>۱۶</sup>				
محاسبه شده		۶/۴۲ × ۱۰ <sup>۱۶</sup>	۱/۴۸ × ۱۰ <sup>۶</sup>		۴/۸۰ × ۱۰ <sup>۱۰</sup>	عملکرد اقتصادی

به آن به دست آمده است. ورودی امرژی کل، به عنوان امرژی کل حمایت کننده بوم‌نظام‌های زراعی سویا در

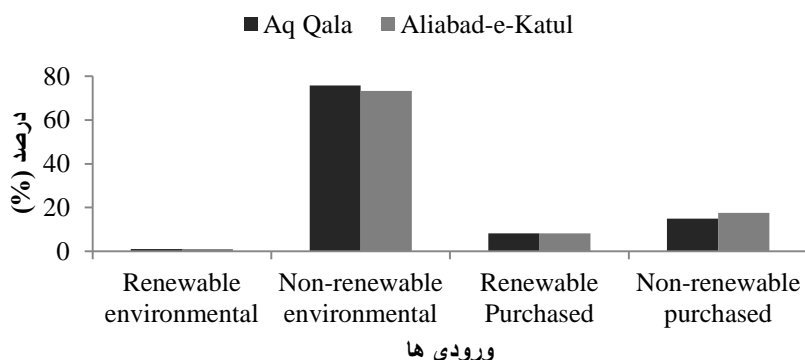
امرژی خورشیدی برای هر ورودی، با ضرب مقدار آن ورودی در ضریب تبدیل امرژی خورشیدی مربوط



**ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر (R)**

این ورودی‌ها شامل انرژی تابشی خورشید، انرژی جنبشی باد، انرژی شیمیایی باران و تبخیر و تعرق باران هستند. سهم این ورودی‌ها از ورودی امرژی کل در بوم نظام‌های زراعی سویا در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول به ترتیب ۱/۰۴ و ۰/۹۹ درصد بود (شکل ۲) که نشان دهنده سهم کم منابع محیطی تجدیدپذیر در تولید سویا در این دو شهرستان است.

شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول به ترتیب برابر با  $۱۰۱۶ \times ۶/۲۱$  امژول خورشیدی در هکتار (جدول ۲) و  $۱۰۱۶ \times ۶/۴۲$  امژول خورشیدی در هکتار (جدول ۳) محاسبه شد که نشان می‌دهد تراکم امرژی در نظام تولید سویا در شهرستان علی‌آباد کتول بیشتر از نظام تولید این محصول در شهرستان آق‌قلا است. این مقدار برای نظام‌های تولید پاییزه و بهاره سیب زمینی در شهرستان گرگان، به ترتیب  $۱۰۱۶ \times ۱/۷۱$  و  $۱۰۱۶ \times ۱/۷۶$  امژول خورشیدی در هکتار در سال بود (شاه حسینی و همکاران ۲۰۲۰).



شکل ۲- سهم ورودی‌های محیطی و خریداری شده تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در بوم نظام‌های زراعی سویا در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول

امرژی ورودی نور خورشید، به‌عنوان امرژی محیطی تجدیدپذیر کل در نظر گرفته می‌شود (امیری و همکاران ۲۰۲۱) که در این تحقیق، برای دو نظام تولید سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول به ترتیب انرژی شیمیایی باران و تبخیر و تعرق آن بود. این امر به دلیل بیشتر بودن دوره رشد محصول سویا در فصل پاییز و زمستان در شهرستان آق‌قلا نسبت به علی‌آباد کتول است که موجب شده، تولید سویا در آق‌قلا در مقایسه با علی‌آباد کتول به میزان بیشتری از بارندگی بهره‌مند شود. در مطالعه ارزیابی پایداری تولید کلزا در کالاه مشخص شد که بیشترین میزان امرژی بین ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر، متعلق به باران بود (لطفی و همکاران ۲۰۲۲).

**ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر (N0)**

بین ورودی‌های محیطی و خریداری شده تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر، بیشترین سهم از ورودی امرژی کل در

با وجود سهم کم منابع محیطی تجدیدپذیر از ورودی امرژی کل در هر دو نظام مورد مطالعه، این مقدار در آق‌قلا بسیار بیشتر از علی‌آباد کتول بود که نشان دهنده وابستگی بیشتر نظام زراعی سویا در شهرستان آق‌قلا به منابع محیطی تجدیدپذیر و در نتیجه شرایط پایدارتر تولید برای این نظام در مقایسه با نظام تولید سویا در شهرستان علی‌آباد کتول، از حیث اتکا به منابع محیطی تجدیدپذیر بود. بیشترین مقدار امرژی بین منابع تجدیدپذیر محیطی در بوم نظام‌های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول به ترتیب مربوط به انرژی شیمیایی باران و تبخیر و تعرق باران بود (به ترتیب جدول‌های ۲ و ۳). ورودی‌های محیطی قابل‌تجدید به‌طور مستقیم از انرژی نور خورشید منشعب می‌شوند. لذا به‌منظور اجتناب از شمارش مضاعف، حاصل جمع ورودی محیطی تجدیدپذیر با بیشترین مقدار امرژی و

خریداری شده تجدیدناپذیر، بسیار زیادتیر از آن (۱۴/۹۸) و ۱۷/۶۰ درصد، به ترتیب در نظام‌های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول) بود (شکل ۲)، که نشان دهنده وابستگی زیاد ورودی‌های خریداری شده به منابع تجدیدناپذیر و در نتیجه فشار به محیط، برای تولید سویا در هر دو شهرستان مورد مطالعه است. سهم کل ورودی‌های خریداری شده از ورودی امرژی کل در هر دو نظام تولید (۲۳/۱۹ و ۲۵/۷۸ درصد، به ترتیب در نظام‌های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول)، کمتر از ورودی‌های محیطی رایگان بود. این امر نشان دهنده این موضوع است که تأثیر ورودی‌های خریداری شده از بازار بر تولید سویا زیاد نیست. با این وجود، سهم برخی ورودی‌های خریداری شده در این پژوهش، قابل توجه بود (جدول‌های ۲ و ۳). بنابراین مدیریت و مصرف بهینه این ورودی‌های خریداری شده، به ویژه ورودی‌های تجدیدناپذیر، به منظور کنترل و کاهش سهم منابع تجدیدناپذیر در تولید محصول ضروری است. میزان ورودی امرژی خریداری شده برای نظام زراعی سیب‌زمینی در چین  $۹/۶۰ \times ۱۰^{۱۵}$  امژول خورشیدی در هکتار محاسبه شد (ژای و همکاران ۲۰۱۷).

ورودی بذر، اولین سهم بین ورودی‌های خریداری شده از ورودی امرژی کل به نظام زراعی سویا در هر دو شهرستان را داشت (به ترتیب ۹/۲۵ و ۸/۹۶ درصد در آق‌قلا و علی‌آباد کتول) (به ترتیب جدول‌های ۲ و ۳). بر اساس اطلاعات پرسش‌نامه‌ها، بذرکاری سویا در اغلب مزارع هر دو شهرستان به صورت دستی و بیشتر از مقدار توصیه شده بود. آموزش کشاورزان در خصوص نحوه کاشت مناسب و کاربرد ماشین‌آلات کاشت (تا حد امکان)، در کاهش مصرف این ورودی و در نتیجه کاهش ورودی امرژی و افزایش کارایی در نظام تولید محصول، موثر است. تشویق و حمایت مالی از کشاورزان، مانند اعطای وام کم‌بهره، برای خرید ماشین‌های کاشت مناسب در این خصوص حائز اهمیت است. کود آلی، دومین سهم را بین ورودی‌های خریداری شده از ورودی امرژی کل در هر دو نظام مورد مطالعه در آق‌قلا (۵/۷۲ درصد) و علی‌آباد کتول (۵/۵۳ درصد) داشت. این مقادیر بیشتر از مقدار کل کودهای شیمیایی

هر دو نظام زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول به ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر تعلق داشت (۷۵/۷۷ و ۷۳/۲۳ درصد، به ترتیب برای نظام‌های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول) (شکل ۲). سهم بسیار بالای این ورودی در هر دو بوم نظام زراعی نشان دهنده این موضوع است که هزینه‌های محیطی تولید سویا در آنها بحرانی است. بیشترین ورودی محیطی تجدیدناپذیر در هر دو نظام تولید سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول، آب زیرزمینی بود. همچنین در میان تمام ۱۸ ورودی در نظر گرفته شده در این پژوهش، سهم آب زیرزمینی از ورودی امرژی کل در هر دو نظام تولید سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول، بالاترین مقدار بود (به ترتیب جدول‌های ۲ و ۳). علت اصلی این امر، نیاز آبی زیاد سویا، در کنار کشت آن در فصل تابستان و افزایش نیاز به آبیاری به دلیل تبخیر و تعرق زیاد و بارندگی کم در این فصل در مناطق مورد مطالعه می‌باشد. استفاده از ارقام زودرس سویا با دوره رشد کوتاه‌تر و نیاز آبی کمتر در کاهش مصرف آب موثر خواهد بود. فرسایش خاک دومین سهم را هم از ورودی محیطی تجدیدناپذیر و هم از ورودی امرژی کل، در هر دو نظام زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول داشت. اجرای روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و کاربرد ماشین‌آلات چند منظوره، با هدف کاهش دفعات ورود آنها به مزرعه، در کنار به کار بردن کودهای آلی، در جلوگیری از افزایش فرسایش و اتلاف ماده آلی خاک و در نتیجه کاهش ورودی امرژی به مزارع موثر است. سهم فرسایش خاک از ورودی امرژی کل، برای تولید پاییزه و بهاره سیب‌زمینی در گرگان، به ترتیب ۳/۱۸ و ۳/۰۹ درصد گزارش شده است (شاه حسینی و همکاران ۲۰۲۰).

### ورودی‌های خریداری شده تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر

(FR, FN)

ورودی‌های خریداری شده تجدیدپذیر، کمترین سهم را میان ورودی‌های محیطی و خریداری شده تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در هر دو نظام زراعی داشت (۸/۲۱ و ۸/۱۸ درصد، به ترتیب در نظام‌های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول)؛ با این وجود، سهم ورودی‌های

شهرستان) بود که نشان می‌دهد تولید سویا از لحاظ کاربرد سموم شیمیایی نیز از سلامت نسبی برخوردار است. عدم کاربرد علف‌کش در کنار کنترل دستی علف‌های هرز و عدم شیوع آفت و بیماری، در کاهش قابل توجه سهم این ورودی در تولید سویا موثر بود. ارزیابی پایداری تولید سیب زمینی پاییزه و بهاره بر اساس تحلیل امرژی در گرگان نشان داد، سهم سموم شیمیایی به کار رفته، برای تولید این محصول، از ورودی امرژی کل به ترتیب ۰/۱۵ و ۰/۰۳ درصد بود (شاه حسینی و همکاران ۲۰۲۰).

#### ضریب تبدیل (Tr)

متوسط عملکرد اقتصادی در نظام‌های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول به ترتیب ۲۸۰۰ و ۳۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بود که کارایی این دو نظام تولید در تبدیل ورودی‌ها به خروجی اقتصادی را نشان می‌دهد. همچنین امرژی اختصاص یافته به عملکرد اقتصادی در نظام‌های تولید سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول به ترتیب  $۶/۲۱ \times ۱۰^{۱۶}$  و  $۶/۴۲ \times ۱۰^{۱۶}$  امژول خورشیدی در هکتار برآورد شد. ضریب تبدیل، بیان‌گر کارایی تولید در یک نظام کشاورزی است. مقادیر کمتر این شاخص نشان دهنده عملکرد و کارایی بیشتر تولید از جهت رقابت‌های محیطی و اقتصادی است؛ به این معنی که به ازای هر واحد از محصول خروجی، ورودی امرژی کمتری اختصاص یافته است (ادوم ۲۰۰۰). مقدار ضریب تبدیل در نظام‌های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول به ترتیب  $۱/۴۸ \times ۱۰^{۱۶}$  و  $۱/۳۴ \times ۱۰^{۱۶}$  امژول خورشیدی بر ژول (جدول ۴) بود که نشان می‌دهد بوم‌نظام زراعی سویا در شهرستان علی‌آباد کتول از کارایی تولید بالاتری نسبت به بوم‌نظام زراعی این محصول در شهرستان آق‌قلا برخوردار است. مقدار ضرایب تبدیل تولید سویا در این تحقیق کمتر از مقادیر  $۶/۷۳ \times ۱۰^{۱۸}$ ،  $۴/۱۹ \times ۱۰^{۱۶}$  و  $۷/۱۲ \times ۱۰^{۱۶}$  امژول خورشیدی بر ژول به ترتیب برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در منطقه سیستان بود (یاسینی و همکاران ۲۰۲۰).

مورد استفاده در بوم‌نظام‌های زراعی سویا است که نشان دهنده سلامت نسبی این محصول از لحاظ میزان مصرف کودهای شیمیایی در هر دو شهرستان مورد مطالعه است. سهم ورودی نیروی کارگری از کل ورودی امرژی، در تولید سویا در علی‌آباد کتول، بیش از دو برابر تولید این محصول در آق‌قلا بود (۴/۳۳ و ۱/۹۳ درصد، به ترتیب در نظام‌های زراعی سویا در شهرستان‌های علی‌آباد کتول و آق‌قلا) که اغلب به دلیل دستی بودن برداشت در اغلب مزارع مورد مطالعه در شهرستان علی‌آباد کتول بود. کاربرد ماشین‌آلات مدرن برداشت سویا، در کاهش این ورودی و همچنین کیفیت بیشتر محصول و کاهش خسارت در زمان برداشت، موثر خواهد بود. میزان امرژی نیروی کارگری برای نظام‌های معیشتی و تجاری تولید کلزا در شهرستان خرم‌آباد به ترتیب  $۹/۷۵ \times ۱۰^{۱۴}$  و  $۵/۰۶ \times ۱۰^{۱۴}$  امژول خورشیدی در هکتار محاسبه شد (امیری و همکاران ۲۰۱۹).

اگرچه سهم سوخت‌های فسیلی از ورودی امرژی کل در هر دو نظام مورد مطالعه زیاد نبود، اما مقدار آن برای تولید سویا در علی‌آباد کتول بیش از دو برابر آق‌قلا (به ترتیب ۱/۵۵ و ۰/۷۲ درصد در علی‌آباد کتول و آق‌قلا) بود. براساس مطالعات میدانی، موتورهای آبیاری در اغلب مزارع در شهرستان علی‌آباد کتول، گازوئیلی و فرسوده بودند. همچنین، عملیات مکرر خاک‌ورزی و کاربرد ماشین‌آلات فرسوده، به ویژه تراکتور، در اغلب مزارع در این شهرستان، موجب افزایش مصرف سوخت و در نتیجه بالا رفتن سهم این ورودی در تولید سویا در این شهرستان شد. آموزش و تشویق کشاورزان به کاربرد روش‌های خاک‌ورزی مناسب، نوسازی ماشین‌آلات و موتورهای گازوئیلی آبیاری یا برقی کردن آنها، می‌تواند در کاهش مصرف سوخت و در نتیجه کاهش ورودی امرژی به نظام‌های تولید سویا موثر باشد. سهم سموم شیمیایی از ورودی امرژی کل در هر دو نظام تولید سویا در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول، پایین (۰/۱۸ درصد در هر دو

جدول ۴- مقادیر شاخص‌های امرژی در بوم نظام‌های زراعی سویا در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول

شاخص	واحد	آق قلا	علی‌آباد کتول
ضریب تبدیل	امژول خورشیدی بر ژول	۱/۴۸×۱۰ <sup>۶</sup>	۱/۴۸×۱۰ <sup>۶</sup>
نسبت عملکرد امرژی	-	۴/۳۱	۳/۸۹
نسبت سرمایه گذاری امرژی	-	۰/۳۰	۰/۳۵
نسبت بارگذاری محیطی	-	۹۵/۰۵	۱۰۰/۴۷
شاخص پایداری امرژی	-	۰/۰۵	۰/۰۴

## نسبت عملکرد امرژی (EYR)

این شاخص نشان دهنده کارایی مصرف منابع و توانایی یک نظام در مصرف منابع محیطی رایگان، از طریق سرمایه‌گذاری در منابع خریداری شده می‌باشد و مقادیر بیشتر آن نشان دهنده جذب بیشتر امرژی محیطی در سامانه است (براون و اولجیاتی ۲۰۰۴). مقدار EYR در این تحقیق برای نظام‌های زراعی سویا در آق قلا و علی‌آباد کتول به ترتیب ۴/۳۱ و ۳/۸۹ بود (جدول ۴)، که نشان می‌دهد، نظام زراعی سویا در آق قلا از کارایی مصرف منابع بالاتری نسبت به نظام زراعی این محصول در علی‌آباد کتول برخوردار است. کمترین مقدار برای EYR یک است که در این شرایط، سهم منابع محیطی در یک نظام تولید، کمترین مقدار وابستگی به منابع خریداری شده در بالاترین مقدار است؛ بنابراین، مقادیر بیشتر این شاخص، مطلوب‌تر است (اصغری پور و همکاران ۲۰۱۹). اجرای راهکارهای کاهش مصرف ورودی‌های خریداری شده، برای مثال، نوسازی ماشین‌آلات و موتورهای آبیاری برای افزایش راندمان و در نتیجه کاهش مصرف سوخت (به عنوان ورودی خریداری شده) موجب افزایش این شاخص و در نتیجه کارایی مصرف بیشتر در نظام‌های زراعی خواهد شد. مقدار EYR برای هر دو نظام زراعی سویا در آق قلا و علی‌آباد کتول در این پژوهش بسیار بیشتر از مقادیر ۱/۱۷، ۱/۲۰، ۱/۲۸، ۱/۱۷ و ۱/۲۸ به ترتیب برای نظام‌های تولید با ورودی زیاد، ورودی متوسط، ورودی کم، تلفیقی و بوم‌شناختی تولید لوبیا در خرم‌دشت (اصغری پور و همکاران ۲۰۱۹) به دست آمد

که نشان دهنده کارایی مصرف منابع بیشتر در نظام‌های تولید سویا در آق قلا و علی‌آباد کتول در مقایسه با نظام‌های تولید مذکور است.

## نسبت سرمایه گذاری امرژی (EIR)

EIR، نشان دهنده میزان سرمایه‌گذاری یک نظام تولید در منابع اقتصادی و میزان وابستگی آن به محیط می‌باشد (ادوم ۲۰۰۰). مقدار EIR در این پژوهش برای نظام‌های زراعی سویا در آق قلا و علی‌آباد کتول به ترتیب ۰/۳۰ و ۰/۳۵ بود (جدول ۴) که نشان دهنده کارایی بالاتر نظام زراعی سویا در آق قلا نسبت به علی‌آباد کتول می‌باشد؛ زیرا مقادیر کمتر برای این شاخص در یک سامانه، نشان دهنده هزینه‌های اقتصادی کمتر و وابستگی بیشتر به محیط بوده و مطلوب‌تر است (ادوم ۲۰۰۰). بنابراین، افزایش سهم منابع محیطی در نظام تولید و کاهش مصرف ورودی‌های اقتصادی و جایگزین کردن این ورودی‌ها با منابع محیطی، مانند استفاده از منابع انرژی محیطی در تامین الکتریسیته و سوخت یا کنترل زیستی آفات، در کاهش این شاخص و افزایش کارایی اقتصادی و پایداری موثر است. مقدار EIR در این تحقیق برای هر دو نظام تولید سویا در آق قلا و علی‌آباد کتول کمتر از مقادیر ۲/۲۹ و ۰/۹۴ به ترتیب برای نظام‌های پاییزه و بهار تولید سیب‌زمینی در شهرستان گرگان (شاه حسینی و همکاران ۲۰۲۰) بود که نشان دهنده کارایی بیشتر نظام‌های تولید سویا در شهرستان‌های آق قلا و علی‌آباد کتول در مقایسه با نظام‌های تولید مذکور است.

نسبت بارگذاری محیطی ( $ELR^*$ )

$ELR^*$  بیان‌گر رابطه میان امرژی تجدیدپذیر کل و امرژی تجدیدناپذیر کل و مقیاس معکوسی از پایداری می‌باشد. بنابراین، مقادیر پایین‌تر این شاخص، مطلوب‌تر است (اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹). مقدار  $ELR^*$  برای بوم‌نظام‌های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول به ترتیب ۹/۸۱ و ۹/۹۳ بود (جدول ۴) که نشان‌دهنده فشار محیطی کمتر در نظام زراعی سویا در آق‌قلا نسبت به علی‌آباد کتول است. در شاخص  $ELR^*$ ، مقادیر  $< 2$ ،  $> 10$  و  $2$  به ترتیب نشان‌دهنده فشار محیطی پایین، متوسط و بالا هستند (براون و اولجیاتی ۲۰۰۴). این شاخص بر عدم سنخیت بین منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تاکید داشته و به عنوان مکملی برای شاخص ضریب تبدیل است (مارتین و همکاران ۲۰۰۶). افزایش امکانات و تجهیزات مورد نیاز برای تامین انرژی‌های محیطی تجدیدپذیر مانند نور خورشید و باد، برای مصارفی مانند تامین الکتریسیته مورد نیاز برای موتورهای آبیاری، در کاهش سهم ورودی‌های تجدیدناپذیر و در نتیجه افزایش پایداری محیطی در بوم‌نظام‌های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول موثر است. به دلیل اینکه  $ELR^*$ ، نسبت ورودی‌های تجدیدناپذیر به ورودی‌های تجدیدپذیر است، کاهش سهم منابع تجدیدناپذیر موجب کاهش این شاخص و پایداری بیشتر بوم‌نظام در بلندمدت نیز می‌شود؛ زیرا دسترسی به منابع تجدیدناپذیر با گذشت زمان کاهش می‌یابد. مقدار  $ELR^*$  در این پژوهش برای نظام‌های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول کمتر از مقادیر ۲۸/۸۱، ۲۰/۰۰ و ۱۱/۴۷ به ترتیب برای نظام‌های تولید با ورودی زیاد، متوسط و کم تولید لوبیا در خرم‌دشت و بیشتر از مقادیر ۰/۶۲، ۱/۵۰ و ۱/۳۸ به ترتیب برای تولید برنج، سبزیجات و تناوب برنج و سبزیجات در چین (لو و همکاران ۲۰۱۰) بود.

شاخص پایداری امرژی ( $ESI^*$ )

کمترین و بیشترین مقدار برای این شاخص به ترتیب صفر و بی‌نهایت است (لو و همکاران ۲۰۱۴). مقدار این

شاخص برای نظام‌های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول به ترتیب ۰/۴۴ و ۰/۳۹ بود (جدول ۴). شاخص  $ESI^*$  به بررسی بوم‌شناختی یک نظام تولید ولی از منظر متفاوت پرداخته و مقادیر بیشتر هر دو شاخص نشان‌دهنده پایداری بوم‌شناختی بیشتر سامانه است. در شاخص  $ESI^*$  مقادیر  $> 10$ ،  $1-10$  و  $< 1$  به ترتیب نشان‌دهنده نظام پایدار با فشار بسیار پایین، نظام‌های زنده و خوب و نظام‌های از بین برنده منابع هستند (اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹). مقدار  $ESI^*$  در نظام زراعی سویا در آق‌قلا بیشتر از نظام زراعی این محصول در علی‌آباد کتول بود که نشان‌دهنده پایداری بیشتر تولید سویا در آق‌قلا در مقایسه با تولید این محصول در علی‌آباد کتول است. با توجه به اهمیت پایداری محیطی برای حفظ سودمندی اقتصادی یک سامانه تولید، مطلوب‌ترین سیاست برای تولید سویا در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول، حفظ تعادل بین سودمندی اقتصادی و پایداری محیطی در آن است.  $ESI^*$  نشان‌دهنده پایداری محیطی نظام بوده و مقادیر بیشتر آن مطلوب‌تر است (امیری و همکاران ۲۰۱۹). افزایش سهم منابع تجدیدپذیر، از طریق کاربرد منابع تجدیدپذیر به جای منابع تجدیدناپذیر در تامین ورودی‌های اقتصادی، در کاهش فشار و افزایش پایداری محیطی و در نتیجه افزایش  $ESI^*$  در نظام‌های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول موثر است. مقادیر  $ESI^*$  در این پژوهش بیشتر از مقادیر ۰/۱۹ برای نظام تولید کلزا در کلاله (لطفی و همکاران ۲۰۲۲) و ۰/۲۴۶، ۰/۲۳۴، ۰/۲۲۹ و ۰/۲۱۸، به ترتیب برای نظام‌های گلخانه‌ای تولید خیار، گوجه‌فرنگی، فلفل دلمه‌ای و بادمجان در جیرفت (اصغری‌پور و همکاران ۲۰۲۰) بود.

## نتیجه‌گیری

تراکم امرژی در بوم‌نظام زراعی سویا در شهرستان علی‌آباد کتول بیشتر از آق‌قلا بود. ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر، سهم بسیار بیشتری از ورودی امرژی کل را نسبت به ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر، خریداری شده تجدیدپذیر و خریداری شده تجدیدناپذیر در هر دو

سویا در آق قلا موثر است. همچنین، اجرای راهکارهای توصیه شده برای کاهش مصرف منابع تجدیدناپذیر و استفاده از منابع تجدیدپذیر در تامین ورودی های خریداری شده، در کنار آگاهی، آموزش و تشویق کشاورزان در این زمینه، در افزایش کارایی و پایداری محیطی و اقتصادی در بوم‌نظام های سویا در هر دو شهرستان موثر است.

### سپاسگزاری

بدینوسیله از حمایت مالی که از محل اعتبارات معاونت پژوهشی دانشگاه زابل به شماره IR-UOZ-GR-9360 تأمین شده، سپاسگزاری می‌گردد.

بوم‌نظام زراعی سویا در آق قلا و علی‌آباد کتول داشت که به دلیل سهم زیاد آب زیرزمینی و فرسایش خاک از ورودی امرژی کل بود. ارزیابی شاخص های امرژی نشان داد، تولید سویا در شهرستان آق قلا از لحاظ اغلب شاخص های امرژی شامل کارآیی مصرف منابع، کارآیی اقتصادی، پایداری محیطی و پایداری اقتصادی نسبت به علی‌آباد کتول برتری داشت و فقط کمی از لحاظ کارایی تولید پایین تر بود که به دلیل عملکرد کمتر سویا در آق قلا نسبت به علی‌آباد کتول بود. مدیریت دقیق تولید محصول، مانند اجرای صحیح عملیات خاک‌ورزی، آبیاری کافی و در زمان مناسب و مبارزه با آفات و علف‌های هرز در مناسب‌ترین زمان، در افزایش عملکرد و در نتیجه افزایش کارایی تولید در نظام زراعی

#### Appendix A:

##### A. Aq Qala

- 1- Solar energy (J ha<sup>-1</sup>):** (area, 1 ha) × (10,000 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) × (during growth season, 3.30E+09 J m<sup>-2</sup>) × (1-albedo, 0.8) = 2.64E+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 × 3.7 m s<sup>-1</sup>)<sup>3</sup> × (growth season, 2.488E+7 s) = 3.28E+10 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, 0.583 m yr<sup>-1</sup>) (density, 1,000 kg m<sup>-3</sup>) (Gibbs free energy, 4,740 J kg<sup>-1</sup>) = 2.76E+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, 0.446 m yr<sup>-1</sup>) × (density, 1,000 kg m<sup>-3</sup>) × (Gibbs free energy, 4,740 J kg<sup>-1</sup>) = 2.11E+10 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, 2.73 m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup>) × (conversion, 1000 kg m<sup>-3</sup>) × (Gibbs free energy, 4,690 J kg<sup>-1</sup>) = 1.28E+11 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, 1.78 m yr<sup>-1</sup>) × (density, 1,000 kg m<sup>-3</sup>) × (Gibbs free energy, 4,740 J kg<sup>-1</sup>) = 8.43E+10 J ha<sup>-1</sup>
- 7- SOM change:** -0.05%  
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) × (-0.05%) = -2,100 kg ha<sup>-1</sup>  
SOM reduction energy: (-2,100 kg ha<sup>-1</sup>, SOM reduction weight) × (5400 kcal kg<sup>-1</sup>) × (4186 J kcal<sup>-1</sup>) = 4.75E+10 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 12.35 tones ha<sup>-1</sup>  
Soil erosion = (area, 1 ha) × (soil loss rate, 12.35 tones ha<sup>-1</sup>) × (1.0E+06 g tones<sup>-1</sup>) = 1.23E+07 g ha<sup>-1</sup>
- 9- Human labor (J ha<sup>-1</sup>):** (Working hour, 276 h ha<sup>-1</sup>) × (1.96E+06 J h<sup>-1</sup>) = 5.41E+08 J ha<sup>-1</sup>
- 10- Agricultural Machinery steel (gr ha<sup>-1</sup>):**
  1. Tractor: (Steel weight, 3.60E+06 g × work hours, 12.5 h ha<sup>-1</sup>) = 4.50E07 g h ha<sup>-1</sup>
  2. Carrier tractor trail: (Steel weight, 7.50E+05 g × work hours, 2 h ha<sup>-1</sup>) = 1.50E06 g h ha<sup>-1</sup>
  3. Moldboard plow: (Steel weight, 7.00E+05 g × work hours, 3 h ha<sup>-1</sup>) = 2.10E06 g h ha<sup>-1</sup>
  4. Disc plow: (Steel weight, 6.00E+05 g × work hours, 0.5 h ha<sup>-1</sup>) = 3.00E05 g h ha<sup>-1</sup>
  5. Leveler: (Steel weight, 4.50E+05 g × work hours, 3.0 h ha<sup>-1</sup>) = 1.35E06 g h ha<sup>-1</sup>
  6. Planter: (Steel weight, 1.00E+06 g × work hours, 2 h ha<sup>-1</sup>) = 2.00E06 g h ha<sup>-1</sup>
  7. Harrows: (Steel weight, 6.00E+05 g × work hours, 2 h ha<sup>-1</sup>) = 3.60E06 g h ha<sup>-1</sup>
  8. Combine harvester: (Steel weight, 4.70E+06 g × work hours, 1.5 h ha<sup>-1</sup>) = 7.05E06 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> = 7.77E+03 gr ha<sup>-1</sup>

**11- Fuel for machinery (J ha<sup>-1</sup>):** (average quantity, 111.65 kg ha<sup>-1</sup>) × (conversion, 4.67E+07 J kg<sup>-1</sup>) = 5.21E+09 J ha<sup>-1</sup>

**12- Electricity (J ha<sup>-1</sup>):** (average quantity, 325 kWh ha<sup>-1</sup>) × (conversion, 3.6E+06 J kWh<sup>-1</sup>) = 1.17E+09 J ha<sup>-1</sup>

##### B. Aliabad-e-Katul

- 1- Solar energy (J ha<sup>-1</sup>):** (area, 1 ha) × (10,000 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) × (during growth season, 3.12E+09 J m<sup>-2</sup>) × (1-albedo, 0.8) = 2.50E+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 × 2.5 m s<sup>-1</sup>)<sup>3</sup> × (growth season, 1.477E+7 s) = 6.00E+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, 0.512 m yr<sup>-1</sup>) (density, 1,000 kg m<sup>-3</sup>) (Gibbs free energy, 4,740 J kg<sup>-1</sup>) = 2.43E+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, 0.446 m yr<sup>-1</sup>) × (density, 1,000 kg m<sup>-3</sup>) × (Gibbs free energy, 4,740 J kg<sup>-1</sup>) = 2.11E+10 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, 2.73 m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup>) × (conversion, 1000 kg m<sup>-3</sup>) × (Gibbs free energy, 4,690 J kg<sup>-1</sup>) = 1.28E+11 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, 1.78 m yr<sup>-1</sup>) × (density, 1,000 kg m<sup>-3</sup>) × (Gibbs free energy, 4,740 J kg<sup>-1</sup>) = 8.43E+10 J ha<sup>-1</sup>
- 7- SOM change:** -0.10%

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) × (-0.05%) = -2,100 kg ha<sup>-1</sup>

SOM reduction energy: (-2,100 kg ha<sup>-1</sup>, SOM reduction weight) × (5400 kcal kg<sup>-1</sup>) × (4186 J kcal<sup>-1</sup>) = 4.75E+10 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 12.35 tones ha<sup>-1</sup>

Soil erosion = (area, 1 ha) × (soil loss rate, 12.35 tones ha<sup>-1</sup>) × (1.0E+06 g tones<sup>-1</sup>) = 1.23E+07 g ha<sup>-1</sup>

9- Human labor (J ha<sup>-1</sup>): (Working hour, 640 h ha<sup>-1</sup>) × (1.96E+06 J h<sup>-1</sup>) = 1.25E+09 J ha<sup>-1</sup>

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

1. Tractor: (Steel weight, 3.60E+06 g × work hours, 15 h ha<sup>-1</sup>) = 5.40E07 g h ha<sup>-1</sup>
2. Carrier tractor trail: (Steel weight, 7.50E+05 g × work hours, 4 h ha<sup>-1</sup>) = 3.00E06 g h ha<sup>-1</sup>
3. Moldboard plow: (Steel weight, 7.00E+05 g × work hours, 3 h ha<sup>-1</sup>) = 2.10E06 g h ha<sup>-1</sup>
4. Disc plow: (Steel weight, 6.00E+05 g × work hours, 0.5 h ha<sup>-1</sup>) = 3.00E05 g h ha<sup>-1</sup>
5. Planter: (Steel weight, 1.00E+06 g × work hours, 2 h ha<sup>-1</sup>) = 2.00E06 g h ha<sup>-1</sup>
6. Harrows: (Steel weight, 6.00E+05 g × work hours, 4 h ha<sup>-1</sup>) = 2.40E06 g h ha<sup>-1</sup>
7. Combine harvester: (Steel weight, 4.70E+06 g × work hours, 1.5 h ha<sup>-1</sup>) = 7.05E06 g h ha<sup>-1</sup>

Assume an economic life of 25 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> = 8.75E+03 gr ha<sup>-1</sup>

11- Fuel for machinery (J ha<sup>-1</sup>): (average quantity, 248.5 kg ha<sup>-1</sup>) × (conversion, 4.67E+07 J kg<sup>-1</sup>) = 1.16E+10 J ha<sup>-1</sup>

12- Electricity (J ha<sup>-1</sup>): (average quantity, 325 kWh ha<sup>-1</sup>) × (conversion, 3.6E+06 J kWh<sup>-1</sup>) = 1.17E+09 J ha<sup>-1</sup>

### منابع مورد استفاده

- Ali M, Marvuglia A, Geng Y, Robins D, Pan H, Song X, Yu Z and Sun H. 2019. Accounting emery-based sustainability of crops production in India and Pakistan over first decade of the 21st century. *Journal of Cleaner Production*, 207: 111-122. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.236>
- Alimagham SM, Soltani A, Zeinali E and Kazemi H. 2017. Energy flow analysis and estimation of greenhouse gases (GHG) emissions in different scenarios of soybean production (Case study: Gorgan region, Iran). *Journal of Cleaner Production*, 149: 621-628. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.118>
- Amiri Z, Asgharipour MR, Campbell DE and Aghapoor Sabaghi M. 2020. Comparison of the sustainability of mechanized and traditional rapeseed production systems using an emery-based production function: A case study in Lorestan Province, Iran. *Journal of Cleaner Production*, 258: 120891. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120891>
- Amiri Z, Asgharipour MR, Campbell DE and Armin M. 2019. A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran, based on emery and economic analyses. *Journal of Cleaner Production*, 226: 1051-1066. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.091>
- Amiri Z, Asgharipour MR, Campbell DE, Azizi K, Kakolvand E and Hassani Moghadam E. 2021. Conservation agriculture, a selective model based on emery analysis for sustainable production of shallot as a medicinal-industrial plant. *Journal of Cleaner Production*, 292: 126000. DOI:10.1016/j.jclepro.2021.126000
- Asgharipour MR, Amiri Z and Campbell DE. 2020. Evaluation of the sustainability of four greenhouse vegetable production ecosystems based on an analysis of emery and social characteristics. *Ecological Modelling* 424: 109021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109021>
- Asgharipour MR, Shahgholi H, Campbell DE, Khamari I and Ghadiri A. 2019. Comparison of the sustainability of bean production systems based on emery and economic analyses. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(2): 1-21. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7123-3>
- Brandt-Williams SL. 2002. Handbook of Emery Evaluation: Folio #4 Emery of Florida Agriculture. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, FL, USA.
- Brown MT, Campbell DE, De Vilbiss C and Ulgiati S. 2016. The geobiosphere emery baseline: A synthesis. *Ecological Modelling*, 339, 92-95. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.03.018>
- Brown MT and Ulgiati S. 2004. Energy quality, emery, and transformity: H.T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems. *Ecological Modelling*, 178: 201-213. doi:10.1016/j.ecolmodel.2004.03.002

- Campbell DE, Brandt-Williams SL and Meisch MEA. 2005. Environmental accounting using Emery: Evaluation of the state of West Virginia. EPA/600/R-02/011. USEPA, Office of research and Development, Washington, DC, P. 116.
- Cochran J. 2003. Patterns of sustainable agriculture adoption/non-adoption in Panama a thesis submitted to McGill University. McGill University, Montreal, Canada: 1-114.
- Cuadra M and Rydberg T. 2006. Emery evaluation on the production, processing and export of coffee in Nicaragua. *Ecological Modelling*, 196, 421-433. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.02.010>
- Elsoragaby S, Yahya A, Mahadi MR, Mat Nawi N and Mairghany M. 2019. Energy utilization in major crop cultivation. *Energy*, 173, 1285-1303. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.142>
- Hu S, Mo XG, Lin ZH and Qiu JX. 2010. Emery assessment of a wheat-maize rotation system with different water assignments in the North China Plain. *Environmental Management*, 46: 643-657. DOI: 10.1007/s00267-010-9543-x
- Kaur N, Kumar Vashist K and Brar AS. 2021. Energy and productivity analysis of maize based crop sequences compared to rice-wheat system under different moisture regimes. *Energy*, 216: 119286. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119286>
- Kumaraswamy S. 2012. Sustainability issues in agro-ecology: Socio-ecological perspective. *Agricultural Sciences*, 3(2): 153-169. DOI:10.4236/as.2012.32018
- Lan SF, Qin P and Lu HF. 2002. Emery Assessment of Ecological Systems. Chemical Industry Press, Beijing, China, pp. 406-412 75 and 76.
- Lombardi GV, Parrini S, Atzori R, Stefani G, Romano D, Gastaldi M and Liu G. 2021. Sustainable agriculture, food security and diet diversity. The case study of Tuscany, Italy. *Ecological Modelling*, 458: 109702. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109702>
- Lotfi S, Kazemi H, Kamkar B and Shahhoseini HR. 2022. Evaluating the Sustainability Indices for Rapeseed (*Brassica napus* L.) Production Systems Using Emery Analysis (Case Study: Kalaleh County, Golestan Province). *Journal of Agroecology*, (In Persian). DOI: 10.22067/agry.2022.72035.1063
- Lu H, Yuan Y, Campbell DE, Qin P and Cui L. 2014. Integrated water quality, emery and economic evaluation of three bioremediation treatment systems for eutrophic water. *Ecological Engineering*, 69: 244-254. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.04.024>
- Lu H, Bai Y, Ren H and Campbell DE. 2010. Integrated emery, 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. doi:10.1016/j.jenvman.2010.07.025
- Lu HF, Kang WL, Campbell DE, Ren H, Tand YW, Fengd RX, Luo JT and Chen FP. 2009. Emery and economic evaluations of four fruit production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. *Ecological Engineering*, 35: 1743-1757. doi:10.1016/j.ecoleng.2009.08.001
- Martin JF, Diemont SAW, 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, Ecosystems and Environment*, 115: 128-140. doi:10.1016/j.agee.2005.12.016
- Montoya D, Gaba S, de Mazancourt C, Bretagnolle V and Loreau M. 2020. Reconciling biodiversity conservation, food production and farmers' demand in agricultural landscapes. *Ecological Modelling*, 416: 108889. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108889>
- Mousavi-Avval SH, Rafiee S, Jafari A and Mohammadi A. 2011. Energy flow modeling and sensitivity analysis of inputs for canola production in Iran. *Journal of Cleaner Production*, 19: 1464-1470. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.04.013>
- Odum HT. 1996. Environmental accounting: Emery and Environmental Decision Making. John Wiley & Sons, New York, USA. 384 pp.



- Odum HT. 2000. Handbook of Emergy Evaluation. A Compendium of Data for Emergy Computation Folio #2 Emergy global processes. Center of Environmental Policy, University of Florida, Gainesville. 28 pp.
- Patterson M, McDonald G and Hardy D. 2017. Is there more in common than we think? Convergence of ecological footprinting, emergy analysis, life cycle assessment and other methods of environmental accounting. *Ecological Modelling*, 362: 19-36. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.07.022>
- Quintero-Angel M and Gonzalez-Acevedo A. 2018. Tendencies and challenges for the assessment of agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 254, 273-281. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.030>
- Shahhoseini HR, Ramroudi M and Kazemi H. 2020. Evaluating the Resources Use Efficiency and Sustainability Indices for Two Potato Production Systems using Emergy Analysis (Case Study: Gorgan county). *Journal of Agroecology*, 12(1): 127-142. (In Persian). Doi:10.22067/jag.v12i1.81189
- Singh Jatav S and Naik K. 2023. Measuring the agricultural sustainability of India: An application of pressure-state-response model. *Regional Sustainability*, 4(3): 218-234. <https://doi.org/10.1016/j.regsus.2023.05.006>
- Yasini H, Ghanbari SA, Asgharipour MR and Seyedabadi E. 2020. Evaluating of Sustainability in Wheat, Onion and Garlic Cropping Systems by Joint Use of Emergy and Economic Accounting. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(2): 269-288. (In Persian).
- Zhai X, Huang D, Tang S, Li S, Guo J, Yang Y, Liu H, Li J and Wang K. 2017. The emergy of metabolism in different ecosystems under the same environmental conditions in the agro-pastoral ecotone of northern China. *Ecological Indicators*, 74: 198-204. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.028>