Plant Prod., 2024, 47(2), 179-193
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2020.32356.1871
Received: 22 January 2022
Accepted: 19 November 2022

Plant Productions
Research Article

The impact of conventional, sustainable, and organic farming systems on grain yield and energy use efficiency in sesame (*Sesamum indicum* L.), mung bean (V*igna radiate* L.) and maize (*Zea mays* L.)

Aram Gorooei[1], Amir Aynehband[2*], Afrasyab Rahnama[3]

1- PhD Candidate in Agronomy, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
3- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Citation: Gorooei, A., Aynehband, A., Rahnama, A. (2024). The impact of conventional, sustainable, and organic farming systems on grain yield and energy use efficiency in sesame (*Sesamum indicum* L.), mung bean (*Vigna radiate* L.) and maize (*Zea mays* L.). *Plant Productions*, 47(2),179-193

Abstract

Background and objective

Considering the limited natural resources and the negative effects of inappropriate use of these resources on both human health and environment, addressing the patterns of energy consumption remains vital (Baran and Gokdogan, 2017; Ozkan *et al*, 2004).

Materials and methods

This study was conducted at the research farm of Shahid Chamran University of Ahvaz in the summer of 2018. Experimental design was split-plot based on randomized complete block design with three replications. Main plots consisted of agriculture production systems; intensive (all inputs e.g., fertilizers, herbicides, and pesticides were chemical), sustainable (a combination of organic and intensive methods were used to manage this farming system), and organic (in this farming system, all inputs were organic and biological, no chemical fertilizers were applied. control of weeds was done mechanically). Sub plots consisted of three crops; corn (cereal), mung bean (legume) and sesame (oil seed). In this study, energy efficiency indices were calculated by measuring the energy equivalent of all inputs and outputs.

* **Corresponding Author: Amir Aynehband**
E-mail: aynehband@scu.ac.ir

© 2024 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

Results

Results showed that the highest and lowest grain yields for corn, mung bean and sesame were obtained in the intensive and organic systems, respectively. The lowest (1.18) and highest (3.69) energy use efficiencies were belonged to intensive sesame and organic corn, respectively. The highest amount of energy consumed (34396 $MJha^{-1}$) was observed in intensive corn and the lowest with the value of 8247 MJ ha^{-1} was belonged to the organic mung bean. Additionally, intensive corn presented the highest (94045 MJ) output energy. On the other hand, organic mung bean showed the lowest value of the output energy (15279 MJ). Intensive corn and organic sesame had the highest and lowest amounts of net energy indices with the values of 59649 and 7032, respectively. Although corn yield in the organic system was nearly 30 percent lower than in the intensive system, energy consumption for organic corn was 50 percent lower than for intensive corn

Conclusion

To design an appropriate agroecosystem, it is necessary to consider a collection of agroecological indices e.g., energy use efficiency, net energy, energy utilization index, special energy, as well as crop production history and agricultural culture (human resource productivity index, agrochemical energy, greenhouse gas emission) to find a balance between both factors based on each region.

Key words: Agriculture systems, Corn, Net energy index, Renewable energy, Sustainable agriculture

تولیدات گیاهی، ۱۴۰۳، ۴۷(۲)،۱۷۹-۱۹۳
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2020.32356.1871
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۸

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

تأثیر نظام‌های کشاورزی رایج، پایدار و زیستی بر عملکرد دانه و کارآیی استفاده از انرژی در گیاهان کنجد، ماش و ذرت

آرام گوروئی[۱]، امیر آینه‌بند[۲*] ، افراسیاب راهنما[۳]

۱-دانشجوی دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
۲-استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۳-دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

چکیده

با توجه به منابع طبیعی محدود و اثرات سوء ناشی از عدم استفاده صحیح از منابع مختلف انرژی بر سلامت انسان و محیط زیست لزوم، بررسی الگوی مصرف انرژی در بخش کشاورزی امری ضروری به‌نظر می‌رسد. بر این اساس آزمایش در تابستان سال ۱۳۹۸ در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. آزمایش به‌صورت طرح کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی نوع سیستم کشاورزی در سه سطح شامل کشاورزی رایج (تمامی نهاده‌های مصرفی شامل کود، علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها به‌صورت شیمیایی)، پایدار (نهاده‌های ورودی تلفیقی از شیمیایی و آلی) و زیستی (نهاده‌های مصرفی به‌صورت کاربرد کودهای آلی و بیولوژیک بودند و از هیچ گونه کود و سم شیمیایی در این سیستم کشاورزی استفاده نشد، مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت مکانیکی انجام گرفت) و فاکتور فرعی شامل کاشت سه گیاه زراعی ماش، ذرت و کنجد بود. نتایج این آزمایش نشان داد که عملکرد دانه هر سه گیاه ماش، ذرت و کنجد در شرایط کشاورزی رایج بیشترین و در شرایط زیستی کمترین مقدار را دارا بود. کمترین (۱/۱۸) و بیشترین (۳/۶۹) کارآیی مصرف انرژی به‌ترتیب در تولید کنجد به روش رایج و تولید ذرت به‌روش زیستی به‌دست آمد. بیشترین (۳۴۳۹۶ مگاژول) و کمترین (۸۲۴۷ مگاژول) انرژی مصرفی نیز به‌ترتیب مربوط به تولید ذرت به‌روش رایج و تولید ماش به‌روش زیستی بود. به‌علاوه مشخص شد که تولید رایج ذرت به طور معنی داری بیشترین انرژی خروجی (۹۴۰۴۵/۰۹ مگاژول) را داشت. درحالی که تولید ماش به روش زیستی کمترین (۱۵۲۷۹ مگاژول) انرژی خروجی را تولید کرد. ذرت رایج بیشترین (۵۹۶۴۹ مگاژول در هکتار) مقدار شاخص انرژی خالص را داشت، در حالی‌که در کنجد بیشترین شاخص انرژی خالص (۷۰۳۲ مگاژول در هکتار) در روش زیستی حاصل شد. از سوی دیگر روند تغییرات به‌گونه‌ای بود که عملکرد ذرت زیستی در مقایسه با عملکرد ذرت رایج حدود ۳۰ درصد کاهش یافت. اما میزان کاهش انرژی مصرفی ذرت در روش زیستی نسبت به رایج حدود ۵۰ درصد بود.

کلید واژه ها: انرژی‌های تجدیدپذیر، بوم‌نظام‌های کشاورزی، ذرت، شاخص انرژی خالص، کشاورزی پایدار

* **نویسنده مسئول: امیر آینه‌بند**
رایانامه: aynehband@scu.ac.ir

مقدمه

پایداری در کشاورزی در نتیجه ایجاد تعادل بین سه عامل میزان تولید، توجه به مسایل زیست‌محیطی و درآمد اقتصادی تحقق خواهد یافت. از آنجایی‌که در حال نزدیک شدن به محدوده نهایی مصرف انرژی در کشاورزی رایج نزدیک شده‌ایم، استفاده از شاخص‌های زیست محیطی برای مقایسه نظام‌های مختلف تولید محصولات زراعی معیاری جهت تعیین کارآمدی اکولوژیکی سیستم‌ها خواهد بود (Alluvione *et al.*,2011). ذرت پس از گندم و برنج، به‌عنوان سومین محصول راهبردی کشاورزی در جهان، حائز اهمیت است. این فرآورده کشاورزی ارزشمند، علاوه بر آنکه حدود ۷۰ درصد از خوراک طیور را فراهم می‌آورد، دانه‌ای سودمند برای تولید روغن خوراکی، نشاسته، گلوکز، ماده‌ی اولیه در تولیدات صنعتی و چند فرآورده دیگر است. با توجه به اینکه استان خوزستان دارای بیش از یک‌سوم آب‌های شیرین کشور، خاک حاصلخیز و شرایط اقلیمی مناسب جهت توسعه کشاورزی است بنابراین شناخت مزیت‌های منطقه و طراحی الگوی مناسب کشت بر اساس مزیت‌های نسبی با توجه به نیازمندی‌ها، نوع و میزان انرژی‌های مصرفی و الگوهای مناسب زیست‌محیطی ضروری به‌نظر می‌رسد (Hosseini and Abedi., 2007). کشاورزی پایدار و کارآمد به لحاظ انرژی در حقیقت دربرگیرنده استفاده بهینه از منابع انرژی غیرتجدیدپذیر و همچنین جایگزینی فزاینده منابع انرژی تجدیدپذیر به جای غیرتجدیدپذیر خواهد بود. بر این اساس که آگاهی از میزان انرژی‌های مصرفی و تولید شده در نظام‌های مختلف کشت برای ارزیابی این نکته که چگونه کارآیی استفاده از انرژی بهبود یابد ضمن اینکه کمیت تولید محصول نیز حفظ شود، امری ضروری است (Dalgaard *et al.*, 2001). سیستم‌های زراعی غیر رایج (مانند پایدار و زیستی) راهکارهایی کلان‌نگر هستند که شامل اصول و روش‌هایی است که نهاده‌های ورودی را از طریق شخم حفاظتی، استفاده از ارقام مقاوم، استفاده کارآمد از سموم و مدیریت هدفمند کاربرد کودها کاهش داده و تنوع زیستی به‌خصوص تنوع گیاهان زراعی را افزایش می‌دهند. تغییر از تک‌کشتی رایج گیاهان زراعی به تناوب زراعی باعث افزایش تنوع زیستی جوامع زراعی و غیر زراعی خواهد شد (Dalgaard *et al.*, 2001; Deike *et al*, 2008). به‌طور کلی از زمان انقلاب سبز که باعث افزایش مصرف انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم در بخش تولید محصولات زراعی شد، هر دو جز انرژی ورودی و خروجی در بخش کشاورزی به‌طور مداوم در حال افزایش است. در این شرایط اگرچه عملکرد گیاهان زراعی بهبود یافته ولی در مقابل کارآیی استفاده از انرژی کاهش یافته است (۲۴). بنابراین افزایش کارآیی مصرف انرژی امروزه یک مفهوم کلیدی برای دستیابی به پایداری مطلوب در بخش کشاورزی از دو جنبه‌ی مسائل زیست محیطی و درآمد اقتصادی شده است. در این ارتباط فیض‌بخش و سلطانی (Feyzbakhsh and Soltani., 2013) گزارش دادند که بیشترین انرژی ورودی مستقیم در مزارع ذرت مربوط به سوخت و غیرمستقیم مربوط به کود نیتروژن و بقایای گندم است. به‌علاوه بیان شده که در میان نهاده‌های مصرفی برای کشت کنجد کودهای شیمیایی بیشترین میزان انرژی مصرفی غیرمستقیم (۳۷ درصد) را به خود اختصاص دادند (Loghmanpour zarini and Nabipour Afroozi, 2017). نکته کلیدی در مصرف انرژی در بخش زراعت گسترش سطح زیر کشت زمین‌های زراعی برای تولید محصول و همچنین افزایش استفاده از تکنولوژی‌های کارآمد، همچون تجهیزات مدرن آبیاری و مکانیزاسیون مطلوب است. زیرا اینگونه سیستم‌های زراعی به‌طور فزآینده‌ای انرژی ورودی خود را افزایش داده‌اند. لذا ضروری است که کارآیی استفاده از انرژی در این سیستم‌ها مورد توجه قرار گیرد. محققان با مقایسه دو سیستم کشت ارگانیک و رایج تولید برنج که در دو استان مازندران و گیلان مورد بررسی قرار گرفت، نشان

دادند که بیشترین درصد ورودی‌های انرژی مربوط به کشت رایج بوده که از این میان سوخت با ۴۸ درصد بیشترین سهم انرژی ورودی را دارا بود (جدول ۳) (Mansoori *et al*., 2012). بیان شده میزان انرژی مصرفی در تولید سیب‌زمینی به روش زیستی تقریباً ۲۶ تا ۳۵ درصد کمتر از روش رایج است. همچنین مصرف سوخت‌های فسیلی در تولید گندم به روش زیستی به میزان ۳۲ تا ۷۱ درصد کمتر از تولید به روش رایج گزارش شد. محققان نشان دادند که بیشترین انرژی ورودی مستقیم در مزارع ذرت مربوط به سوخت و غیرمستقیم مربوط به کود نیتروژن و بقایای گندم است. آن‌ها در ادامه نشان دادند که قسمت اعظم انرژی مصرفی در هر سه روش کاشت به صورت کم‌نهاده، متوسط‌نهاده و پرنهاده مربوط به انرژی غیرتجدیدپذیر است (Feyzbakhsh and Soltani.,2013; Lin *et al*., 2017).

بنابراین هدف از انجام این آزمایش بررسی انرژی‌های ورودی و خروجی و ارزیابی شاخص‌های کارآیی انرژی در نظام‌های مختلف کشت (رایج، پایدار و زیستی) برای سه گیاه زراعی ذرت، ماش و کنجد بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در تابستان سال زراعی ۱۳۹۸ در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز با موقعیت جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی (طول جغرافیایی) و ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی (عرض جغرافیایی) با ارتفاع ۲۲/۵ از سطح دریا اجرا شد. آزمایش به‌صورت طرح کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب پایه بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی نوع سیستم کشاورزی در سه سطح شامل ۱- کشاورزی رایج (رایج): شرایطی که تمامی نهاده‌های کودی (میزان N- P- K به ترتیب برای ماش معادل ۵۰-۵۰- ۳۰ ؛ کنجد: ۵۰-۵۰- ۷۵، ذرت: ۱۰۰- ۱۰۰- ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و مبارزه با آفات در این سیستم به‌صورت شیمیایی (استفاده از سم رانداپ قبل از کاشت برای کنترل علف هرز غالب مزرعه (مرغ)) انجام گرفت. مدیریت بقایا در این سیستم کشاورزی صورت نگرفت. ۲- کشاورزی پایدار: این سیستم تلفیقی از زیستی و رایج بود که در آن از نهاده‌های کودی شیمیایی (۵۰ درصد مقدار استفاده شده در کشاورزی رایج) و غیرشیمیایی (برای گیاهان ماش و کنجد معادل پنج تن در هکتار کمپوست و دو و نیم تن در هکتار ورمی‌کمپوست و برای گیاه ذرت معادل پنج تن در هکتار کمپوست و پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست) استفاده شد. مبارزه با آفات به‌صورت تلفیقی صورت گرفت (استفاده از سم رانداپ با غلظتی معادل یک دوم شرایط رایج و وجین دستی). همچنین ۱۵ درصد از بقایای گیاهی سال قبل (گندم، معادل ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار) به خاک برگردانده شد. ۳- کشاورزی زیستی: در این سیستم تمامی نهاده‌های کودی به‌صورت آلی و غیرشیمیایی بود به‌گونه‌ای که برای گیاهان ماش و کنجد معادل ۱۰ تن در هکتار کمپوست و پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست و برای ذرت معادل ۱۰ تن در هکتار کمپوست و ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست استفاده شد. مبارزه با آفات و بیماری‌ها به‌صورت مکانیکی انجام شد. به‌علاوه ۳۰ درصد از بقایای گیاهی سال قبل (گندم، معادل ۵۴۰ کیلوگرم در هکتار) به خاک برگردانده شد. فاکتور فرعی نوع گیاه زراعی تابستانه در تناوب با گندم زمستانه شامل گیاهان زراعی ماش، ذرت و کنجد بود. پس از محاسبه کل وزن خشک کاه گندم در متر مربع ۱۵ و ۳۰ درصد آن به‌ترتیب در مدیریت کشاورزی به‌صورت پایدار و زیستی به خاک برگردانده شد. واحدهای آزمایشی به‌صورت جوی و پشته با فاصله یک متر بین تیمارهای مختلف تنظیم و برای هر واحد آزمایشی پنج پشته با طول سه متر در نظر گرفته شد. برای کنجد و ماش فاصله بین دو پشته ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر بود (Noreian *et al*, 2016؛ Mazrae *et al*, 2019). برای ذرت فاصله دو پشته ۷۵ سانتی‌متر و فاصله دو بوته روی ردیف ۱۸

سانتی‌متر بود (Parihar *et al*, 2017). خاک مزرعه مورد مطالعه دارای میزان ۰/۳۹ درصد نیتروژن، ۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر، ۱۵۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم، هدایت الکتریکی ۳/۴ دسی‌زیمنس بر متر، اسیدیته ۷/۸ و بافت لومی- شنی بود. کشت قبل از این آزمایش گندم با مدیریت کودهای بیولوژیک بود. میزان کود مصرفی بر اساس نیز کودی هر گیاه بر اساس دستورالعمل سازمان مرکز تحقیقات کشاورزی و آزمون خاک اعمال گردید. خاکورزی بر اساس عرف منطقه و با استفاده از گاوآهن برگرداندار انجام شد. اولین آبیاری همزمان با تاریخ کاشت هر کدام از گیاهان مورد مطالعه بود. بذر از سازمان مرکز تحقیقات کشاورزی اهواز تهیه شد. سایر خصوصیات زراعی برای ماش: تراکم بوته ۴۰۰ هزار بوته در هکتار، رقم CN- 9- 3، تاریخ کاشت ۱۵ تیرماه سال ۹۷ و تاریخ برداشت اواسط مهر ۱۳۹۷. کنجد: تراکم بوته ۲۰۰ هزار بوته در هکتار، رقم داراب ۱۴، تاریخ کاشت ۱۵ تیرماه سال ۹۷ و تاریخ برداشت اواخر مهر ۱۳۹۷، ذرت: تراکم بوته ۷۵ هزار بوته در هکتار، رقم S.C.704، تاریخ کاشت چهار مرداد سال ۹۷ و تاریخ برداشت اواسط آبان ۱۳۹۷. برداشت برای همه‌ی گیاهان مورد مطالعه در مساحتی معادل دو متر مربع صورت گرفت. در این مطالعه کلیه نهاده‌های ورودی و خروجی (عملکرد دانه) برای تعیین روابط انرژی بررسی شدند. سوخت و متحرک‌ها (مثل تراکتور) و نیروهای زیستی (انسان و حیوان) منابع انرژی مستقیم در این مطالعه هستند و بیوماس گیاه زراعی (بذر و بقایا)، کودهای شیمیایی، سموم و ماشین‌آلات در گروه انرژی غیرمستقیم تقسیم‌بندی شدند (Uhlin.,1999).

شاخص‌های انرژی با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه گردید:

۱) کارآیی مصرف انرژی = انرژی خروجی (مگاژول در هکتار) به انرژی ورودی (مگاژول در هکتار) (Tuti *et al*., 2012)

۲) بهره‌وری انرژی= عملکرد گیاه (کیلوگرم در هکتار) به انرژی ورودی (مگاژول در هکتار) (Chaudhary *et al*., 2009)

۳) انرژی ویژه= انرژی ورودی (مگاژول در هکتار) به عملکرد گیاه (کیلوگرم در هکتار) (Rafiee *et al*., 2010)

۴) انرژی خالص= انرژی خروجی (مگاژول در هکتار) – انرژی ورودی (مگاژول در هکتار) (Dal Ferro *et al*., 2017)

۵) انرژی اگروشیمیایی= انرژی ورودی با منبع شیمیایی سنتزی (مگاژول در هکتار) – کل انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)(Lorzadeh at al., 2012)

۶) انتشار دی‌اکسیدکربن= مصرف سوخت (لیتر در هکتار) × ۲/۳ (Ghazvineh & Yousefi., 2013)

۷) بهره‌وری نیروی انسانی= عملکرد گیاه (کیلوگرم در هکتار) به نیروی انسانی (ساعت) (Pimentel *et al*., 1983).

برای هر سه گیاه ماش، ذرت و کنجد درآمد کشاورزان منطقه اساساً بر مبنای عملکرد دانه بوده که حدوداً ۸۵ تا ۹۰ درصد کل درآمد حاصل از کشت را شامل شده لذا عملکرد کاه گیاهان زراعی در محاسبه بهره‌وری انرژی در نظر گرفته نشد. نتایج به کمک نرم افزار SAS تجزیه‌ی آماری شده و مقایسه‌ی میانگین‌ها به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفته است.

نتایج و بحث

الف: عملکرد دانه و بودجه انرژی

نتایج این آزمایش نشان داد که عملکرد دانه هر سه گیاه ماش، ذرت و کنجد در بوم‌نظام رایج بیشتر از زیستی شد (جدول ۱). البته کاهش عملکرد از رایج به زیستی برای کلیه گیاهان یکسان نبود به‌گونه‌ای که در گیاه ذرت عملکرد در شرایط زیستی (۴۶۳۴ کیلوگرم در هکتار) حدود ۷۲/۴ درصد عملکرد آن در شرایط رایج بود (۶۳۹۷ کیلوگرم در هکتار). درحالی‌که عملکرد

کنجد در شرایط زیستی (۶۱۱ کیلوگرم در هکتار) معادل ۸۵/۹ درصد عملکرد آن در شرایط رایج است (۷۱۱ کیلوگرم در هکتار). این مساله نشان می‌دهد که اگرچه در شرایط زیستی عملکرد ارقام فعلی گیاهان زراعی نسبت به شرایط رایج کاهش می‌یابد ولی میزان این کاهش عملکرد برای گیاهان مختلف زراعی یکسان نخواهد بود. بنابراین به‌نظر می‌رسد که هرچه افت عملکرد یک گیاه یا رقم خاص در تغییر از کشاورزی رایج به زیستی کمتر باشد این گیاه برای کشت در شرایط زیستی مناسب‌تر خواهد بود. در خصوص بودجه انرژی نیز نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار کل انرژی مصرفی برای ذرت در سه سیستم کشاورزی رایج، پایدار و زیستی به‌ترتیب ۳۴۳۹۶/۳۴، ۲۵۹۶۲/۱ و ۱۸۴۳۲/۰۹ مگاژول بر هکتار می‌باشد. بیشترین (۱۵۰۹۲ مگاژول بر هکتار) انرژی مصرفی در سیستم کشاورزی رایج مربوط به کاربرد کود نیتروژن بود که ۴۳/۸۸ درصد از کل انرژی مصرفی در این سیستم را به خود اختصاص داد. در حالی‌که بیشترین انرژی مصرفی در کشاورزی پایدار (۸۱۱۳ مگاژول بر هکتار) و زیستی (۶۹۵۷ مگاژول بر هکتار) مربوط به کاربرد سوخت می‌باشد (جدول ۱). در مقابل کمترین درصد انرژی ورودی در هر دو نظام کشاورزی پایدار و زیستی مربوط به کاربرد کودهای زیستی هیومیک‌اسید و سوپرنیتروپلاس بود. کمترین (۱۳۷/۹ مگاژول بر هکتار) انرژی ورودی در سیستم کشاورزی رایج مربوط به نیروی انسانی بود.

Table 1. Energy inputs and outputs of the corn, mung bean and sesame production in the different agricultural systems (Conv: Conventional, Sust: Sustainable and Org: Organic) (Ozkan *et al*, 2004).

Inputs and Outputs ($MJha^{-1}$)	Energy equivalent ($MJ.ha^{-1}$)								
	Corn			Mung bean			Sesame		
	Conv	Sust	Org	Conv	Sust	Org	Conv	Sust	Org
Inputs (I)									
Human labor	137.9	256.1	341.04	235.2	307.72	382.18	220.64	256.1	449.2
Machinery	2100.4	1316.7	1020.7	2164.4	1448.3	1053.3	1907.3	1247.7	927.9
Diesel	9614	8113	6957.8	4466.9	3522.6	2090	3686	2831	1406
Nitrogen	15092	7546	0	3773	1886.5	0	5659.5	2792.02	0
Phosphate	1307	653.5	0	653.3	326.75	0	653.5	326.75	0
Potassium	1115	557.5	0	557.5	278.75	0	557.5	278.75	0
Compost	0	1500	3000	0	750	1500	0	750	1500
Vermicompost	0	1500	3000	0	750	1500	0	750	1500
Nitroxin	0	60	120	0	60	120	0	60	90
Humexin	0	45	60	0	45	60	0	30	45
Crop residue	0	270	540	0	270	540	0	270	540
Herbicide	834.05	381.28	0	476.6	285.96	0	119.15	47.66	0
insecticide	241.86	111.32	0	182.16	116.38	0	50.6	20.24	0
Fungicides	561.6	259.2	0	565.92	237.6	0	108	43.2	0
Electricity	3024.9	3025	3025	1720.8	1720.8	1720.8	2066.4	1720.8	1720.8
Seed	367.5	367.5	367.5	1117	1117	1117	68.4	68.4	68.4
Total inputs	34396.3	25962.1	18432.1	15912.7	13123.4	10083.3	15097	11492.6	8247.3
Output (O)									
Seed yield($kg\ ha^{-1}$)	6397.62	5111.33	4634.16	2940.38	2762.05	2457.5	711. 86	679.17	611.1
Energy output	94045	75136.6	68122.1	43223.7	40602.2	36126.4	17796.6	16979.2	15279
O/I	2.73	2.89	3.7	2.7	3.1	3.6	1.18	1.48	1.85

در ادامه نتایج نشان داد که با تغییر الگوی تولید محصولات زراعی از کشاورزی رایج به کشاورزی زیستی، سهم انرژی غیرمستقیم غیرتجدیدپذیر به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است. در مقابل میزان انرژی غیرمستقیم تجدیدپذیر کاهش بارزی از خود نشان داد. بیشترین انرژی مستقیم تجدیدپذیر (نیروی انسانی) در سیستم کشاورزی زیستی (۳۴۱مگاژول بر هکتار) و سیستم کشاورزی پایدار(۲۵۶ مگاژول بر هکتار) مشاهده شد(شکل ۱- a). همچنین در سیستم کشاورزی پایدار سهم انرژی‌های غیرمستقیم غیرتجدیدپذیر همچون کودها و سموم شیمیایی نسبت به سیستم رایج کاهش یافت. با بررسی دقیق‌تر دو الگوی تولید ذرت به‌روش رایج و پایدار مشخص گردید که تغییر نظام کشت از رایج به پایدار باعث کاهش ۲۰/۱ درصد در کمیت عملکرد گردید اما میزان کاهش در کل انرژی مصرفی در این شرایط حدود ۲۴/۵۳ درصد بود. به‌عبارت دیگر کاهش در انرژی مصرفی با تغییر از کشاورزی رایج به پایدار بیشتر از کاهش در عملکرد نهایی ذرت بود که این تفاوت‌ها باعث شد که کارآیی انرژی برای ذرت در شرایط پایدار بیشتر از تولید ذرت به روش رایج باشد (به‌ترتیب ۲/۸۹ و ۲/۷۳) (جدول ۱).

مقدار کل انرژی مصرفی برای ماش در سیستم‌های کشاورزی رایج، پایدار و زیستی به‌ترتیب ۱۵۹۱۲/۷۸۴، ۱۲۱۲۳/۴۳ و ۱۰۰۸۳/۳۴ مگاژول بر هکتار می‌باشد. در میان نهاده‌های مصرفی در هر سه سیستم، کشاورزی سوخت بیشترین انرژی مصرفی (انرژی مستقیم غیر تجدیدپذیر) را به خود اختصاص داد (رایج: ۴۴۶۶/۹ ، پایدار: ۳۵۲۲/۶ و زیستی: ۲۰۹۰ مگاژول بر هکتار). در ادامه نیز بیشترین عملکرد دانه ماش (۲۹۴۰/۳۸ کیلوگرم در هکتار) با میزان انرژی ۴۳۲۲۳/۷۲ مگاژول بر هکتار مربوط به سیستم کشاورزی رایج بود. به دنبال آن سیستم کشاورزی پایدار و زیستی به ترتیب میزان انرژی خروجی معادل ۴۰۶۲/۰۵ و ۳۶۱/۴۳ مگاژول بر هکتار را دارا بودند (جدول ۱). از سوی دیگر بیشترین (۱۰۶۷۵/۳۸ مگاژول بر هکتار) انرژی غیرمستقیم غیرتجدیدپذیر در الگوی کشاورزی رایج و کمترین مقدار آن (۲۰۹۰ مگاژول بر هکتار) در الگوی کشاورزی زیستی بود (شکل ۱- b). البته در مقابل، بیشترین (۴۸۳۷ مگاژول بر هکتار) و کمترین (۱۱۱۷ مگاژول بر هکتار) انرژی غیرمستقیم تجدیدپذیر به ترتیب در سیستم کشاورزی زیستی و رایج مشاهده شد. از آنجایی‌که گیاه ماش (و به‌طور کلی بقولات) وابستگی کمی به کود نیتروژن دارد، لذا نهاده سوخت، بیشترین انرژی مصرفی در هر سه سیستم کشاورزی را به خود اختصاص داد (جدول ۱). به‌علاوه، نتایج ارائه شده نشان می‌دهد که در سیستم‌های رایج، انرژی غیرمستقیم غیرتجدیدپذیر سهم بیشتری از کل انرژی را شامل شده است. در حالی‌که در شرایط کشاورزی زیستی، بخش انرژی غیرمستقیم تجدیدپذیر بیشترین سهم را دارا می‌باشد (شکل ۱- b). هرچند که کمیت عملکرد و میزان انرژی خروجی ماش (۱۵۹۱۲/۷۸ مگاژول بر هکتار) در نظام کشاورزی رایج بیشتر از سایر روش‌ها بود اما در مقابل، بالاتر بودن میزان انرژی ورودی در این سیستم باعث شد که شاخص کارآیی انرژی در روش رایج (۲/۷) کمتر از روش‌های پایدار و زیستی باشد(جدول ۱). گزارش شده کل انرژی ورودی در واحد سطح در کشاورزی رایج در یک سیستم تناوبی سه ساله ۵۰ درصد بیشتر از کشاورزی زیستی بود و به‌طور اختصاصی مقدار انرژی ورودی در کشاورزی رایج نسبت به‌زیستی برای سویا، ذرت و گندم به‌ترتیب ۳۰ ، ۶۸/۷ و ۵۸ درصد بیشتر در بود (Dal Ferro *et al*, 2017).

مقدار کل انرژی مصرفی کنجد در سه سیستم کشاورزی رایج، پایدار و زیستی به‌ترتیب ۱۵۰۹۷/۰۲، ۱۱۴۹۲/۶۵ و ۸۲۴۷/۳۲ مگاژول در هکتار می‌باشد (جدول ۱). که میزان انرژی ورودی به سیستم کشاورزی رایج تقریباً دو برابر کشاورزی زیستی بود. این در حالی‌است که کمیت عملکرد حاصل از این دو سیستم (رایج: ۷۱۱/۸۶ و زیستی: ۶۱۱/۱۶ کیلوگرم در هکتار) و

انرژی‌های حاصل از آنها این شدت اختلاف را نشان ندادند. این تفاوت باعث شد که کارآیی انرژی در سیستم کشاورزی زیستی (۱/۸۵) بالاتر از رایج باشد. در بین نهاده‌های ورودی، کود نیتروژن با ۳۷/۴۹ درصد از کل انرژی ورودی، بیشترین سهم را در تولید کنجد به‌روش رایج به‌خود اختصاص داد. درحالی‌که در سیستم کشاورزی پایدار، ابتدا سوخت (۲۸۳۱ مگاژول در هکتار) و سپس کود نیتروژن با ۲۷۹۲ مگاژول در هکتار بیشترین مقادیر انرژی ورودی را داشتند. بیشترین انرژی غیرمستقیم غیرتجدیدپذیر (۲۱۲۵۱ مگاژول بر هکتار) مربوط به تولید کنجد به‌روش رایج بود (شکل ۱-c). همچنین به‌کارگیری انرژی غیرمستقیم تجدیدپذیر در سیستم کشاورزی زیستی بیشترین (۷۰۸۷ مگاژول بر هکتار) مقدار را دارا بود .در ادامه با بررسی میزان کارآیی انرژی مشخص گردید که بیشترین کارآیی انرژی (۱/۸۵) مربوط به روش تولید زیستی کنجد بود (جدول ۱). از دلایل مهم برتری کارآیی انرژی در روش زیستی در مقایسه با روش رایج ذکر این نکته ضروری‌است که کاهش عملکرد در زیستی نسبت به رایج حدود ۱۵ درصد است در حالی‌که کاهش انرژی ورودی از رایج به زیستی ۴۵ درصد است. لذا با توجه به فرمول کارآیی انرژی، مخرج کسر (انرژی ورودی) بسیار بیشتر از صورت کسر (انرژی خروجی) کاهش یافته که دلیل اصلی بهبود کارآیی انرژی در روش زیستی محسوب می‌گردد. گزارش شده که میزان کل انرژی ورودی به مزرعه کنجد ۲۴۵۹۳ مگاژول در هکتار بود. کودهای شیمیایی با دارا بودن ۳۷ درصد از کل انرژی مصرفی بیشترین میزان انرژی ورودی (غیرمستقیم) را در تولید کنجد داشتند. سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر در این پژوهش ۹۱/۲۹ مگاژول در هکتار گزارش شد (Loghmanpour zarini and Nabipour Afroozi., 2017).

ب: شاخص‌های انرژی

هدف استفاده از شاخص‌های مختلف کارآیی انرژی بررسی نحوه استفاده از انواع فرم‌های انرژی و همچنین کل انرژی در رابطه سیستم‌های کشاورزی است. این شاخص‌ها درواقع معیاری برای سنجش و ارزیابی اکولوژیکی الگوی کشت گیاهان محسوب می‌شوند.

۱- شاخص کارآیی مصرف انرژی که نسبت کل انرژی خروجی به کل انرژی ورودی است به‌تعبیری میزان سود انرژی به ازای هزینه کرد انرژی را نشان می‌دهد. این شاخص در ذرت زیستی بیشترین (۳/۶۹) و در کنجد رایج کمترین (۱/۱۸) مقدار را دارا بود (جدول۶). هرچه این شاخص بیشتر باشد بدون شک از نهاده‌های ورودی به‌طور کارآمدتری استفاده شده است. روند تغییرات برای این شاخص به‌گونه‌ای است که برای هر سه گیاه کشت شده و از سیستم زیستی به رایج، کارآیی مصرف انرژی کاهش یافته است. هرچند که در هر سه سیستم کشت (زیستی، پایدار و رایج) به‌طور متوسط مقدار شاخص کارآیی مصرف انرژی بیشترین مقدار را در ماش، سپس در ذرت و در نهایت در کنجد دارد (جدول ۲). کمتر بودن مقدار این شاخص در کنجد اساساً در ارتباط با عملکرد پایین این گیاه در مقایسه با ذرت و ماش می‌باشد. در گیاه ذرت برعکس، بیشتر بودن نهاده‌های ورودی (مخرج کسر) عامل کاهش کارآیی مصرف انرژی است. اما نکته قابل توجه این است که در گیاه ماش برخلاف دو گیاه قبلی که یا انرژی خروجی (صورت کسر) و یا انرژی ورودی (مخرج کسر) تعیین کننده بودند، در این گیاه هر دو بخش انرژی ورودی و خروجی در بهبود کارآیی مصرف انرژی تعیین کننده هستند.

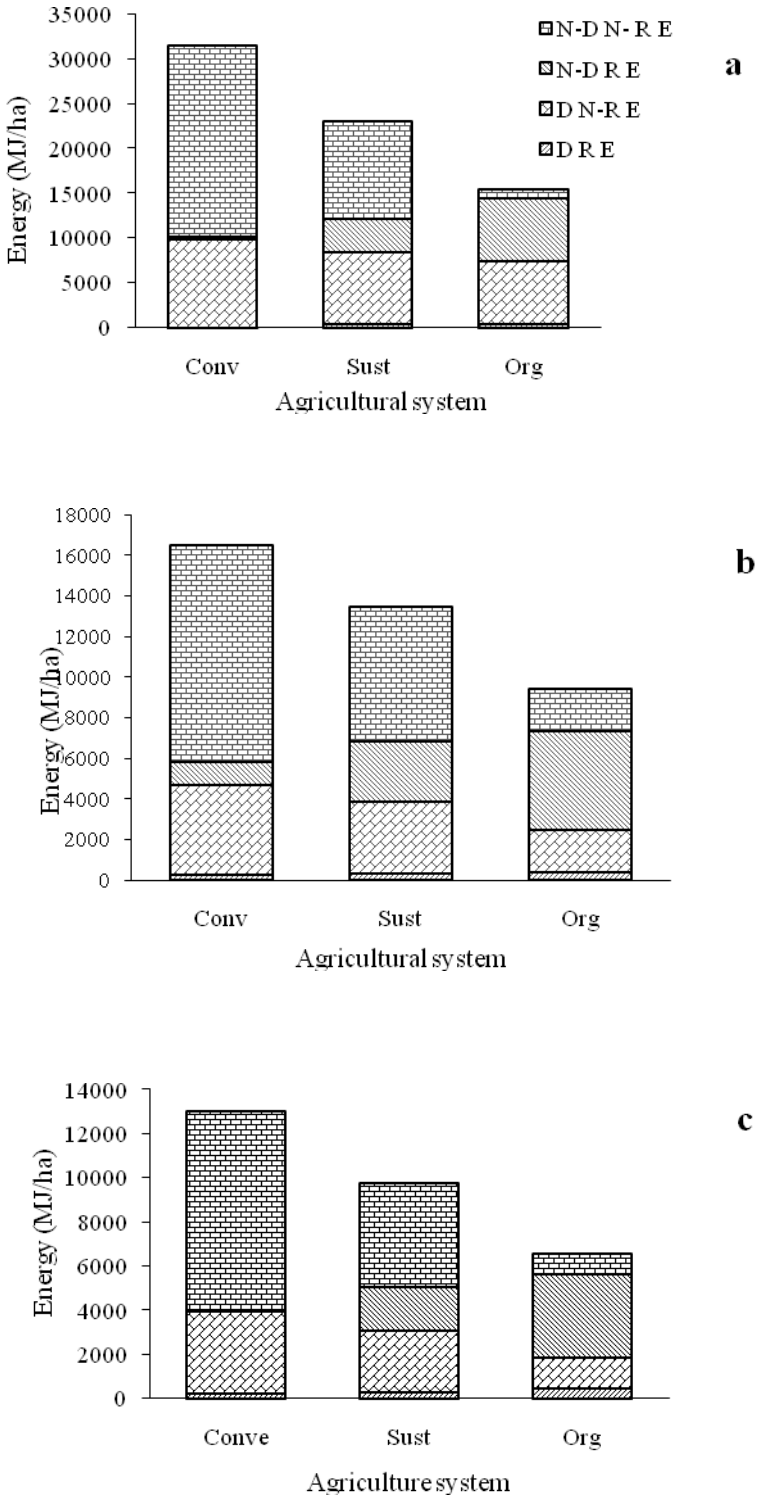

Figure 1. Renewable and non-renewable input energy production (MJ/ha) of (a) corn, (b) mungbean and (c) sesame in the different agricultural systems including conventional, sustainable and organic. N-D-N-R-E: Non Direct Non-Renewable Energy, N-D-R-E: Non Direct Renewable Energy, D- N- R-E: Direct Non- Renewable Energy, D- R-E: Direct Non-Renewable Energy

۲- همانطور که در اقتصاد سود خالص میزان مازاد سودمندی در هر فعالیت اقتصادی را نشان می‌دهد، شاخص انرژی خالص نیز به تعبیری و از دیدگاه اکولوژیکی مازاد سود انرژی حاصل از یک فعالیت کشاورزی را نشان می‌دهد. در این آزمایش تولید ذرت در الگوی رایج بیشترین (۵۹۶۴۹ مگاژول در هکتار) و کنجد رایج کمترین (۲۷۰۰ مگاژول در هکتار) مقدار این شاخص را دارا می‌باشد (جدول ۲). از آنجایی که تغییرات این شاخص بین گیاهان مختلف روند یکسانی را نشان نمی‌دهد، بنابراین می‌توان چنین استنباط نمود که عامل تاثیرگذار، روش تولید هر یک از گیاهان است. این نتایج نشان می‌دهد که برای مثال با مقایسه مقدار این شاخص در شرایط ذرت رایج با کنجد رایج می‌توان چنین تفسیر نمود که هرچند مقدار انرژی هر واحد محصول نهایی کنجد که گیاهی روغنی است در مقایسه با محصول دانه ذرت که گیاهی نشاسته‌ای است بیشتر است (به‌ترتیب ۲۵ و ۱۴/۷ مگاژول در هکتار) (جدول ۱) اما از آنجایی‌که کمیت عملکرد در کنجد بسیار کمتر از کمیت عملکرد ذرت می‌باشد (۷۱۱/۸۶ نسبت به ۶۳۹۷/۶۲۵) (جدول ۱)، لذا انرژی خروجی ذرت بسیار بیشتر از انرژی خروجی کنجد شده است این مساله باعث شده مقدار انرژی خالص در ذرت رایج بسیار بیشتر از کنجد رایج شود.

با مقایسه شاخص انرژی خالص با شاخص کارآیی مصرف انرژی برای مثال در مورد ذرت، مشخص می‌شود که در ارزیابی اکولوژیکی سیستم‌های زراعی گیاهان مختلف بایستی در انتخاب نوع شاخص برای مقایسه دقت کافی را داشته باشیم. اگر معیار مازاد سود انرژی باشد یا به‌عبارتی چقدر انرژی اضافه به میزان مصرف شده در نظر باشد، شاخص انرژی خالص سودمند خواهد بود. در مقابل اگر مقدار انرژی تولید شده نسبت به انرژی مصرف شده ملاک باشد، شاخص کارآیی مصرف انرژی سودمند خواهد بود. به‌نظر می‌رسد نتایج این آزمایش بیان‌گر این نکته باشد که هرچه یک گیاه کمیت عملکرد بالاتری داشته باشد، در شرایط کشت به‌صورت رایج شاخص انرژی خالص آن نیز مقدار بیشتری را نشان خواهد داد. هرچند کارآیی مصرف انرژی آن کمتر خواهد بود.

۳- نتایج شاخص بهره‌وری انرژی شرایطی مشابه با شاخص کارآیی مصرف انرژی را نشان داد، به‌طوری‌که ذرت زیستی بیشترین (۰/۲۵) و کنجد رایج کمترین (۰/۰۵) مقدار این شاخص را دارا بودند (جدول ۲). البته این شاخص بر میزان انرژی مصرف شده در تولید محصول تاکید دارد. هرچند که در سیستم رایج انرژی ورودی بیشتری در مقایسه با روش زیستی استفاده شده اما برای هر سه گیاه مقدار این شاخص در کلیه روش‌های رایج کمتر از دو روش پایدار و زیستی است. این کاهش علی‌رغم بیشتر بودن عملکرد در روش رایج در مقایسه با دو روش دیگر است. بنابراین به‌نظر می‌رسد که انرژی ورودی (مخرج کسر) بیشتر از عملکرد محصول (صورت کسر) نقش تعیین کننده داشته باشد.

Table 2. Indicators of energy use in maize, mung bean and sesame production in different agriculture systems (Conventional, Sustainable and Organic)

Plant type	Agricultural systems	Energy Indices (MJ)						Labor productivity (kg h^{-1})
		Energy use efficiency	Net energy	Energy productivity ($Kg.MJ^{-1}$)	Specific energy ($MJ.Kg^{-1}$)	Agrochemical Energy	Emissions of CO_2	
Corn	Conv	2.73e	59649a	0.18d	5.38de	0.84a	22112a	91.39a
	Sust	2.89d	49175b	0.19c	5.08e	0.68c	18660b	39.32b
	Org	3.69a	49690b	0.25a	3.97g	0.38g	16003c	26.63c
Mung bean	Conv	2.71e	27311c	0.18d	5.41d	0.67d	10274d	12.5d
	Sust	3.09c	27479c	0.21b	4.75f	0.51f	8102f	8.97e
	Org	3.58b	26043c	0.24a	4.1g	0.21h	4807h	6.43f
Sesame	Conv	1.18h	2700e	0.05g	21.2a	0.72b	8478e	6.35f
	Sust	1.48g	5487de	0.06f	16.92b	0.55e	6511g	5.22f
	Org	1.85f	7032d	0.073e	13.49c	0.17i	3234i	2.68g

۴- روند تغییرات این شاخص برعکس شاخص بهره‌وری انرژی است. البته با این تفاوت که عامل تاثیرگذار در مقدار این شاخص عملکرد محصول نهایی یا به‌عبارتی صورت کسر است. بنابراین برای هر سه گیاه زراعی و در هر سه سیستم کشت رایج، زیستی و پایدار این شاخص همواره در الگوی رایج بیشترین و در روش زیستی کمترین مقدار را داراست. بیشترین مقدار شاخص بهره‌وری انرژی (۲۱/۲) در الگوی رایج کنجد به‌دست آمده (جدول ۲) که نشان می‌دهد به ازای هر واحد عملکرد دانه کنجد (مخرج کسر) انرژی بیشتری استفاده شده است. یا به‌عبارتی هر کیلوگرم محصول دانه کنجد نیاز به حدود ۲۱ مگاژول انرژی برای تولید دارد، درحالی‌که تولید یک کیلوگرم محصول دانه‌ی ماش تقریبا به ۴ مگاژول انرژی نیاز خواهد داشت. تفاوت در نوع نهاده‌های ورودی در وهله‌ی اول و سپس پتانسیل تولید هر گیاه این تفاوت‌ها را توجیه خواهد کرد. محققان نشان دادند که میزان بهره‌وری انرژی و انرژی ویژه برای تولید رایج ذرت در منطقه دزفول را به‌ترتیب ۰/۱۳ کیلوگرم بر مگاژول و ۷/۸۸ مگاژول در هکتار گزارش دادند (Lorzadeh *et al*., 2012).

۵- شاخص انرژی اگروشیمیایی بیانگر سهم انرژی شیمیایی سنتزی از کل نهاده‌های ورودی است. همانطور که انتظار می‌رفت مقدار این شاخص در نظام‌های رایج بیش از دو سیستم پایدار و زیستی بود زیرا وابستگی نظام‌های رایج به نهاده‌های شیمیایی سنتزی بسیار بیشتر از دو سیستم دیگر است. با مقایسه دو گیاه ماش و کنجد که هر دو به روش زیستی تولید شدند مشخص می‌شود که مقدار شاخص انرژی اگروشیمیایی برای ماش به‌طور معنی‌داری بیشتر از کنجد است (به‌ترتیب ۰/۲۱ و ۰/۱۷). از آنجایی‌که برای هر دو گیاه ماش و کنجد در روش زیستی هیچ کود و سموم شیمیایی استفاده نشد لذا به‌نظر می‌رسد مهمترین عامل تفاوت در وهله‌ی اول مربوط به مقدار سوخت مصرف شده در فرآیند تولید دو گیاه می‌باشد (برای کنجد ۳۷ و برای ماش ۵۵ لیتر) و در مرتبه‌ی دوم نیز تفاوت در کل انرژی ورودی (مخرج کسر) بین دو گیاه تعیین کننده است (برای کنجد ۸۲۴۷/۳۲ و برای ماش ۱۰۰۸۳/۳۶ مگاژول) (جدول ۲). در این ارتباط محققان میزان شاخص‌های کارآیی انرژی، انرژی ویژه، بهره وری انرژی و انرژی خالص در تولید کنجد را به ترتیب ۱/۵۲، ۱۹/۹۸ مگاژول بر کیلوگرم، ۰/۰۶ کیلوگرم مگاژول و ۴۹۹۷/۷۹ مگاژول گزارش دادند. آن‌ها همچنین نشان دادند که بیشترین میزان مصرف انرژی در تولید کنجد مربوط به انرژی کودهای شیمیایی به میزان ۵۵۱۱/۳۰ مگاژول در هکتار (۵۵/۲۵ درصد) و انرژی سوخت با مقدار۲۰۸۳/۴۷ مگاژول در هکتار (۲۱/۶۴ درصد) بود (Baran and Gokdogan., 2017).

۶- میزان انتشار دی‌اکسید کربن در حقیقت به تعبیری بیانگر میزان تولید دی‌اکسیدکربن در اثر احتراق سوخت مصرفی به‌ویژه در بخش مکانیزاسیون است. بنابراین هرچه وابستگی به مکانیزاسیون بیشتر باشد طبیعتاً سوخت بیشتری نیز مصرف شده که نتیجه‌ی آن تولید گاز دی‌اکسید کربن بیشتر خواهد بود. همچنین نتایج این آزمایش نشان داد که شاخص میزان انتشار دی‌اکسید کربن رابطه‌ی مستقیمی با شاخص بهره‌وری نیروی انسانی دارد. به عبارت دیگر هرجایی که از نیروی انسانی کمتری در تولید یک محصول استفاده شده یا به تعبیری وابستگی آن روش به مکانیزاسیون بیشتر باشد (برای مثال نظام رایج در مقابل زیستی) کمیت شاخص انتشار دی‌اکسید کربن نیز به‌طور مشابه مقدار بیشتری را نشان می‌دهد. بر این اساس برای هر سه گیاه ذرت، ماش و کنجد شرایط نظام رایج بیشترین میزان هر دو شاخص میزان انتشار دی‌اکسید کربن و بهره‌وری نیروی انسانی را در مقایسه با روش‌های زیستی و پایدار دارا بود. در این‌رابطه بیان شده در کشاورزی زیستی انتشار دی‌اکسیدکربن به ازای هر تن محصول تولیدی پایین‌تر از کشاورزی رایج است. به‌علاوه افزایش تولید دی‌اکسیدکربن جهت افزایش تولید در هر هکتار از

کشاورزی رایج با کاهش بهره‌وری انرژی در این سیستم همراه بود (Gomiero *et al.*, 2008).

۷- شاخص بهره‌وری نیروی انسانی در حقیقت بیانگر میزان تولید محصول به‌ازای مقدار نیروی انسانی یا مجموع ساعت کار نیروی انسانی است. لذا اصولاً مقدار این شاخص در نظام‌های رایج بالاتر از زیستی خواهد بود پایین بودن عملکرد کنجد همراه با نیاز به نیروی انسانی بالا در خصوص عملیات داشت (مانند وجین) و عملیات برداشت (کپه کردن پس از برداشت و کوبیدن ساقه‌ها) از مهم‌ترین دلایل کاهش این نسبت در شرایط زیستی کنجد است. در این آزمایش، نظام پایدار حدواسط دو نظام رایج و زیستی در رابطه با بهره‌وری نیروی انسانی است. با مقایسه دو شاخص کارآیی مصرف انرژی و بهره‌وری نیروی انسانی در گیاهان مختلف مشخص می‌شود که در اکثر موارد این دو شاخص رابطه‌ی عکس با یکدیگر دارند. به‌عبارت دیگر نظام‌هایی که کارآیی مصرف انرژی بالایی دارند در مقابل شاخص بهره‌وری نیروی انسانی در آن‌ها کمتر می‌باشد. برای مثال، فقط در مورد ذرت زیستی، بیشترین کارآیی مصرف انرژی (۳/۶۹) همراه شده با کمترین (۲۶/۶۳ کیلوگرم در ساعت) شاخص بهره‌وری نیروی انسانی. این وضعیت تا حدی می‌تواند نکته‌ای منفی برای نظام‌های زیستی محسوب شود، به‌ویژه در شرایطی که نیروی کار انسانی بیکار و زیاد در منطقه فراهم باشد. اظهار شده که تولید ذرت به‌روش زیستی در توالی‌های مختلف کشت تقریباً ۲۹ تا ۷۰ درصد کارایی انرژی بیشتری نسبت به تولید رایج ذرت داشت. درحالی‌که بازده‌نیروی کار در سیستم زیستی به‌علت نیاز به نیروی کار بیشتر و در عین حال تولید عملکرد پایین‌تر بین ۲۲ تا ۴۳ درصد پایینتر از الگوی تولید رایج بود (Pimentel *et al.*, 2007).

نتیجه‌گیری

در مجموع با مقایسه داده‌های انرژی برای سه گیاه زراعی تابستانه ذرت (غلات)، کنجد (دانه روغنی) و ماش (بقولات) مشخص می‌شود که بیشترین انرژی مصرفی (۳۴۳۹۶/۳۴ مگاژول) مربوط به تولید ذرت به‌روش رایج و کمترین (۸۲۴۷ مگاژول) مقدار آن مربوط به تولید ماش به‌روش ازیستی بود. به¬علاوه، بیشترین انرژی خروجی (۹۴۰۴۵/۰۹ مگاژول) با اختلاف زیاد مربوط به تولید رایج ذرت بود درحالیکه تولید ماش به روش زیستی کمترین (۱۵۲۷۹/۰۲ مگاژول) انرژی خروجی را تولید کرد. بنابراین مشخص می‌شود در روش تولید ذرت به‌روش ازیستی بیشترین (۳/۶۹) کارآیی انرژی را داشته است. البته روند تغییرات به‌گونه‌ای است که عملکرد ذرت زیستی در مقایسه با عملکرد ذرت رایج حدود ۳۰ درصد کاهش یافته است. اما میزان انرژی مصرفی ذرت در روش زیستی نسبت به رایج حدود ۵۰ درصد کاهش یافته است. به‌عبارت دیگر در تولید ذرت ازیستی، کاهش انرژی ورودی (مخرج کسر) بسیار بیشتر از کاهش انرژی خروجی (صورت کسر) در تعیین کارآیی انرژی موثر بوده است که این مساله باعث شده بیشترین میزان کارآیی انرژی را دارا باشد. درصورتیکه کمترین (۱/۱۸) میزان کارآیی انرژی در کنجد فشردهرایج به‌دست آمد که اساساً به‌دلیل پایین بودن عملکرد دانه کنجد در مقایسه دو گیاه ذرت و ماش بود. این مساله باعث شد انرژی خروجی (صورت کسر) بسیار کاهش یافته که نتیجه آن منجر به پایین‌تر بودن کارآیی انرژی در این روش تولید شده است. به‌نظر می‌رسد برای ارزیابی اکولوژیکی سیستم‌های مختلف کشت و گیاهان زراعی صرفاً اتکا به یک شاخص یا معیار سنجش در شرایط فعلی کارآمد نخواهد بود. بنابراین بایستی مجموعه‌ای از شاخص‌های اگرواکولوژیکی و با در نظر گرفتن تاریخچه تولید (کارآیی مصرف انرژی، انرژی خالص، شاخص بهره‌وری انرژی و انرژی ویژه) و فرهنگ زراعی (شاخص بهره‌وری نیروی انسانی، انرژی اگروشیمیایی و انتشار دی‌اکسیدکربن) هر منطقه، حد بهینه‌ای از ترکیب دو عامل عملکرد و

انرژی را در نظر گرفت. به‌علاوه از آنجایی‌که تغییر ناگهانی از نظام رایج به زیستی راهکار توصیه شده‌ای نمی‌باشد لذا به‌نظر می‌رسد روش پایدار تلفیقی، شرایط بهینه عملکرد محصول و کارآیی انرژی است.

سپاس‌گزاری

بدین وسیله از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز به جهت تأمین هزینه مورد نیاز این تحقیق که قسمتی از قرارداد پژوهانه به شماره SCU.AA98.167 می‌باشد، تشکر و قدردانی می گردد.

Reference

Alluvione, F., Moretti, B., Sacco, D., & Grignani, C. (2011). EUE (energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture. *Energy*, 36, 7. 4468-4481.

https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.03.075

Baran, M. F. & Gokdogan, O. (2017). Determination of energy use efficiency of Sesame production. Journal of Tekirdag Agricultural Faculty, 14(3), 73-79.

Chaudhary, V. P., Gangwar, B., Pandey, D. K., & Gangwar, K. S. (2009). Energy auditing of diversified rice–wheat cropping systems in Indo-gangetic plains. *Energy*, 34: (9), 1091-1096. https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.04.017

Dal Ferro, N., Zanin, G., & Borin, M. (2017). Crop yield and energy use in organic and conventional farming: A case study in north-east Italy. *European Journal of Agronomy*, 86, 37-47. http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2017.03.002

Dalgaard, T., Halberg, N. & Porter, J. R. (2001). A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 87(1). 51-65. DOI: 10.1016/S0167-8809(00)00297-8

Deike, S., Pallutt, B. & Christen, O. (2008). Investigations on the energy efficiency of organic and integrated farming with specific emphasis on pesticide use intensity. *European Journal of Agronomy*, 28(3), 461-470. https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.11.009

Feyzbakhsh, M. T., & Soltani, A. (2013). Energy flow and global warming potential of corn farm (Gorgan City). *Journal of Plant Production*, 6(2), 89-107. [In Persian]. https://doi.org/20.1001.1.2008739.1392.6.3.6.6

Ghazvineh, S. & Yousefi, M. (2013). Evaluation of consumed energy and greenhouse gas emission from agroecosystems in Kermanshah province. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(4), 349-354.

Gomiero, T., Paoletti, M. G., & Pimentel, D. (2008). Energy and environmental issues in organic and conventional agriculture. Critical Reviews in Plant Sciences, 27(4), 239-254. https://doi.org/10.1080/07352680802225456

Hosseini S., & S. Abedi. 2007. The Role of Market Factors and Government Policies on Determining Corn in Iran. *Journal of Economics and Agriculture*, 1(1), 67- 99. [In Persian].

Loghmanpour Zarini, R. & Nabipour Afroozi, H. (2017). Calculation and Evaluation of Energy and Economic Indicators of Sesame Production in Iran (Case Study: Mazandaran Province). *Journal of Energy of Iran*, 19(2), 93- 102. [In Persian].

Lorzadeh, S.H., Mahdavidameghani, A., Enayatgholizadeh, M.R. & Yosefi, M. (2012). Reasearch of Energy use efficiency for Maize production system in Izeh, Iran. Acta agriculturae Slovenica 99(2),137-142. [In Persian]. DOI: 10.2478/v10014-012-0013-4

Lin, H. C., Huber, J. A., Gerl, G. & Hülsbergen, K. J. (2017). Effects of changing farm management and farm structure on energy balance and energy-use efficiency—a case study of organic and conventional

farming systems in southern Germany. *European Journal of Agronomy*, 82, 242-253. DOI: 10.1016/j.eja.2016.06.003

Mazrae, F., Aynehband, A., Fateh, E., & Gorooei, A. (2019). The Influence of PGPRs and planning methods on yield quantity and quality of sesame in Ahvaz. *Plant Productions*, *42*(2), 239-252. doi: 10.22055/ppd.2019.24474.1551

Mansoori, H., Rezvani Moghadam, P. & Moradi, R.H. (2012). Energy budget and economic analysis in conventional and organic rice production systems and organic scenarios in the transition period in Iran. *Frontiers in Energy*, 6 (4), 341-350. https://doi.org/10.1007/s11708- 012-0206-x

Noreian, M. H., Zabihi, H. & Oveisi, M. (2016). Evaluation of the effect of biofertilizers and boron foliar application on mung bean yield under drought stress conditions. *Journal of Water and Soil Research*, 29 (4), 179- 186.

Ozkan, B., Kuklu, A., & Akcaoz, H. (2004). An input–output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey. *Biomass Bioenergy*, 26, 89-95. DOI: 10.1016/S0961-9534(03)00080-1

Pimentel, D. & Pimentel, M. H. (2007). Food, energy, and society. CRC press. .chapter 10.page 22.

Parihar, C. M., Jat, S. L., Singh, A. K., Majumdar, K., Jat, M. L., Saharawat, Y. S., & Kuri, B. R. (2017). Bio-energy, water-use efficiency, and economics of maize-wheat-mungbean system under precision-conservation agriculture in semi-arid agro-ecosystem. *Energy*, 119, 245-256.

Rafiee, S., Mousavi avval, S H. & Mohammadi, A. (2010). Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran. *Energy*, 35(8), 3301-3306. https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.04.015

Tuti, M. D., Prakash, V., Pandey, B. M., Bhattacharyya, R., Mahanta, D., Bisht, J. K. & Srivastva, A. K. (2012). Energy budgeting of colocasia-based cropping systems in the Indian sub-Himalayas. *Energy*, 45 (1), 986-993. DOI: 10.1016/j.energy.2012.06.056

Uhlin, H. E. (1999). Energy productivity of technological agriculture-lessons from the transition of Swedish agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 73: (1), 63-81. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00002-X