

Comparison of Sustainability of Irrigated Wheat and Grain Maize Production Systems with Energy Analysis Approach (Case Study: Dez Catchment)

Nasim Zadehdabagh¹, Seyed Massoud Monavari^{2*}, Nargess Kargari³, Lobat Taghavi², Saeid Pirasteh⁴

Received: 10 January 2022 Accepted: 28 February 2022

1-Ph.D. Candidate, Dept. of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2-Assoc. Prof., Dept. of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3-Assist. Prof., Dept. of Environmental Science, Takestan branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran.

4-Prof., Dept. of Surveying and Geoinformatics, Faculty of Geosciences and Environmental Management, Southwest Jiaotong University, Chengdu, China.

*Corresponding Author Email: sm.monavari.94@gmail.com

Abstract

Background and Objective: Cereal production systems in Iran are often associated with high costs and low productivity, improper use of inputs causes irreversible damage to the environment. Efficient farm management is one of the most important issues in achieving sustainable performance. This study aimed to determine and compare the ecological sustainability of two production ecosystems of irrigated wheat and grain maize using energy analysis.

Material and Methods: This research was carried out in the cropping year of 2019-2020 in Dez catchment. Interviews were conducted with 400 farmers of wheat and maize based on a questionnaire to collect data on production processes in farms. In this study, the energy analysis method was selected to measure the sustainability of the desired agricultural products. Finally, the sustainability of the systems was evaluated using the value of energy indicators.

Results: The total energy inputs for the irrigated wheat and maize production ecosystems were 1.6E+16 and 2.55E+16 sej ha⁻¹ per year, respectively. The results indicated the production of both crops is in an environmentally unsustainable condition, and of all consumption inputs; chemical fertilizers, especially nitrate and phosphate, and then diesel have the most impact on environmental unsustainability in the study area.

Conclusion: As a final result, the ecosystem of irrigated wheat production is more desirable than grain maize in terms of yield, renewability, and environmental sustainability, and wheat production in the region is the superior system for achieving sustainability compared to maize production.

Keywords: Cereals, Dez Catchment, Energy Indicators, Environmental Impact Assessment, Sustainable Agriculture

مقایسه پایداری نظام‌های تولید گندم آبی و ذرت دانه‌ای با رویکرد تحلیل امرژی (مطالعه موردی: حوضه آبریز دز)

نسیم زاده دباغ^۱، سید مسعود منوری^{۲*}، نرگس کارگری^۳، لعبت تقوی^۴، سعید پیراسته^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۹

- ۱- دانشجوی دکتری گروه علوم محیط‌زیست - ارزیابی و آمایش سرزمین، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
- ۲- دانشیار گروه علوم محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
- ۳- استادیار گروه محیط‌زیست، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران
- ۴- استاد گروه نقشه برداری و ژئوانفورماتیک، دانشکده علوم زمین و مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه جیائوتنگ جنوب غربی، چنگدو،

چین

*مسئول مکاتبه: Email: sm.monavari.94@gmail.com

چکیده

اهداف: سیستم‌های تولید غلات در ایران اغلب با هزینه بالا و بهره‌وری پایین همراه است و به واسطه مصرف و کاربرد بی‌رویه نهاده‌ها، صدمات جبران ناپذیری به محیط‌زیست وارد می‌نمایند. یکی از مهمترین مسائل مدیریت کارآمد در مزارع، دستیابی به عملکرد پایدار است. این مطالعه با هدف تعیین و مقایسه پایداری اکولوژیکی دو بوم نظام تولید گندم آبی و ذرت دانه‌ای با استفاده از تحلیل امرژی انجام گردید.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در سطح حوضه آبریز دز در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ به اجرا درآمد. مصاحبه با ۴۰۰ زارع گندم کار و ذرت کار بر اساس پرسشنامه جهت جمع‌آوری داده‌های مربوط به فرآیندهای تولید درون مزارع کشاورزی صورت پذیرفت. در این بررسی ابزار تحلیل امرژی برای اندازه‌گیری پایداری محصولات کشاورزی مورد نظر انتخاب گردید. نهایتاً با استفاده از مقدار شاخص‌های امرژی پایداری سیستم‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: مجموع امرژی‌های ورودی به نظام برای بوم نظام تولید گندم و ذرت به ترتیب $16E+1/6$ و $16E+2/55$ ام‌ژول خورشیدی در هکتار در سال بدست آمد. نتایج ارزیابی مقایسه دو کشت زراعی این مطالعه نشان داد که هر دو نظام کشت از نظر زیست محیطی در شرایط ناپایداری قرار داشتند و از کل نهاده‌های مصرفی؛ کودهای شیمیایی بویژه کود نیترات و فسفات و سپس سوخت مصرفی گازوئیل بیشترین تأثیر را بر ناپایداری زیست محیطی در منطقه مطالعاتی داشته‌اند.

نتیجه‌گیری: مشخص گردید که بوم نظام تولید گندم از لحاظ عملکرد، تجدیدپذیری و پایداری محیطی از بوم نظام تولید ذرت مطلوب‌تر است و تولید گندم در منطقه نظام برتر برای دستیابی به پایداری نسبت به تولید ذرت است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، حوضه آبریز دز، شاخص‌های امرژی، غلات، کشاورزی پایدار

مقدمه

کشاورزی پایدار باید یک سیستم کم‌نهاده باشد، که در آن هزینه‌های تولید کمتر و بازده خالص بالاتر باشد (سینگ و همکاران ۲۰۲۱). ترویج کشاورزی پایدار در حالی که همزمان با افزایش تقاضا برای مواد غذایی به دلیل رشد جمعیت مواجه است، چالش بزرگی در قرن بیست و یکم است (وانگ و همکاران ۲۰۲۱).

در ایران عمده‌ترین محصولات زراعی و شاخص منطقه گندم و ذرت می‌باشند (پله‌ور و همکاران ۲۰۲۰). استفاده بی‌رویه از نهاده‌هایی مانند کود و سموم شیمیایی، سوخت-های فسیلی، ماشین‌آلات صدمات جبران ناپذیری به محیط-زیست وارد می‌نماید. ایران به عنوان کشوری که در ناحیه گرم و خشک واقع شده است با مشکلات متعددی از جمله شرایط بحران آب، مصرف بی‌رویه آب و نهاده‌های کشاورزی مواجه است لذا برای کاهش این اثرات نامطلوب محیطی؛ اندیشه کشاورزی پایدار و تبدیل کشاورزی از مصرف پرنهاده به کم‌نهاده و در نتیجه استفاده از روش-هایی برای افزایش پایداری سیستم‌های کشاورزی برای سیاره زمین از اهمیت بالایی برخوردار است (سرکار و همکاران ۲۰۲۰). طی دو دهه گذشته چندین روش برای ارزیابی محیط‌زیست مطرح گردید که در میان آنها، انرژی که اولین بار توسط دیوید ساینسمن^۲ در سال ۱۹۸۳ مطرح شد، یکی از ابزارهای موثر در سطح اکوسیستم‌های کشاورزی است که سیستم‌ها را به صورت شبکه‌ای از جریان انرژی فرض می‌کند و با ارزیابی تمام نهاده‌ها و انرژی‌های خریداری شده، پایداری یک نظام کشت را از لحاظ مصرف انرژی مشخص می‌کند. لذا تحلیل انرژی شاخصی ارزشمند است که به ابزاری بالغ برای ارزیابی اکولوژی-اقتصادی تبدیل شده است و می‌تواند یک جایگزین جامع‌تر برای بسیاری از روش‌های موجود برای تصمیم‌گیری‌های سازگار با محیط‌زیست باشد (کوهکن و همکاران ۲۰۱۸).

جهان به طور فزاینده‌ای در حال شهری شدن و جهانی شدن است و افزایش شناسایی و کشف منابع طبیعی می-تواند تأثیر گسترده‌ای بر کیفیت محیط‌زیست داشته باشد (ناتانیل و همکاران ۲۰۲۱). تخریب روزافزون محیط‌زیست ناشی از فعالیت‌های اقتصادی، عمدتاً به دلیل بهره‌برداری بیش از حد از منابع طبیعی و فعالیت‌های تولیدی است (پاتا ۲۰۲۱). برای حمایت از جمعیت روزافزون که تهدیدی عمده برای امنیت غذا و انرژی جهانی به شمار می‌رود، کشاورزی با چالش‌های متعددی مواجه است (کی و همکاران ۲۰۲۱). در واقع افزایش جمعیت باعث افزایش تقاضای تولید مواد غذایی، مصرف انرژی و توسعه اقتصادی می‌شود (سارکودی و همکاران ۲۰۱۹). کشاورزی، بخش کلیدی اقتصادی کشورهای در حال توسعه است. توسعه، رفاه انسانی و رونق اقتصادی مردم به شدت به توسعه زنجیره-های تامین صنایع کشاورزی وابسته است. امروزه توسعه؛ سرعت تقاضا برای غذا و سوخت را افزایش داده و باعث افزایش نگرانی در خصوص رقابت بین منابع زمین، نیاز به آب شیرین و انرژی و همچنین پیامدهای انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG^۱) می‌شود (سیلالرتروکسا و گیوالا ۲۰۱۸). سهم بخش کشاورزی در انتشار گازهای گلخانه‌ای ۱۴ درصد است (امیری و همکاران ۲۰۲۰). کشاورزی آبی نقش مهمی در سراسر جهان دارد و بزرگ‌ترین بهره‌بردار از منابع آب است (ویتو و همکاران ۲۰۱۷). کشاورزی حدود ۸۵ درصد از مصرف جهانی آب شیرین را به خود اختصاص می‌دهد (سیلالرتروکسا و گیوالا ۲۰۱۸). کشاورزی سنتی اغلب بر حجم عظیمی از کودها و آفت-کش‌ها متکی است که بر موجودات زنده و اکوسیستم‌ها تأثیر منفی گذاشته است. به عنوان یک اصل اساسی در کشاورزی پایدار؛ باید از حداقل مواد شیمیایی استفاده کرد تا بتوان از محیط‌زیست محافظت نمود. علاوه بر این،

² David Scienceman¹ Greenhouse gas

چغندر قند و زعفران را با استفاده از رویکرد امرژی در شهرستان خوشاب استان خراسان رضوی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که سیستم‌های تولید زعفران بیشترین سهم را از منابع خریداری شده تجدیدپذیر نشان دادند. امرژی تولید زعفران و چغندر قند به عنوان محصولات جدید معرفی شده به این منطقه دارای بالاترین شاخص پایداری زیست محیطی است. همچنین مشخص گردید که نسبت بار زیست محیطی اصلاح شده در کشت زعفران پایین‌تر از سه سیستم تولید دیگر بود. بنابراین زعفران را می‌توان به عنوان یک محصول پایدار توصیه نمود که کمترین فشار را بر منابع زیست محیطی وارد کرده است. در این مطالعه نتایج تحلیل امرژی و محاسبه شاخص‌های اقتصادی نشان دهنده پایداری و سود اقتصادی بیشتر سیستم تولید زعفران در مقایسه با سه سیستم دیگر است. شاه‌حسینی و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی دیگر با هدف ارزیابی و مقایسه کارایی مصرف منابع و پایداری بوم‌نظام‌های پاییزه و بهاره سیب‌زمینی در شهرستان گرگان از تحلیل امرژی استفاده نمودند. نتایج نشان داد کل امرژی ورودی برای بوم‌نظام‌های پاییزه و بهاره سیب‌زمینی به ترتیب $1/71 \times 10^{16}$ و $1/76 \times 10^{16}$ ام-ژول خورشیدی در هکتار در سال بود. در بوم‌نظام پاییزه وابستگی به ورودی‌های خریداری شده بیشتر از ورودی‌های محیطی بود. بیشترین سهم از کل امرژی ورودی در هر دو بوم‌نظام پاییزه و بهاره مربوط به مصرف آب زیرزمینی بود. پایداری اقتصادی بوم‌نظام پاییزه، کمی از بوم‌نظام بهاره کمتر بود که عمدتاً به خاطر مصرف نامعقول ورودی‌های بازاری از قبیل بذر و سوخت‌های فسیلی بود.

نهایتاً نتایج تحلیل شاخص امرژی منجر به برنامه‌ریزی و تصمیمات مدیریتی می‌شود که با به کارگیری آنها می‌توان آسیب‌های زیست محیطی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی را به حداقل ممکن رساند. هدف از این مطالعه ارزیابی پایداری دو محصول استراتژیک گندم آبی و ذرت

با استفاده از این شاخص تحقیقات مختلفی در ارتباط با امرژی ورودی‌ها و ارزیابی پایداری محصولات و سیستم‌های کشاورزی انجام شده است از جمله غالی و پورتر (۲۰۱۳) طی پژوهشی از تحلیل امرژی جهت مقایسه ارزیابی پایداری سیستم ترکیبی غذا و امرژی (CFE^۳) با سیستم تولید گندم معمولی به منظور تولید پایدار غذا، علوفه و امرژی بدون مواد شیمیایی (کود، علف‌کش و قارچ‌کش) استفاده نمودند. نتایج نشان داد که سیستم CFE به طور قابل توجهی نیاز به منابع کمتری دارد و به تولید پایدار بیشتر تمایل دارد. در پژوهشی دیگر جعفری و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از تکنیک‌های امرژی، امرژی و اقتصادی پایداری دو محصول پسته و خرما را در شهرستان نهبندان استان خراسان جنوبی مورد بررسی قرار دادند. امرژی کل برای نظام تولید خرما و پسته به ترتیب $2,26E+16$ و $2,97E+16$ برآورد شد. نتایج نشان داد که هر دو نظام تولید پسته و خرما یک سیستم بسیار باز هستند که به شدت تحت تأثیر ورودی‌های خریداری شده قرار دارند. کودهای دامی و کود فسفر بیشترین سهم را در نهاده‌های امرژی داشتند. ارزیابی امرژی و تحلیل امرژی نشان داد که تولید خرما در بلند مدت پایدارتر است. همچنین نتایج نشان داد که با اینکه تکنیک‌های امرژی، امرژی و اقتصادی متفاوت هستند اما مکمل یکدیگر بوده و هر کدام جنبه خاصی از یک سیستم را در نظر می‌گیرند. اصغری‌پور و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ی خود از تحلیل امرژی برای مقایسه پایداری پنج سیستم کشت لوبیا شامل اکولوژیک، یکپارچه، کم، متوسط و سیستم‌های تولید با ورودی بالا در منطقه خرم-دشت استان مرکزی استفاده نمودند. یافته‌ها نشان داد که از کل ورودی‌های امرژی، ورودی‌های خریداری شده بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند. همچنین سیستم‌های صنعتی تولید اقتصادی بیشتری داشتند و مشخص شد که بیشترین مصرف امرژی مربوط به کود نیتروژن و فسفات است. فلاحی‌نژاد و همکاران (۲۰۲۱) طی مطالعه‌ای پایداری تولید چهار محصول گندم، جو،

³ Combined food and energy

گردید که نشان می‌دهد سطح پایایی پرسشنامه خوب و قابل قبول می‌باشد.

لازم به ذکر است داده‌های مربوط به فرآیندهای تولید درون مزارع مانند عملیات زراعی و آبیاری و غیره برای هر دو محصول مورد نظر توسط پرسشنامه در سطح کشاورزان نمونه، جمع‌آوری گردید. داده‌های مربوط به میزان فرسایش و ماده آلی خاک و داده‌های کشاورزی منطقه از سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان تهیه شد (آمارنامه کشاورزی ۲۰۱۹). اطلاعات مربوط به ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر شامل نور خورشید، باران و باد نیز از اداره کل هواشناسی استان خوزستان جمع‌آوری گردید (سازمان هواشناسی استان خوزستان ۲۰۱۸).

روش پژوهش حاضر از این جهت که در راستای دستیابی به توسعه پایدار کشاورزی است، از رویکرد کاربردی برخوردار است. این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ در بخشی از حوضه آبریز دز انجام شد. در این مطالعه جهت تعیین شاخص پایداری بر اساس مؤسسات معتبر بین‌المللی، شاخص تحلیل امرژی محصولات کشاورزی انتخاب گردید.

روش تحلیل امرژی

برای آنالیز امرژی در ابتدا مرزهای مکانی و زمانی نظام‌های زراعی مورد بررسی مشخص گردید و دیگرام امرژی برای طبقه‌بندی نهاده‌های کشاورزی به منابع تجدیدپذیر و یا تجدیدناپذیر رایگان و خریداری شده ترسیم شد (شکل ۲). سپس جدول امرژی برای محاسبه‌ی مقادیر امرژی مخازن و جریانات ورودی و خروجی هر نظام تولیدی، ایجاد گردید. در مرحله بعد تمام این مقادیر در ضریب تبدیل مربوطه‌شان ضرب گردیدند و همه به واحد امرژی تبدیل شدند (امیری و همکاران ۲۰۲۰). واحد امرژی؛ امژول خورشیدی (sej) و واحد ضریب تبدیل امرژی

دانه‌ای در سطح حوضه آبریز دز در استان خوزستان به عنوان یکی از قطب‌های اصلی تولید محصولات زراعی در ایران می‌باشد. لازم به ذکر است که از طریق تصاویر ماهواره‌ای مربوط به تاریخ ۲۰۲۱/۰۴/۱۳ و ۲۰۲۰/۰۹/۱۷ و سنجنده OLI^۴ ماهواره لندست ۸^۵ مساحت کل سطح زیر کشت به ترتیب برای گندم و ذرت ۱۰۳۳۷۱/۱۲ و ۱۲۷۷۸۵/۳۸ هکتار در منطقه مطالعاتی بدست آمد.

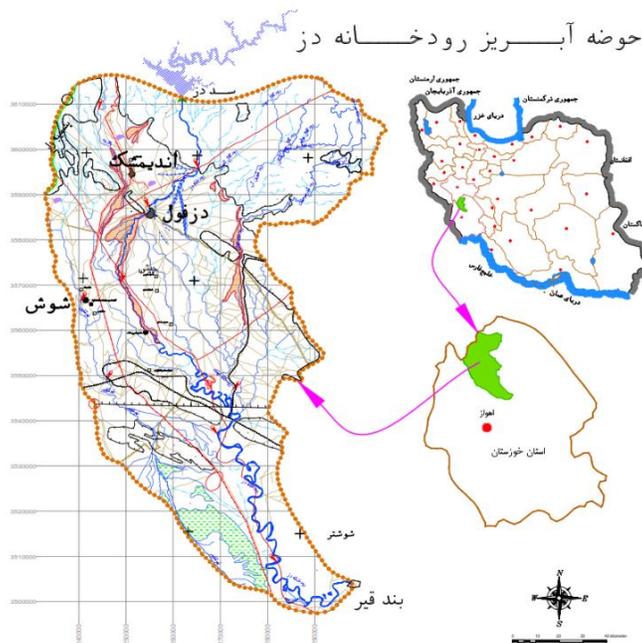
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه بخشی از حوضه آبریز دز در استان خوزستان می‌باشد که بین ۴۸° ۹' ۷" تا ۴۸° ۵۶' ۴۲" طول شرقی و ۳۲° ۳۹' ۱۳" تا ۳۱° ۳۵' ۴۲" عرض شمالی واقع شده است. مساحت این محدوده ۵۰۸۵/۲۶ کیلومتر مربع می‌باشد. حوضه آبریز رودخانه دز به عنوان یک حوضه درجه سه، زیر مجموعه‌ای از حوضه کارون بزرگ محسوب می‌شود و در تقسیم بندی بزرگتر در زیر مجموعه حوضه خلیج فارس و دریای عمان قرار می‌گیرد (احمدی و همکاران ۲۰۱۷). شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعاتی را در استان خوزستان و کشور ایران نشان می‌دهد.

جامعه آماری کلیه کشاورزان بهره‌بردار از حوضه آبریز دز در بخش شمالی استان خوزستان می‌باشند که از سیستم کشت مرسوم یا سنتی، در شرایط تناوب کشت ذرت دانه‌ای و گندم آبی؛ استفاده می‌کنند. حجم نمونه بر پایه فرمول کوکران با سطح خطای ۰/۰۵ با توجه به نامشخص بودن جامعه آماری، تعداد ۳۸۴ نمونه برآورد شد که برای اطمینان بیشتر ۴۰۰ نفر (کشاورز گندم کار و ذرت کار) به عنوان حجم نمونه در این مطالعه انتخاب شدند. نهایتاً بر اساس روش نمونه برداری تصادفی ساده، مصاحبه با ۴۰۰ نفر کشاورز منتخب توسط پرسشنامه صورت پذیرفت که اعتبار آن توسط هیئت متخصصان تأیید گردید. همچنین از روش آلفای کرونباخ برای تعیین پایایی پرسشنامه استفاده گردید که عدد آلفا، ۰/۸۴ برآورد

⁵ Landsat

⁴ Operational Land Imager



شکل ۱- نمای کلی موقعیت منطقه مطالعاتی

عملکرد دانه ذرت و عملکرد کاه و کلش تولید شده به عنوان خروجی سیستم در نظر گرفته شد. این طبقه بندی در نظام-های مختلف زراعی متفاوت است (فلاحی نژاد و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین در رابطه با بوم‌نظام‌های کشاورزی؛ شاخص‌های نسبت عملکرد امرژی^{۱۰} (EYR)، نسبت سرمایه گذاری امرژی^{۱۱} (EIR)، نسبت خود حمایتی امرژی^{۱۲} (ESR)، شاخص پایداری محیط^{۱۳} (ESI)، درصد تجدیدپذیری^{۱۴} (R%)، نسبت بار زیست محیطی^{۱۵} (ELR) و شاخص نسبت بار زیست محیطی اصلاح شده^{۱۶} (ELR*) برای مقایسه دو نظام کشت گندم و ذرت مورد استفاده قرار گرفتند. از روش آماری آزمون تی مستقل^{۱۷} نیز جهت مقایسه میانگین امرژی میان دو محصول مدنظر این پژوهش استفاده

امژول خورشیدی بر ژول می‌باشد (کوهکن و همکاران ۲۰۱۸).

سپس با استفاده از مقدار شاخص‌های امرژی پایداری سیستم‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. برای محاسبه شاخص‌های امرژی، تمام ورودی‌ها به چهار گروه منابع رایگان تجدید پذیر^{۱۶} (R) مانند نور خورشید، باد، باران و آب رودخانه، نهاده‌های تجدیدپذیر خریداری شده^{۱۷} (FR) مانند نیروی کار و بذر، منابع محیطی تجدیدناپذیر^{۱۸} (N) مانند فرسایش خاک و نهاده‌های تجدیدناپذیر خریداری شده^{۱۹} (FN) مانند کودها و سموم شیمیایی، برق، سوخت گازوئیل و ماشین‌آلات تقسیم شدند. در این مطالعه جهت تولید محصولات زراعی مورد نظر، عملکرد دانه گندم،

¹³ Environmental sustainability index

¹⁴ Renewable energy ratio

¹⁵ Environmental loading ratio

¹⁶ modified environmental load ratio index

¹⁷ Independent samples t-test

⁶ Renewable environmental inputs

⁷ Renewable purchased inputs

⁸ Non-renewable environmental inputs

⁹ Non-renewable purchased inputs

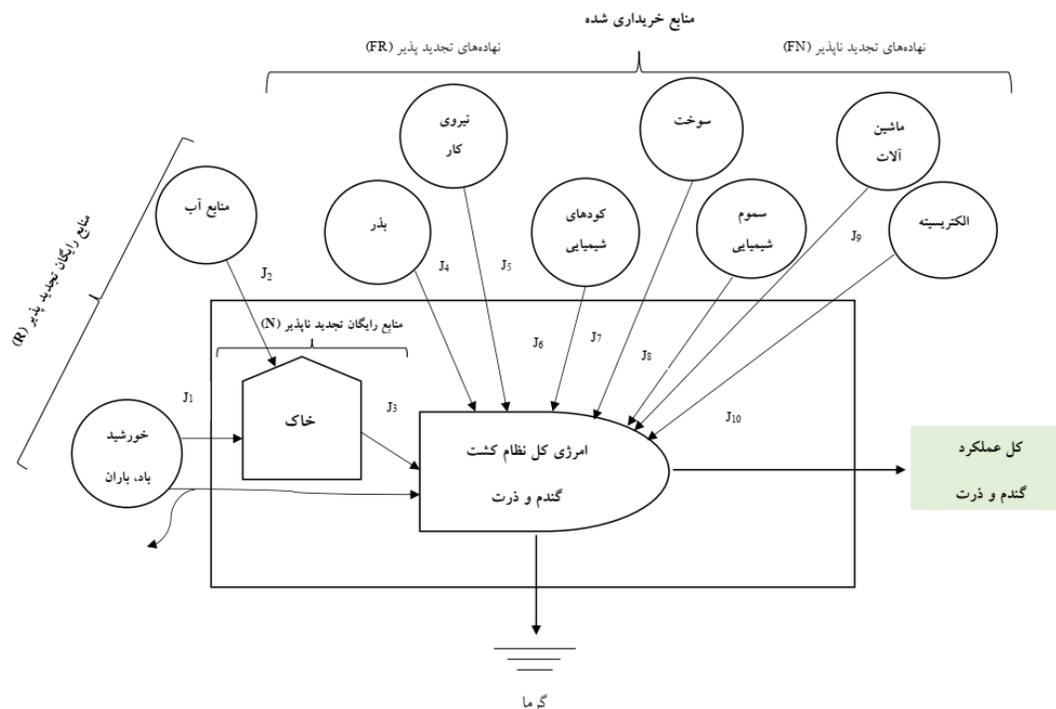
¹⁰ Energy yield ratio

¹¹ Energy investment ratio

¹² Energy self-sufficiency ratio

گردید. جزئیات محاسبات مربوط به ارزیابی نهاده‌ها در پیوست ارائه شده است.

شد. تمام محاسبات مربوط به تعیین میزان امرژی و شاخص‌های آن و همچنین تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم افزارهای Excel نسخه ۲۰۱۶ و SPSS نسخه ۲۳ انجام



شکل ۲- نمودار جریان امرژی گندم آبی و ذرت دانه‌ای

زیست‌محیطی در شرایط ناپایداری قرار دارند و علی‌رغم اینکه به لحاظ آماری با توجه به جدول ۳ با اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی داری در سطح ۰/۰۵ میان ورودی‌های امرژی در کشت گندم و ذرت مشاهده نگردید ولی کشت گندم در مقایسه با کشت ذرت دانه‌ای، به دلیل مصرف کمتر نهاده‌ها و در واقع فشار کمتر بر محیط پایدارتر می‌باشد. بیشترین مصرف امرژی برای هر دو محصول گندم و ذرت مربوط به کود نیترات به ترتیب با ۶۰/۷۹ درصد و با ۶۱/۱۴ درصد و سپس در رتبه دوم کود فسفات به ترتیب با ۲۲/۷۵ درصد و با ۲۶/۵۱ درصد بود. نمودار مقایسه مقدار امرژی ورودی‌ها میان کشت گندم آبی و ذرت دانه‌ای بر حسب ام‌ژول خورشیدی در هکتار در منطقه مطالعاتی در شکل ۳ ارائه شده است. در تطابق با مطالعات پیشین در مورد بیشترین مصرف امرژی نهاده‌ها؛ در مطالعه امیری و

نتایج و بحث

تحلیل امرژی محصولات مورد نظر

ارزیابی و آنالیز امرژی داده‌های مربوط به نهاده‌ها و خروجی‌ها برای هر دو محصول به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است. مجموع امرژی‌های ورودی برای بوم‌نظام-های تولید گندم آبی و ذرت دانه‌ای به ترتیب $16E+1/6$ و $16E+2/55$ ام‌ژول خورشیدی در هکتار در سال بدست آمد. بر اساس اطلاعات پرسشنامه برای کشت ذرت دانه‌ای در منطقه مطالعاتی با توجه به اینکه کاه و کلش تولیدی فاقد ارزش اقتصادی برای کشاورزان است در تحلیل امرژی لحاظ نگردید.

مقایسه تحلیل امرژی میان دو کشت گندم و ذرت

نتایج ارزیابی مقایسه دو کشت زراعی نشان داد که بوم‌نظام‌های تولید هر دو محصول مورد نظر منطقه از نظر

ترتیب ۰/۸۷ و ۰/۱۷ درصد بود (هوشیار و همکاران ۲۰۱۸).

ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر (N): در این مطالعه فرسایش خاک به عنوان منبع محیطی تجدیدناپذیر در نظر گرفته شد. سهم فرسایش خاک از کل امرژی ورودی در هر دو بوم نظام در منطقه مطالعاتی برابر $۱۳+۳/۵۳E$ امژول خورشیدی در هکتار بدست آمد. میزان نسبتاً بالای فرسایش خاک نشان دهنده طبیعت شکننده اراضی کشاورزی در منطقه است. در تحقیقی مشابه سهم فرسایش خاک برای مزارع ذرت ایالت کانزاس آمریکا $۱۴+۲/۱۶E$ امژول خورشیدی در هکتار گزارش گردید (مارتین و همکاران ۲۰۰۶). همچنین در پژوهشی دیگر این مقدار جهت تولید گندم $۱۳+۵/۵۵E$ امژول خورشیدی در هکتار بود (غالی و پورتر ۲۰۱۳).

ورودی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر خریداری شده (FR & FN): ورودی‌های تجدید ناپذیر از کل منابع خریداری شده بیشترین سهم را در هر دو نظام زراعی داشتند و به ترتیب از کل ورودی‌های خریداری شده، سهم منابع امرژی تجدیدپذیر در نظام‌های تولید گندم و ذرت به ترتیب $۳/۳۲$ درصد و $۳/۰۹$ درصد بود و سهم منابع امرژی تجدیدناپذیر نیز در نظام‌های تولید گندم و ذرت به ترتیب $۹۵/۱۷$ درصد و $۹۵/۸۸$ درصد بدست آمد. ترکیب ورودی‌های امرژی خریداری شده برای دو محصول مورد مطالعه تقریباً یکسان بود. در بین تمام ورودی‌های خریداری شده کودهای شیمیایی (نیترات و فسفات) و سوخت‌های فسیلی بیشترین سهم را داشتند که نشان می‌دهد این بوم نظام‌ها تحت تأثیر شدید ورودی‌های خریداری شده قرار دارند. لذا در منطقه مطالعاتی به حداقل رساندن مصرف این نهاده‌ها در جهت مدیریت ورودی‌های خریداری شده و استفاده بهینه و کارآمد از آنها در فرآیند تولید محصول ضروری است. در پژوهشی مشابه میزان ورودی امرژی نهاده‌های

همکاران (۲۰۱۹) در آنالیز امرژی کشت کلزا در استان لرستان مشخص شد که بیشترین مصرف امرژی مربوط به کود نیتروژن و فسفات به ترتیب با $۳/۰۹E+۱۰$ و $۲/۸۲E+۱۰$ امژول خورشیدی در هکتار است. در پژوهش هوشیار و همکاران (۲۰۱۸) در شهرستان جهرم استان فارس برای کشت گندم بیشترین مصرف امرژی مربوط به کود نیتروژن با $۱۶+۱/۷۷E$ امژول خورشیدی در هکتار و آب زیرزمینی با $۱۵+۹/۵۶E$ امژول خورشیدی در هکتار بود و برای کشت ذرت نیز بیشترین مصرف امرژی مربوط به کود نیتروژن با $۱۶+۲/۱۱E$ امژول خورشیدی در هکتار و آب زیرزمینی با $۱۶+۱/۵۰E$ امژول خورشیدی در هکتار گزارش گردید. در مطالعه غالی و پورتر (۲۰۱۳) در دانمارک بر روی کشت گندم امرژی کل $۱۶+۱/۳۳E$ امژول خورشیدی در هکتار بدست آمد و بیشترین مصرف امرژی مربوط به کود نیتروژن با $۵۷/۸$ درصد گزارش شد، لذا نتایج این سری مطالعات نیز مؤید نتایج مطالعه حاضر می‌باشند. در تعارض با یافته‌های این پژوهش در مورد مقایسه سطح پایداری دو محصول گندم و ذرت، مطالعه‌ی وانگ و همکاران (۲۰۱۴) در چین بر روی مزارع غلات بود که نشان داد کشت ذرت نسبت به گندم به دلیل مقایسه کوچک مزارع و مصرف بیشتر نهاده‌ها، پایدارتر است.

جریان نهاده‌های امرژی در نظام‌های تولید محصولات جریان منابع و نهاده‌های با اهمیت برای نظام‌های کشت گندم و ذرت به همراه مقدار، خصوصیات، معادلات و نحوه محاسبه‌ی شاخص‌های امرژی برای ارزیابی این بوم نظام‌های زراعی در جدول ۴ ارائه شده است.

ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر (R): سهم ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر از کل امرژی ورودی در دو بوم‌نظام گندم و ذرت کم بوده و به ترتیب $۱/۲۹$ و $۰/۹$ درصد است که نشان می‌دهد هر دو نظام وابستگی پایینی به منابع محیطی تجدیدپذیر دارند همچنین تولید گندم در منطقه به منابع محیطی تجدید پذیر وابستگی بیشتری دارد. در پژوهشی مشابه این مقدار برای بوم نظام گندم و ذرت به

جدول ۱- آنالیز داده‌ها و ارزیابی امرژی مربوط به نهاده‌ها برای هر دو محصول در منطقه مطالعاتی

گروه	متغیر/ واحد	ضریب تبدیل (sej unit ⁻¹)	منبع	گندم		ذرت			
				مقدار (unit.h ⁻¹)	امرژی (sej)	درصد	مقدار (unit.h ⁻¹)	امرژی (sej)	درصد
منابع محیطی (رایگان)	نورخورشید/ژول	۱	۱	۸/۷۲E+۱۲	۸/۷۲E+۱۲	۰/۰۵	۴/۲۶E+۱۲	۴/۲۶E+۱۲	۰/۰۱۷
	باد/ژول	۱/۲۵E+۰۳	۲	۱/۱۴E+۰۹	۱/۴۲E+۱۲	۰/۰۰۹	۶/۹۵E+۱۱	۵/۵۶E+۰۸	۰/۰۰۳
	باران/ژول	۲/۲۵E+۰۴	۱	۵/۸۷E+۰۹	۱/۳۲E+۱۴	۰/۸۲	۱/۳۲E+۱۴	۵/۸۷E+۰۹	۰/۵۲
تجدیدپذیر	آب رودخانه/ژول	۱/۹۲E+۰۵	۱	۳/۳۴E+۰۸	۶/۴۲E+۱۳	۰/۴۰	۴/۸۷E+۰۸	۴/۸۷E+۰۸	۰/۳۷
	جمع			۸/۷۲E+۱۲	۲/۰۶E+۱۴	۱/۲۹	۴/۲۷E+۱۲	۴/۲۷E+۱۲	۰/۹۰
منابع محیطی تجدیدناپذیر	فرسایش خاک/ژول	۹/۳۶E+۰۴	۳	۳/۷۸E+۰۸	۳/۵۳E+۱۳	۰/۲۲	۳/۷۸E+۰۸	۳/۷۸E+۰۸	۰/۱۴
	جمع			۳/۷۸E+۰۸	۳/۵۳E+۱۳	۰/۲۲	۳/۷۸E+۰۸	۳/۷۸E+۰۸	۰/۱۴
	بنذر/گرم	۲/۵۰E+۰۸	۱	۲/۵۱E+۰۵	۶/۲۸E+۱۳	۰/۳۹	۲/۶E+۰۴	۶/۷۲E+۱۲	۰/۰۳
نهاده‌های تجدیدپذیر خریداری شده	نیروی کار/ژول	۲/۲۲E+۰۶	۴	۲/۱۲E+۰۸	۴/۷E+۱۴	۲/۹۳	۳/۵۲E+۰۸	۳/۵۲E+۰۸	۳/۰۶
	جمع			۲/۱۲E+۰۸	۴/۷E+۱۴	۲/۹۳	۳/۵۲E+۰۸	۳/۵۲E+۰۸	۳/۰۶
	کود نیتروژن/گرم	۳/۰۹E+۱۰	۳	۳/۱۵E+۰۵	۹/۷۵E+۱۵	۶۰/۷۹	۲/۵۲E+۰۸	۲/۵۲E+۰۸	۲/۰۹
نهاده‌های تجدیدناپذیر خریداری شده	کود فسفات/گرم	۲/۸۲E+۱۰	۳	۱/۲۹E+۰۵	۲/۶۵E+۱۵	۲۲/۷۵	۵/۰۴E+۰۵	۵/۰۴E+۰۵	۶۱/۱۴
	کود پتاسیم/گرم	۲/۲۲E+۰۹	۵	۱/۴۶E+۰۵	۳/۲۷E+۱۴	۲/۰۴	۱/۱۹E+۰۵	۱/۱۹E+۰۵	۲۶/۵۱
	علف‌کش/گرم	۱/۸۹E+۱۰	۶	۱/۹۸E+۰۳	۳/۷۴E+۱۳	۰/۲۳	۲/۷۱E+۰۳	۲/۷۱E+۰۳	۱/۰۴
نهاده‌های تجدیدناپذیر خریداری شده	قارچ‌کش/گرم	۱/۸۹E+۱۰	۶	۹/۶E+۰۲	۱/۸۱E+۱۳	۰/۱۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰
	حشره‌کش/گرم	۱/۸۹E+۱۰	۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰	۱/۹۴E+۰۳	۱/۹۴E+۰۳	۰/۱۴
	الکتروسیته/ژول	۲/۳۱E+۰۵	۷	۹/۶۱E+۰۸	۲/۲۲E+۱۴	۱/۳۸	۱/۰۴E+۰۹	۱/۰۴E+۰۹	۰/۹۴
جمع	سوخت گازوئیل/ژول	۸/۶E+۰۴	۸	۱/۰۸E+۱۰	۹/۲۷E+۱۴	۵/۷۸	۱/۳۴E+۱۰	۱/۳۴E+۱۰	۴/۵۳
	ماشین‌آلات/گرم	۱/۰۱E+۱۰	۹	۳/۲۸E+۰۴	۳/۳۱E+۱۴	۲/۰۶	۳/۴۳E+۰۴	۳/۴۳E+۰۴	۱/۳۶
	جمع			۸/۷۴E+۱۲	۱/۶E+۱۶	۱۰۰	۴/۲۸E+۱۲	۴/۲۸E+۱۲	۹۵/۸۷
جمع کل			۸/۷۴E+۱۲	۱/۶E+۱۶	۱۰۰	۴/۲۸E+۱۲	۴/۲۸E+۱۲	۱۰۰	

منبع: ۱- فلاحی‌نژاد و همکاران (۲۰۲۱)، ۲- کمبل و اربان (۲۰۱۷)، ۳- برانت-ویلیامز (۲۰۰۲)، ۴- لو و همکاران (۲۰۱۰)، ۵- ادوم (۱۹۹۶)، ۶- هو و همکاران (۲۰۱۰)، ۷- امیری و همکاران (۲۰۱۹)، ۸- باستیانونی و همکاران (۲۰۰۹)، ۹- کمبل و همکاران (۲۰۰۵).

از تمام نهاده‌های خریداری شده بیشترین سهم امرژی مربوط به کود نیتروژن با ۸۳/۸۹ درصد در نظام تولید گندم و حدود ۸۶/۴۸ درصد در نظام تولید ذرت بود (هوشیار و همکاران ۲۰۱۸).

خریداری شده جهت کشت گندم معمولی ۱/۲۹E+۱۶ ام- ژول‌خورشیدی در هکتار محاسبه گردید و بیشترین سهم امرژی مربوط به کود نیتروژن با ۵۷/۸ درصد بود (غالی و پورتر ۲۰۱۳). در پژوهشی دیگر در هر دو نظام کشت گندم و ذرت سهم منابع خریداری شده حدود ۹۷ درصد بود و

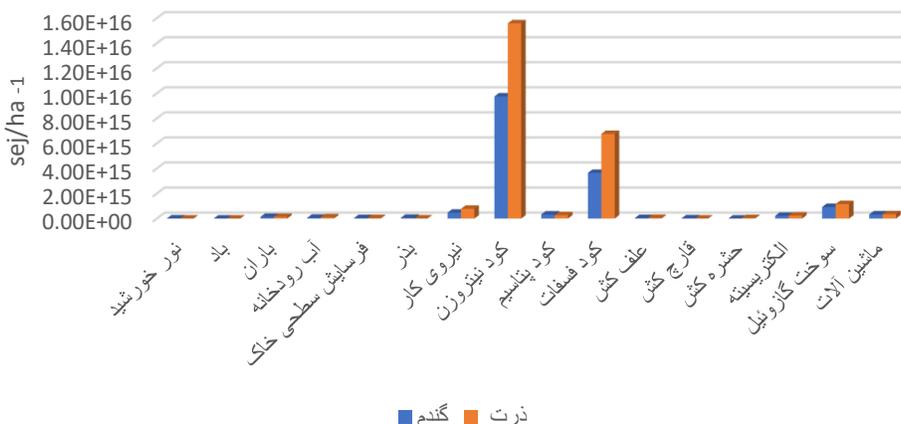
جدول ۲- آنالیز داده‌ها و ارزیابی امرژی مربوط به خروجی‌ها برای هر دو محصول در منطقه مطالعاتی

واحد/متغیر	ضریب تبدیل (sej unit ⁻¹)	منبع	گندم		ذرت	
			مقدار (unit.h ⁻¹)	امرژی (sej)	مقدار (unit.h ⁻¹)	امرژی (sej)
عملکرد دانه (gr)	۱	مطالعه حاضر	۴/۶۵E+۰۶	۱/۰۹E+۱۲	۷/۶۸E+۰۶	۱/۷۳E+۱۲
عملکرد دانه (J)	۱	مطالعه حاضر	۶/۸۴E+۱۰	۱/۶۷E+۱۶	۱/۱۳E+۱۱	۲/۵۵E+۱۶
عملکرد کاه و کلش (gr)	۶/۱E+۰۵	مطالعه حاضر	۲/۸۴E+۰۶	۱/۷۳E+۱۲	۰/۰۰	۰/۰۰
عملکرد کاه و کلش (J)	۶/۱E+۰۵	مطالعه حاضر	۲/۶۳E+۱۰	۱/۶۷E+۱۶	۴۹/۹۹	۰/۰۰
جمع کل				۳/۲۱E+۱۶	۱۰۰	۲/۵۵E+۱۶

ضریب تبدیل برای عملکرد دانه گندم: ۲/۳۵E+۰۵ و ضریب تبدیل برای عملکرد دانه ذرت: ۲/۲۶E+۰۵

جدول ۳- مقایسه میانگین آنالیز امرژی نهاده‌های گندم آبی و ذرت دانه‌ای

Independent samples Test						
امرژی	فرض نابرابری واریانس	فرض برابری واریانس	آزمون Levene's برای برابری واریانس‌ها		آزمون تی برای برابری میانگین‌ها	
			توزیع آماری F	سطح معنی داری sig.	درجه آزادی df	سطح معنی داری (دو طرفه)
			۰/۰۹۷	۰/۷۵۸	۳۸	۰/۹۳۹
					۳۶/۱۰۴	۰/۹۳۹



شکل ۳- نمودار مقایسه مقدار امرژی نهاده‌ها میان کشت گندم آبی و ذرت دانه‌ای در منطقه مطالعاتی

مقایسه شاخص‌های امرژی محصولات مورد نظر

مهمترین شاخص‌هایی که در رابطه با بوم‌نظام‌های کشاورزی برای مقایسه دو نظام کشت گندم و ذرت در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند شامل موارد زیر می‌باشند:

نسبت عملکرد امرژی (EYR): نسبت عملکرد امرژی با تقسیم امرژی کل خروجی بر امرژی ورودی‌های خریداری شده (بازاری) محاسبه می‌شود. این شاخص برای بوم‌نظام گندم و ذرت به ترتیب ۲/۰۳ و ۱/۰۱ بدست آمد که نشان می‌دهد این دو نظام زراعی وابستگی کمی به ورودی‌های رایگان محیطی دارند. همچنین نظام تولید گندم آبی به دلیل مصرف کمتر نهاده‌های خریداری شده، مقدار EYR بالاتری داشت که کارآیی بیشتر این نظام را در مصرف امرژی نشان می‌دهد. در واقع مقدار بالاتر این شاخص مطلوب‌تر می‌باشد. در پژوهشی مشابه در استان هبی کشور چین شاخص نسبت عملکرد امرژی برای بوم‌نظام گندم و ذرت به ترتیب ۱/۱۹ و ۲/۳۵ بدست آمد (وانگ و همکاران ۲۰۱۴).

نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR): این شاخص نسبت کل ورودی‌های امرژی خریداری شده را به کل ورودی‌های رایگان بررسی می‌کند. مقدار EIR برای نظام‌های تولید گندم و ذرت به ترتیب ۶۵/۳۰ و ۹۴/۸۲ محاسبه گردید که این مقادیر وابستگی بیشتر نظام تولید ذرت به نهاده‌های خریداری شده و بهره‌برداری بیشتر نظام تولید گندم را از منابع رایگان محیطی نشان می‌دهند. در واقع اطلاعات پرسشنامه نشان دهنده استفاده غیرمعقول از برخی نهاده‌های خریداری شده توسط کشاورزان از جمله کودهای شیمیایی و سوخت گازوئیل در منطقه مطالعاتی بود که موجب بیشتر شدن این شاخص در بوم‌نظام ذرت دانه‌ای شد، لذا کارایی اقتصادی بوم‌نظام گندم آبی در منطقه مطالعاتی از بوم‌نظام ذرت دانه‌ای بیشتر است. در مطالعه‌ای مشابه در استان فارس شاخص EIR برای نظام‌های تولید گندم و ذرت به ترتیب ۲/۷۴ و ۲/۲۹ گزارش گردید (هوشیار و همکاران ۲۰۱۸).

نسبت خود حمایتی امرژی (ESR): این نسبت از تقسیم امرژی کل ورودی‌های محیطی به امرژی عملکرد محصولات حاصل می‌شود. این شاخص به میزان اتکای نظام زراعی به منابع درونی‌اش اشاره دارد و هر چه مقدار آن بالاتر باشد مطلوب‌تر است. مقدار ESR برای نظام‌های تولید گندم و ذرت در منطقه مطالعاتی به ترتیب ۰/۰۷ و ۰/۱۰ محاسبه گردید. در پژوهشی در استان سیستان شاخص ESR برای کشت خیار گلخانه‌ای ۰/۰۰۰۴ بدست آمد (کوهکن و همکاران ۲۰۱۸).

شاخص پایداری محیط (ESI): این شاخص از تقسیم شاخص نسبت عملکرد امرژی به نسبت بار زیست محیطی حاصل می‌شود. مقدار ESI برای نظام‌های تولید گندم و ذرت به ترتیب ۰/۰۲۶ و ۰/۰۰۹ بدست آمد که نشان می‌دهد مقادیر هر دو نظام نزدیک به هم و بسیار پایین است در نتیجه هر دو نظام زراعی از سطح پایداری مطلوبی برخوردار نیستند و فشار محیطی زیادی وارد می‌کنند. مقدار بالاتر این شاخص در بوم‌نظام تولید گندم در مقایسه با بوم‌نظام ذرت نشان دهنده پایداری اقتصادی بیشتر کشت گندم در منطقه مطالعاتی است. در مطالعه‌ای مشابه در کپنهاگ کشور دانمارک مقدار شاخص ESI برای نظام تولید گندم ۰/۰۳ گزارش گردید (غالی و پورتر ۲۰۱۳).

درصد تجدیدپذیری (R%): از تقسیم ورودی‌های تجدیدپذیر امرژی به کل امرژی ورودی محاسبه می‌شود. شاخص درصد تجدیدپذیری سهم منابع قابل تجدید را از کل منابع تولید نشان می‌دهد و بالا بودن آن به معنی وابستگی بیشتر سیستم به منابع تجدیدپذیر و در نتیجه پایداری بالاتر آن می‌باشد. در این مطالعه درصد تجدیدپذیری برای نظام‌های تولید گندم و ذرت به ترتیب ۴/۶۱ و ۳/۹۹ بدست آمد که نشان می‌دهد پایداری بوم‌نظام گندم در بلندمدت از بوم‌نظام ذرت بیشتر است. در پژوهشی در استان شاندونگ در کشور چین درصد تجدیدپذیری برای کشت ذرت ۰/۲۷ گزارش شد (ژانگ و همکاران ۲۰۱۲).

جدول ۴- فرمول، مشخصات و مقدار شاخص‌های امرژی دو بوم‌نظام گندم و ذرت

منبع	توضیحات	مقدار		فرمول	شاخص‌ها
		ذرت	گندم		
اصغری‌پور و همکاران (۲۰۱۹)	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع محلی رایگان.	$2/31E+14$	$2/06E+14$	R	منابع محیطی تجدیدپذیر
اصغری‌پور و همکاران (۲۰۱۹)	جریان‌های تجدیدناپذیر از منابع محلی رایگان.	$3/52E+13$	$3/53E+13$	N	منابع محیطی تجدیدناپذیر
فلاحی‌نژاد و همکاران (۲۰۲۱)	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع خریداری شده.	$7/87E+14$	$5/33E+14$	FR	نهاده‌های خریداری شده تجدیدپذیر
فلاحی‌نژاد و همکاران (۲۰۲۱)	جریان‌های تجدیدناپذیر از منابع خریداری شده.	$2/44E+16$	$1/53E+16$	FN	نهاده‌های خریداری شده تجدیدناپذیر
فلاحی‌نژاد و همکاران (۲۰۲۱)	کل منابع امرژی مورد نیاز برای حمایت از سیستم تولید.	$2/55E+16$	$1/6E+16$	$U = R+N+ FR+ FN$	کل امرژی ورودی
غالی و پورتر (۲۰۱۳)	کل امرژی محصولات سیستم.	$2/55E+16$	$3/21E+16$	Y	کل امرژی خروجی
فلاحی‌نژاد و همکاران (۲۰۲۱)	تولید یک واحد خروجی بر حسب گرم وزن محصول (PW) انرژژی موجود.	$3/32E+09$	$2/14E+09$	$SE = U/PW$	امرژی ویژه
امیری و همکاران (۲۰۱۹)	درصد امرژی‌های تجدیدپذیر استفاده شده توسط سیستم.	۳/۹۹	۴/۶۱	$\%R = (R+ FR) * 100/U$	درصد تجدیدپذیری
ژانگ و همکاران (۲۰۱۲)	مقیاس استفاده از منابع محیطی با سرمایه گذاری در منابع اقتصادی.	۱/۰۱	۲/۰۳	$EYR = Y / (FR+ FN)$	نسبت عملکرد امرژی
فلاحی‌نژاد و همکاران (۲۰۲۱)	مقیاس شدت سرمایه گذاری اقتصادی و استفاده از منابع محیطی.	۹۴/۸۲	۶۵/۳۰	$EIR = (FR+ FN)/(R+N)$	نسبت سرمایه گذاری امرژی
فلاحی‌نژاد و همکاران (۲۰۲۱)	فشار محیطی ایجاد شده توسط یک سیستم.	۱۰۹/۵۱	۷۶/۶۵	$ELR = (FR+ FN+N)/R$	نسبت بار زیست محیطی
فلاحی‌نژاد و همکاران (۲۰۲۱)	فشار محیطی ایجاد شده توسط یک سیستم. *ELR معیار معکوس پایداری سیستم است.	۲۴/۰۴	۲۰/۶۹	$ELR^* = (N+ FN) / (R+ FR)$	نسبت بار زیست محیطی اصلاح شده
وانگ و همکاران (۲۰۱۴)	مقیاس پایداری سیستم.	۰/۰۰۹	۰/۰۲۶	$ESI = EYR/ELR$	شاخص پایداری محیط
کوهکن و همکاران (۲۰۱۸)	مقیاس سهم محیطی در یک سیستم.	۰/۰۱۰	۰/۰۰۷	$ESR = R+N/Y$	نسبت خود حمایتی امرژی

فشار زیادی بر محیط‌زیست می‌شود. لذا مقدار کمتر این شاخص در بوم نظام گندم، نشان دهنده فشار و بار محیطی کمتر این بوم نظام بوده است. در مطالعه‌ای مشابه در استان فارس شاخص ELR برای نظام‌های تولید گندم و ذرت به ترتیب ۱۱۵/۲۰ و ۵۷۰/۵۴ گزارش گردید (هوشیار و همکاران ۲۰۱۸).

نسبت بار زیست محیطی (ELR): این نسبت از مجموع امرژی نهاده‌های خریداری شده و منابع محیطی تجدیدناپذیر به منابع محیطی (رایگان) تجدیدپذیر حاصل می‌شود. این شاخص برای نظام‌های تولید گندم و ذرت به ترتیب ۷۶/۶۵ و ۱۰۹/۵۱ بدست آمد. مقادیر بالای شاخص ELR در این مطالعه نشان دهنده فشار و تنش محیطی بسیار بالا توسط ورودی‌های بازاری (خریداری شده) و تجدیدناپذیر محیطی دو نظام کشت محصولات مورد نظر است که سبب اعمال

محیطی بالاتر می‌باشد. این شاخص برای نظام‌های تولید گندم آبی و ذرت به ترتیب ۲۰/۶۹ و ۲۴/۰۴ بدست آمد. در پژوهشی در استان خراسان رضوی مقدار شاخص ELR^* برای نظام تولید گندم ۳/۱۳ گزارش شد (فلاحی‌نژاد و همکاران ۲۰۲۱).

بطور کلی جدول ۵ مقایسه شاخص‌های امرژی را برای سیستم‌های کشت محصولات مختلف با مطالعات پیشین نشان می‌دهد.

شاخص نسبت بار زیست محیطی اصلاح شده^{۱۸} (ELR^*): این شاخص از نسبت امرژی‌های منابع تجدیدناپذیر به امرژی‌های منابع تجدیدپذیر محاسبه می‌شود. شاخص ELR^* یا نسخه اصلاح شده نسبت بارگذاری محیطی توسط اورتگا^{۱۹} و همکاران در سال ۲۰۰۲ پیشنهاد شده است (اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹). ELR^* مانند شاخص بار زیست محیطی؛ به فشار محیطی ایجاد شده توسط یک نظام کشاورزی اشاره دارد و بالتبع مقادیر بیشتر ELR^* دقیقاً مانند ELR نشان دهنده فشار و تنش

جدول ۵- مقایسه شاخص‌های امرژی سیستم‌های کشت محصولات مختلف با مطالعات پیشین

منبع	کشور/استان	شاخص‌های امرژی							محصول
		ELR^*	ELR	ESR	ESI	EIR	EYR	$R\%$	
مارتین و همکاران (۲۰۰۶)	آمریکا/کانزاس	-	۱۸/۸۳	-	۰/۰۶	-	۱/۰۷	۰/۰۵	ذرت
	آمریکا/اوهایو	-	۲/۲۳	-	۰/۶۵	-	۱/۴۵	۰/۳۱	توت سیاه
ژانگ و همکاران (۲۰۱۲)	چین/شان‌دونگ	-	۲/۶۷	-	۰/۴۵	-	۱/۲۰	۰/۲۷	ذرت
غالی و پورتر (۲۰۱۳)	دانمارک/کپنهاگ	-	۳۷/۷۷	-	۰/۰۳	-	۱/۰۳	-	گندم
وانگ و همکاران (۲۰۱۴)	چین/هبی	-	۱۰/۵۹	-	۰/۱۱	-	۱/۱۹	-	گندم
		-	۰/۴۷	-	۵/۰۲	-	۲/۳۵	-	ذرت
جعفری و همکاران (۲۰۱۸)	ایران/خراسان جنوبی	-	۱/۳۱	-	۱/۳۰	۱/۴۱	۱/۷۱	۴۳/۲	خرما
		-	۱/۸۲	-	۰/۹۳	۱/۴۵	۱/۶۹	۳۵/۴	پسته
هوشیار و همکاران (۲۰۱۸)	ایران/فارس	-	۱۱۵/۲۰	-	-	۲/۷۴	-	۰/۰۱	گندم
		-	۵۷۰/۵۴	-	-	۲/۲۹	-	-	ذرت
کوهکن و همکاران (۲۰۱۸)	ایران/سیستان	-	۴/۳۴	۰/۰۰۰۴	۰/۲۳	۲۰۸۹	۱	۱۸/۷۵	خیار گلخانه-ای
اصغری‌پور و همکاران (۲۰۱۹)	ایران/مرکزی	۰/۸۶	۱۶/۸۱	-	۰/۰۸	۳/۵۷	۱/۲۸	۵۳/۶۹	لوبیا
		۳/۱۳	۶۳/۵۶	-	۰/۰۴	۰/۸۰	۲/۲۵	۱۱/۵۴	گندم
فلاحی‌نژاد و همکاران (۲۰۲۱)	ایران/خراسان رضوی	۳/۶۴	۶۶/۰۶	-	۰/۰۴	۰/۷۰	۲/۵۶	۹/۰۵	جو
		۱/۳۹	۲۳/۵۶	-	۰/۰۹	۰/۸۴	۲/۱۹	۲۰/۸۱	چغندر قند
		۱/۰۸	۷۹/۶۳	-	۰/۰۱	۸/۴۱	۱/۱۲	۴۴/۱۶	زعفران
مطالعه حاضر	ایران/خوزستان	۲۰/۶۹	۷۶/۶۵	۰/۰۰۷	۰/۰۲۶	۶۵/۳۰	۲/۰۳	۴/۶۱	گندم
		۲۴/۰۴	۱۰۹/۵۱	۰/۰۱۰	۰/۰۰۹	۹۴/۸۲	۱/۰۱	۳/۹۹	ذرت

¹⁹ Ortega

¹⁸ modified environmental load ratio index

نتیجه گیری

محصولات زراعی مانند گندم و ذرت به طور فزاینده‌ای در اراضی حوضه آبریز دز کشت می‌شوند. لذا رسیدن به درک صحیحی از تولید پایدار محصولات زراعی در این منطقه با توجه به تغییر اقلیم، خشکسالی‌های اخیر، ورشکستگی آب در کشور و مصرف بی‌رویه نهاده‌ها؛ که تهدیدی جدی برای کشاورزی و امنیت غذایی هستند، ضروری است. در سال‌های اخیر، ابزار علمی تجزیه و تحلیل امرژی (EA) به طور گسترده در سراسر جهان برای اندازه گیری تأثیر انسان بر طبیعت و تعیین پایداری سیستم‌ها استفاده شده است. مطالعه حاضر با هدف تعیین پایداری اکولوژیکی دو نظام تولید گندم آبی و ذرت دانه‌ای در سطح حوضه آبریز دز تلاش نمود تا از طریق ارزیابی شاخص پایداری مذکور نشان دهد که کشت کدام محصول در منطقه به شرایط پایدار و کارآمد و مطلوب محیطی نزدیک‌تر است. نتایج ارزیابی پایداری هر دو محصول بسیار نزدیک به هم بود به طوری که از کل نهاده‌های مصرفی برای هر دو محصول؛ کودهای شیمیایی بویژه کود نیترات و فسفات و سپس سوخت مصرفی گازوئیل بیشترین تأثیر را بر ناپایداری زیست محیطی در منطقه مطالعاتی داشته‌اند. یافته‌های این مطالعه حساسیت مصرف بیش از حد انرژی نهاده‌ها را در اقتصاد منطقه و عملکرد محیطی به تصویر کشاند. با توجه به اینکه در منطقه مطالعاتی سیستم‌های زراعی بیشتر بر ورودی‌های خریداری شده متکی هستند در نتیجه فشار محیطی بالاتری ایجاد می‌کنند بنابراین در فرآیند تولید هر دو محصول، نیاز بیشتری به نهاده‌های تجدیدناپذیر است که این خود یک عامل کاهنده پایداری سیستم است و باعث عدم تعادل بیلان انرژی می‌گردد که نشان می‌دهد وضعیت سیستم‌های فعلی تولید محصولات کشاورزی در ایران نگران کننده است. لذا

تکیه بیشتر بر استفاده بهینه از منابع انرژی تجدیدپذیر بجای منابع تجدیدناپذیر نکته کلیدی در پایداری نظام‌های تولید است. بنابراین با توجه به عدم نظارت صحیح بر روش تولید محصولات کشاورزی و وابستگی بالای نظام‌های تولید به نهاده‌های تجدیدناپذیر در این مطالعه به منظور بهینه سازی مصرف این ورودی‌ها و افزایش پایداری محیطی و اقتصادی؛ آموزش زارعین در خصوص مصرف به اندازه کودها و سموم شیمیایی، بکارگیری سیاست‌هایی با هدف ترویج کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر و سرمایه گذاری بر روی این منابع توسط دولت، ایجاد فرصت‌های شغلی در میان کشاورزان، حمایت مالی از زارعین توسط دولت جهت نوسازی ماشین آلات کشاورزی فرسوده و الکتروپمپ‌ها و جایگزین نمودن پمپ‌های برقی، استفاده از فناوری نانو در کشاورزی، ترویج استفاده از سوخت سبز جهت جایگزینی سوخت‌های فسیلی برای اهداف حمل و نقل همراه با آبیاری نوین توصیه می‌گردد. به عنوان نتیجه نهایی، در تحلیل امرژی مشخص گردید که بوم نظام تولید گندم آبی از لحاظ عملکرد، تجدیدپذیری و پایداری محیطی از بوم نظام تولید ذرت دانه‌ای مطلوب‌تر است و تولید گندم در منطقه نظام برتر برای دستیابی به پایداری نسبت به تولید ذرت است. بنابراین تولید هر دو کشت بویژه ذرت باید با بالاترین دقت و در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی در منطقه انجام گیرد. از آنجایی که در ایران مطالعات علمی کمی در مورد مدیریت پایداری مزارع کشاورزی وجود دارد بنابراین ادامه دادن تحقیقات بیشتر و ایده پردازی در این زمینه ارزشمند است.

سپاسگزاری

از کلیه زارعین محترم تحت پوشش شبکه آبیاری دز که در انجام این مطالعه ما را یاری نمودند سپاسگزاری می‌گردد.

منابع مورد استفاده

- Anonymous. Annual agricultural statistics. 2019. Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. Available from. <http://www.maj.ir>.
- Anonymous. Khuzestan province annual meteorological report. 2018. Iran Meteorological Organization. Available from. <http://www.weather.ir>.
- Ahmadi F, Radmanesh F, Parham GhA and Mirabbasi Najafabadi R. 2017. Application of Archimedean copula functions in flood frequency analysis (Case study: Dez basin). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(3): 477-489. (In Persian).
- Amiri Z, Asgharipour MR, Campbell DE and Armin M. 2019. A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran, based on emergy and economic analyses. *Journal of Cleaner Production*, 226: 1051-1066.
- Amiri Z, Asgharipour MR, Campbell DE and Armin M. 2020. Extended exergy analysis (EAA) of two canola farming systems in Khorramabad, Iran. *Agricultural Systems*, 180: 102789.
- Asgharipour MR, Shahgholi H, Campbell DE, 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): 1-21.
- Bastianoni S, Campbell DE, Ridolfi R and Pulselli FM. 2009. The solar transformity of petroleum fuels. *Ecological Modelling*, 220(1): 40-50.
- Brandt-Williams SL. 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.
- Campbell DE, Brandt-Williams, SL and Meisch MEA. 2005. *Environmental accounting using emergy: Evaluation of the state of West Virginia*. U.S. Environmental Protection Agency, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Atlantic Ecology Division, Narragansett.
- Campbell DE and Erban LE. 2017. A reexamination of the emergy input to a system from the wind. *Emergy Synthesis*, 9: 13-20.
- Fallahinejad S, Armin M and Asgharipour MR. 2021. A survey on the ecological sustainability of introducing new crops in the cropping pattern using emergy approach. *Current Research in Environmental Sustainability*, 3: 100083.
- Ghaley BB and Porter JR. 2013. Emergy synthesis of a combined food and energy production system compared to a conventional wheat (*Triticum aestivum*) production system. *Ecological Indicators*, 24: 534-542.
- Houshyar E, Wu XF and Chen GQ. 2018. Sustainability of wheat and maize production in the warm climate of southwestern Iran: an emergy analysis. *Journal of Cleaner Production*, 172: 2246-2255.
- Hu S, Mo X, Lin Z and Qiu J. 2010. Emergy assessment of a wheat-maize rotation system with different water assignments in the North China Plain. *Environmental Management*, 46(4): 643-657.
- Jafari M, Asgharipour MR, Ramroudi M, Galavi M and Hadarbadi G. 2018. Sustainability assessment of date and pistachio agricultural systems using energy, emergy and economic approaches. *Journal of Cleaner Production*, 193: 642-651.
- Ke J, Wang B and Yoshikuni Y. 2021. Microbiome engineering: synthetic biology of plant-associated microbiomes in sustainable agriculture. *Trends in Biotechnology*, 39(3): 244-261.

- Koohkan SA, Ghanbari A, Asgharipour MR and Fakheri BA. 2018. Emergy Analysis of Greenhouse Cucumber Production in Sistan Region. *International Journal of Agricultural Management and Development*, 8(3): 377-387.
- Lu H, Bai Y, Ren H and Campbell DE. 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): 2727-2735.
- Martin JF, Diemont SA, Powell E, Stanton M and Levy-Tacher S. 2006. Emergy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 115(1-4): 128-140.
- Nathaniel SP, Nwulu N and Bekun F. 2021. Natural resource, globalization, urbanization, human capital, and environmental degradation in Latin American and Caribbean countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(5): 6207-6221.
- Odum HT. 1996. *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making*. New York, US: Wiley.
- Pata UK. 2021. Linking renewable energy, globalization, agriculture, CO₂ emissions and ecological footprint in BRIC countries: A sustainability perspective. *Renewable Energy*, 173: 197-208.
- Pilevar AR, Matinfar HR, Sohrabi A and Sarmadian F. 2020. Integrated fuzzy, AHP and GIS techniques for land suitability assessment in semi-arid regions for wheat and maize farming. *Ecological Indicators*, 110: 105887.
- Sarkar D, Kar SK, Chattopadhyay A, Rakshit A, Tripathi VK, Dubey PK and Abhilash PC, 2020. Low input sustainable agriculture: A viable climate-smart option for boosting food production in a warming world. *Ecological Indicators*, 115: 106412.
- Sarkodie SA, Strezov V, Weldekidan H, Asamoah EF, Owusu PA and Doyi INY. 2019. Environmental sustainability assessment using dynamic autoregressive-distributed lag simulations-nexus between greenhouse gas emissions, biomass energy, food and economic growth. *Science of the Total Environment*, 668: 318-332.
- Shahhoseini HR, Ramroudi M, Kazemi H. 2020. Evaluating the Resources Use Efficiency and Sustainability Indices for Two Potato Production Systems using Emergy Analysis (Case Study: Gorgan city). *Journal of Agroecology*, 12 (1): 127-142. (In Persian).
- Silalertruksa T and Gheewala SH. 2018. Land-water-energy nexus of sugarcane production in Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 182: 521-528.
- Singh RP, Handa R and Manchanda G. 2021. Nanoparticles in sustainable agriculture: An emerging opportunity. *Journal of Controlled Release*, 329: 1234-1248.
- Vito RD, Portoghese I, Pagano A, Fratino U and Vurro M. 2017. An index-based approach for the sustainability assessment of irrigation practice based on the water-energy-food nexus framework. *Advances in Water Resources*, 110: 423-436.
- Wang X, Chen Y, Sui P, Gao W, Qin F, Zhang J and Wu X. 2014. Emergy analysis of grain production systems on large-scale farms in the North China Plain based on LCA. *Agricultural Systems*, 128: 66-78.
- Wang X, Tan W, Zhou S, Xu Y, Cui T, Gao H, Chen M, Dong X, Sun H, Yang J and Wu Y. 2021. Converting maize production with low emergy cost and high economic return for sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 136: 110443.
- Zhang LX, Song B and Chen B. 2012. Emergy-based analysis of four farming systems: insight into agricultural diversification in rural China. *Journal of Cleaner Production*, 28: 33-44.

پیوست:

بوم‌نظام گندم

- ۱- انرژی تابشی خورشیدی (J/ha): (مساحت (m²), (۱۰,۰۰۰) * (دوره رشد گیاهی (روز), (۲۲۵) * (۱- ضریب آلبیدو, (۰/۸۸) * (میزان تابش انرژی خورشید (J), (۴,۴۰۲,۱۳۸) = ۸/۷۱۶۲۳E+۱۲ J/ha
- ۲- انرژی جنبشی باد (J/ha): (مساحت (m²), (۱۰,۰۰۰) * (دوره رشد گیاهی (ثانیه), (۱۹,۴۴۰,۰۰۰) * (سرعت باد (متر بر ثانیه), (۱/۵) * (چگالی هوا (kg/m³), (۱/۳) * (ضریب درگ, (۰/۰۰۳) = ۱,۱۳۷,۲۴۰,۰۰۰ J/ha
- ۳- انرژی جنبشی باران (J/ha): (مساحت (m²), (۱۰,۰۰۰) * (میانگین بارش سالیانه (m), (۰/۳۷۵) * (چگالی آب (g/m³), (۱,۰۰۰,۰۰۰) * (انرژی آزاد گیسی (kg/m³), (۴/۹۴) * (درصد رواناب, (۰/۳۱۷) = ۵,۸۷۲,۴۲۵,۰۰۰ J/ha
- ۴- انرژی جنبشی فرسایش خاک سطحی (J/ha): (مساحت (m²), (۱۰,۰۰۰) * (میزان فرسایش (تن در کیلومتر مربع), (۸۷۴/۲) * (میزان مواد آلی (کیلوگرم در کیلوگرم), (۰/۰۰۸) * (محتوای انرژی مواد آلی (کیلوکالری در کیلوگرم), (۵,۴۰۰) = ۳۷۷,۶۵۴,۴۰۰ J/ha
- ۵- انرژی جنبشی فرسایش آب آبیاری (J/ha): (مساحت (m²), (۱۰,۰۰۰) * (میزان آب مصرفی (مترمکعب در هکتار), (۶۷۷/۵۹) * (انرژی آزاد گیسی (kg/m³), (۴/۹۴) = ۳۳۴,۴۶۷,۱۴۶ J/ha
- ۶- انرژی الکتریسیته (J/ha): (میزان انرژی مصرف شده (کیلووات ساعت در هکتار), (۲۶۷/۰۲) * (ضریب تبدیل, (۳,۶۰۰,۰۰۰) = ۹۶۱,۲۷۲,۰۰۰ J/ha
- ۷- انرژی سوخت ماشین آلات (J/ha): (میزان سوخت مصرف شده (لیتر), (۲۳۰/۸۳) * (ضریب تبدیل, (۴۶,۷۰۰,۰۰۰) = ۱۰,۷۷۹,۷۶۱,۰۰۰ J/ha
- ۸- وزن ماشین آلات (گرم در هکتار): (وزن ماشین آلات استفاده شده (گرم), (۱۱,۶۴۰,۰۰۰) * (عمر مفید اقتصادی ماشین آلات (سال), (۲۵) * (مجموع ساعات کارکرد سالانه ماشین آلات (ساعت), (۵۴۰) * (مجموع ساعات کارکرد سالانه ماشین آلات در هکتار (ساعت), (۳۸) = ۳۲۷۶۴,۴۴۴۴۴
- ۹- انرژی نیروی کارگری (J/ha): (میزان انرژی نیروی انسانی (ژول) = (مجموع ساعات صرف شده در هر هکتار (۱۰۸ ساعت برای گندم) * ضریب تبدیل انرژی (۱,۹۶۰,۰۰۰) = ۲۱۱,۶۸۰,۰۰۰ J/ha

بوم‌نظام ذرت

- ۱- انرژی تابشی خورشیدی (J/ha): (مساحت (m²), (۱۰,۰۰۰) * (دوره رشد گیاهی (روز), (۱۱۰) * (۱- ضریب آلبیدو, (۰/۸۸) * (میزان تابش انرژی خورشید (J), (۴,۴۰۲,۱۳۸) = ۴/۲۶۱۲۷E+۱۲ J/ha
- ۲- انرژی جنبشی باد (J/ha): (مساحت (m²), (۱۰,۰۰۰) * (دوره رشد گیاهی (ثانیه), (۹,۵۰۴,۰۰۰) * (سرعت باد (متر بر ثانیه), (۱/۵) * (چگالی هوا (kg/m³), (۱/۳) * (ضریب درگ, (۰/۰۰۳) = ۵۵۵,۹۸۴,۰۰۰ J/ha
- ۳- انرژی جنبشی باران (J/ha): (مساحت (m²), (۱۰,۰۰۰) * (میانگین بارش سالیانه (m), (۰/۳۷۵) * (چگالی آب (g/m³), (۱,۰۰۰,۰۰۰) * (انرژی آزاد گیسی (kg/m³), (۴/۹۴) * (درصد رواناب, (۰/۳۱۷) = ۵,۸۷۲,۴۲۵,۰۰۰ J/ha
- ۴- انرژی جنبشی فرسایش خاک سطحی (J/ha): (مساحت (m²), (۱۰,۰۰۰) * (میزان فرسایش (تن در کیلومتر مربع), (۸۷۴/۲) * (میزان مواد آلی (کیلوگرم در کیلوگرم), (۰/۰۰۸) * (محتوای انرژی مواد آلی (کیلوکالری در کیلوگرم), (۵,۴۰۰) = ۳۷۷,۶۵۴,۴۰۰ J/ha
- ۵- انرژی جنبشی فرسایش آب آبیاری (J/ha): (مساحت (m²), (۱۰,۰۰۰) * (میزان آب مصرفی (مترمکعب در هکتار), (۹۸۶۳/۲۴) * (انرژی آزاد گیسی (kg/m³), (۴/۹۴) = ۴۸۷,۲۴۴,۰۵۶ J/ha
- ۶- انرژی الکتریسیته (J/ha): (میزان انرژی مصرف شده (کیلووات ساعت در هکتار), (۲۸۹/۰۱) * (ضریب تبدیل, (۳,۶۰۰,۰۰۰) = ۱,۰۴۰,۴۳۶,۰۰۰ J/ha
- ۷- انرژی سوخت ماشین آلات (J/ha): (میزان سوخت مصرف شده (لیتر), (۲۸۷/۷۱) * (ضریب تبدیل, (۴۶,۷۰۰,۰۰۰) = ۱۳,۴۳۶,۰۵۷,۰۰۰ J/ha
- ۸- وزن ماشین آلات (گرم در هکتار): (وزن ماشین آلات استفاده شده (گرم), (۱۲,۱۷۰,۰۰۰) * (عمر مفید اقتصادی ماشین آلات (سال), (۲۵) * (مجموع ساعات کارکرد سالانه ماشین آلات (ساعت), (۵۴۰) * (مجموع ساعات کارکرد سالانه ماشین آلات در هکتار (ساعت), (۳۸) = ۳۴۲۵۶,۲۹۶۳۳
- ۹- انرژی نیروی کارگری (J/ha): (میزان انرژی نیروی انسانی (ژول) = (مجموع ساعات صرف شده در هر هکتار (۱۷۹/۳۸) * ضریب تبدیل انرژی (۱,۹۶۰,۰۰۰) = ۳۵۱,۵۸۴,۸۰۰ J/ha

شایان ذکر است که در مورد سایر فاکتورها از جمله بذر، کودها و سموم به دلیل اینکه واحد ورودی گرم است بنابراین نیازی به فرمول جهت تبدیل واحدها نمی‌باشد و همان مقدار مصرف شده به گرم به ازای هر هکتار در جدول انرژی وارد گردید. نهایتاً تمام ورودی‌ها از طریق ضرب شدن در ضریب‌های تبدیل خورشیدی، به انرژی خورشیدی تبدیل شده‌اند.