J. Agric. Mech., 9 (3):79-92 (2024)

Journal of
Agricultural Mechanization

Online ISSN: 2717-4107
Journal homepage: https://jam.tabrizu.ac.ir/?lang=en

Original Article

Energy Analysis of Tomato Production in Open Field and Greenhouse

Esmaeil Seidi * [1], Masoud Momeni [1]

1- Department of Agricultural Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

***Keywords*:**
Energy,
Greenhouse,
Production Inputs,
Tomato

Received:
August 1, 2024

Revised:
October 19, 2024

Accepted:
October 22, 2024

*** Corresponding author:**
e_seidi@pnu.ac.ir

ABSTRACT

Introduction

Today, farmers are striving to increase their yields, but many lack the necessary information to analyze energy consumption patterns effectively. Therefore, conducting an energy analysis is essential to provide farm planners and policymakers with a comprehensive overview of energy consumption. Energy input-output analysis is closely linked to agricultural practices, including input quantities, production levels, and environmental factors. The greenhouse industry has been active for several years, but due to a lack of awareness among those involved in the field, many producers struggle to achieve profitable outcomes. Moreover, this oversight can lead to significant environmental harm due to excessive energy consumption at the end of the production process. This research investigates the cultivation of various crop types grown in greenhouses, drawing on studies conducted by other researchers in the field.

Materials and Methods

The energy consumption involved in cultivating tomatoes was compared between field and greenhouse methods. Data was gathered through a questionnaire, which included general information about cultivation types, water resources, product inputs, and machinery used. Direct and indirect energy inputs were classified, and energy indexes were calculated based on this information. Statistical methods were employed to analyze the collected data. To estimate the energy consumed during tomato production, we first identified and measured all inputs and outputs. The energy associated with each input and output was then calculated by using the energy equivalent for each, multiplying it by the amount of input consumed or product produced.

Results and Discussion

The results indicated that total energy consumption for conventional farming systems was 81.73 GJ/ha, while for greenhouse systems it was significantly higher at 89.225 GJ/ha. In conventional systems, the primary energy input was electricity, followed by fertilizer. In contrast, for greenhouse systems, natural gas was the main energy source, with diesel as the second most utilized input. Despite the much higher energy consumption in greenhouse systems, the total income from greenhouse-grown tomatoes was three times greater than that from field-grown tomatoes. A key factor contributing to this higher income is the timing of product sales, as tomatoes from greenhouses are available in autumn, winter, and spring, periods when field tomatoes are scarce in the market.

Conclusion

Firstly, reducing energy consumption in this sector lowers production costs and increases profitability, while also ensuring the production of high-quality products. Secondly, by adopting new methods, we can minimize the inappropriate use of energy in production (such as fossil fuels, water, fertilizers, and

How to cite:
Seidi, E. Momenii, M. **(**2024**).** *Energy Analysis of Tomato Production in Open Field and Greenhouse.* Journal of Agricultural Mechanization, 9 (3):79-92. **https://doi.org/10.22034/ jam.2024.62744.1284**.

This is an open-access article under the CC BY NC license
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)

pesticides), which often leads to environmental destruction. Ultimately, implementing a greenhouse production system may be a more effective approach for the region. However, it is essential to incorporate innovations such as sustainable energy systems and optimal design parameters for structures and buildings.

The results of this study highlight the inefficiency of energy consumption in tomato cultivation. It was found that farmers do not properly implement the air-pile system in open-air cultivation, leading to inefficient water usage. This issue could be addressed by adopting modern irrigation methods used in the greenhouse sector. Additionally, the amount of fertilizer applied in tomato production is also inefficient. This inefficiency may stem from the inadequate use of chemical fertilizers based on soil tests.

The electricity consumed during the production process in power plants leads to significant environmental challenges, highlighting the need for cleaner and renewable energy sources for electricity generation. Modern techniques, particularly the use of solar energy, can greatly reduce reliance on fossil fuels and natural gas, while also lowering labor costs. Additionally, government support and incentives aimed at developing infrastructure for clean energy can encourage farmers to adopt these technologies. In greenhouse cultivation, the majority of energy usage comes from natural gas, fuel, and electricity. Therefore, promoting intelligent control systems to manage environmental conditions—such as temperature, humidity, ventilation, and carbon dioxide levels—can significantly decrease energy consumption in this sector.

نشریه
مکانیزاسیون کشاورزی
شاپا الکترونیکی: 2717-4107
درگاه نشریه: https://jam.tabrizu.ac.ir

مقاله پژوهشی

تحلیل انرژی تولید گوجه‌فرنگی در فضای باز و گلخانه

اسماعیل صیدی [1*]، مسعود مؤمنی [1]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۱

۱- گروه مهندسی کشاورزی - دانشکده کشاورزی - دانشگاه پیام نور - تهران - ایران
* مسئول مکاتبه E-mail:e-seidi@pnu.ac.ir

چکیده

یکی از محصولات پرمصرف کشاورزی در کشور گوجه‌فرنگی است. با توجه به اظهارات گلخانه‌داران، با قیمت‌های سال ۱۴۰۰ که بین ۴ تا ۶ هزار تومان متغیر برای هر کیلوگرم گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای است، تولید گلخانه‌ای گوجه‌فرنگی به صرفه نیست. لذا در این پژوهش مقدار و بهره‌وری مصرف نهاده‌های تولید این سیستم مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های مورد نیاز برای این مطالعه با تهیه پرسشنامه (به صورت مصاحبه حضوری با کشاورزان و مشاهده مراحل مختلف تولید) بدست آمد. به منظور برآورد انرژی مصرفی در جریان تولید گوجه‌فرنگی، ابتدا تمام نهاده‌های مصرفی و خروجی مربوطه تعیین و اندازه‌گیری شد، سپس با استفاده از معادل انرژی مربوط به هر یک از نهاده یا محصول تولید شده و ضرب این معادل در مقدار نهاده مصرف شده یا محصول تولید شده، انرژی ورودی و خروجی محاسبه گردید. نتایج نشان داد کل انرژی ورودی تولید گوجه‌فرنگی در سیستم فضای باز و گلخانه به ترتیب ۷۳/۱۵۴ و ۶۵/۱۲۴۵، و انرژی کل خروجی ۸۱/۷۳ و ۸۹/۲۲۵ گیگاژول بر هکتار بود. الکتریسیته با سهم ۶۰ درصد از کل انرژی مصرفی به عنوان پر مصرف‌ترین نهاده انرژی برای تولید گوجه‌فرنگی در فضای باز بدست آمد. در حالی که گاز مصرفی با سهم ۶۵/۵ درصد از کل انرژی مصرفی به عنوان پر مصرف‌ترین نهاده انرژی برای تولید گوجه‌فرنگی در سیستم گلخانه بدست آمد. دومین نهاده انرژی‌بر در تولید گوجه‌فرنگی فضای باز، کود شیمیایی با ۱۰ درصد انرژی مصرفی بود. در حالی که در تولید گوجه‌فرنگی گلخانه سوخت دیزل با ۲۱ درصد انرژی مصرفی به عنوان دومین نهاده انرژی بر مشخص شد. درآمد کل در تولید گوجه‌فرنگی در سیستم گلخانه بیشتر از مقادیر فضای باز در تولید این محصول می‌باشد. مقادیر درآمد کل در تولید گوجه‌فرنگی در فضای باز و گلخانه به ترتیب۷۳ و ۲۴۲ میلیون تومان بود. این امر ناشی از قیمت فروش بیشتر در موقع عرضه به بازار است.

کلمات کلیدی: انرژی مصرفی، گلخانه، گوجه‌فرنگی، نهاده‌های تولید

This is an open-access article under the CC BY NC license
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)

۱- مقدمه

امروزه کشاورزان به دنبال افزایش محصول هستند، ولی اطلاع کافی در مورد تجزیه و تحلیل الگوی مصرف انرژی ندارند. بنابراین انجام تجزیه و تحلیل انرژی ضروری است که به برنامه‌ریزان مزارع و سیاست‌گذاران به منظور بررسی انرژی مصرفی ارائه شود. تجزیه و تحلیل انرژی ستانده - نهاده ارتباط نزدیک با روش‌های کشاورزی، مقدار نهاده‌ها، سطح تولید و فاکتورهای زیست محیطی دارد. یکی از محصولات پرمصرف کشاورزی در کشور گوجه‌فرنگی است. با توجه به اظهارات گلخانه‌داران، با قیمت‌های سال ۱۴۰۰ که بین ۴ تا ۶ هزار تومان متغیر برای هر کیلوگرم گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای است، تولید گلخانه‌ای گوجه‌فرنگی به صرفه نیست. در این مقاله به بررسی کارایی انرژی نهاده‌های تولید در کشت گلخانه‌ای گوجه‌فرنگی در خاک پرداخته شده است و هدف آن بررسی کارایی انرژی نهاده‌های تولید است.

توان مکانیکی، نمود علمی کاربرد انرژی در کشاورزی است که این توان برای انجام دو نوع کار مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ کارهای کششی برای کشیدن وسایل در مزرعه و انجام کارهای درجا در مزرعه. کارهای کششی مزرعه شامل عملیات مختلف مراحل آماده‌سازی زمین، کاشت، برداشت و حمل و نقل (شخم زدن و آماده کردن زمین، کشت بذر و غیره) و کارهای درجا اکثرا مربوط به عملیاتی چون تلمبه کردن آب، کوبیدن خرمن، آسیاب کردن و سایر کارهای مشابه می‌باشد. در برخی دیگر از کارهای مزرعه نیز به صورت توأم از هر دو نوع استفاده می‌شود.

Beheshti Tabar et al., (2010) در تحقیقی در ایران طی سال‌های ۲۰۰۶-۱۹۹۰ انرژی‌های ورودی و خروجی برای تولید محصولات کشاورزی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که انرژی ورودی از۴۰/۳۲ گیگاژول بر هکتار در سال ۱۹۹۰ به۲۰/۳۷ گیگاژول بر هکتار در سال ۲۰۰۶ رسید. این در حالی است که انرژی خروجی نیز طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۶ افزایش یافت و از۳۰/۸۵ به ۶۸/۴۳ گیگاژول بر هکتار رسید و کارایی انرژی از ۰/۹۵ در سال ۱۹۹۶ به ۱/۱۷ در سال ۲۰۰۶ رسید و پر مصرف‌ترین نهاده‌های انرژی آبیاری و کودهای شمیایی برآورد شدند. Sha'banzade et al., (2014) با بررسی الگوی مصرفی انرژی محصول گوجه‌فرنگی در استان خراسان رضوی به این نتیجه رسیدند که تولید گوجه‌فرنگی در واحدهای تحت بررسی، به طور متوسط به۲/۴۳ گیگاژول در هکتار انرژی ورودی نیاز دارد که از این میزان، آب آبیاری با سهم ۳۰ درصد از کل انرژی ورودی بیشترین سهم را به خو داختصاص داده است و متوسط انرژی خروجی از سیستم نیز برابر با ۳/۳۵ گیگاژول در هکتار است و همچنین بهره‌وری انرژی و کارایی انرژی در واحدهای تحت بررسی به ترتیب ۶۸ کیلوگرم بر مگاژول و۰/۸۲ می‌باشند.

Hatirli et al., (2006) با بررسی الگوی استفاده از انرژی و ارتباط بین انرژی ورودی و عملکرد، برای تولید گوجه‌فرنگی در آنتالیای ترکیه به این نتیجه رسیدند که مزارع کوچک‌تر در مقایسه با مزارع بزرگ‌تر از نظر بازده انرژی کاراتر هستند و همچنین همه متغیرها مانند نیروی انسانی، سوخت، سموم شیمیایی، کود شیمیایی وکود حیوانی به جز انرژی بذر معنی‌دار بوده و در عملکرد نقش دارند، میزان متوسط انرژی مصرفی و میزان متوسط عملکرد محصول به ترتیب برابر با ۱۰۶۷۱۶/۲ مگاژول در هکتار و ۱۶۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار برآورد گردید. همچنین نسبت انرژی و انرژی ویژه به ترتیب برابر ۱/۲ و ۱۲۳۸/۳ مگاژول بر تن و بهره‌وری انرژی ۰/۰۹کیلوگرم بر مگاژول برآورد گردید. در این بین انرژی سوخت با ۳۴/۳۵ درصد، انرژی کود با ۲۷/۵۹ درصد و انرژی الکتریسیته با ۱۶/۰۱ درصد بیشترین مقادیر را داشتند.

Moghaddam, et al., (2011) در ارزیابی اقتصادی گلخانه‌های گوجه‌فرنگی و مزارع فضای باز تولیدگوجه‌فرنگی خراسان رضوی، نسبت منفعت به هزینه برای فضای باز را ۳۳/۲ و برای گلخانه‌ها ۳/۰۶ برآورد کردند. Ghaffarpour et al., (2024) گزارش دادند که بهترین الگوی قرارگیری سازه گلخانه‌ها برای به حداقل رساندن هزینه‌ها و البته کاهش مصرف انرژی، راستای غربی-شرقی است. آنها در این مطالعه فاکتورهایی نظیر انرژی مصرفی گرمایش، سرمایش، کنترل و اتوماسیون و نیز مقدار تبخیر و تعرق را مورد بررسی قرار دادند. Heidari & Omid (2011) در مطالعه دیگری به این نتیجه رسیدند که تولیدات گلخانه‌ای علی‌رغم اشتغال‌زایی بیشتر (۳۱/۶ - ۴۵/۱۸ برابر)، افزایش عملکرد به میزان ۶/۷ برابر، استفاده بهتر از منابع آب (افزایش بهره‌وری به میزان ۴/۸ برابر) و نیروی کار با بهره‌وری متوسط (۲/۵۷ برابر) و قیمت فروش بهتر (۲۷/۲ برابر) دارند اما نسبت به فضای باز دارای بازده اقتصادی کمتر، هزینه تولید بیشتر (۶/۲ برابر) و نیازهای سرمایه‌ای زیادتری (۴۶۱۶ برابر در واحد سطح و۱۴/۶ برابر تولید محصول است. علاوه بر این، سالم (۱۳۸۸) بیان نمود که تولید محصول خیار گلخانه‌ای و محصولات هندوانه، گوجه‌فرنگی، خربزه و خیار در فضای باز اقتصادی است. ولی تولید خیار گلخانه‌ای دارای اولویت اقتصادی بالاتر بوده و حداقل وسعت اقتصادی برای تولید خیار گلخانه‌ای ۱۸۰۰ متر و برای تولید محصولات سبزی و صیفی در فضای باز ۹۴/۱ هکتار می‌باشد.

بررسی اقتصادی نشان داد که کل هزینه صرف شده و میزان بازگشت خالص تولید سبزیجات گلخانه‌ای در محدوده ۵۷۴۶/۷-۴۴۲۳/۷ و ۳/۲۷۷۵-۶/۵۹۵ دلار در هزار متر مربع بوده و از میان کلیه سبزیجات گوجه‌فرنگی از همه سودآورتر است. تحلیل هزینه نشان داد که مهمترین هزینه‌ها، هزینه کارگر، ماشین ، اجاره زمین و هزینه آفت کش‌ها می‌باشد و مزارع بزرگ بهره‌وری اقتصادی بیشتری داشته‌اند (Lopez et al., 2019).

Salami et al., (2010) نسبت فایده به هزینه و سود خالص تولید توت فرنگی را به ترتیب۹۱/۷۴،۱۵۱۹۰۷/۱دلار بر هکتار برآورد کردند. Rahimi (2016) در پژوهش دیگری به بررسی اقتصادی کم آبیاری ارقام گوجه‌فرنگی در کشت نشایی پرداختند نتایج حاصل نشان

داد که با افزایش میزان آب آبیاری میزان عملکرد افزایش و کارایی مصرف آب کاهش می‌یابد. Argento et al., (2024) برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در گلخانه پیشنهادهایی ارائه نمودند که مهمترین آنها، مدیریت نور خورشید برای حداکثر کردن گرمایش طبیعی و البته به حداقل رساندن استفاده از سیستم سرمایش فن و پد بود. همچنین بهره‌گیری از خاک‌ورزی حفاظتی و روش آبیاری هوشمند را در کاهش چشم‌گیر مصرف انرژی مؤثر دانستند.

Taki et al., (2012) دریافتند که هزینه کل تولید خیار و گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای برای یک هکتار در استان اصفهان به ترتیب برابر ۳۱۹۵۶ و ۳۴۹۳۹ دلار می‌باشد. همچنین نسبت سود به هزینه را به ترتیب برابر ۷۹/۱ و ۷۴/۲ بدست آوردند.

۳- مواد و روش‌ها

حجم و روش نمونه گیری: برای برآورد حجم نمونه در سیستم فضای باز ابتدا درصد سهم هر کدام از محصولات از مقدار مجموع سطوح زیر کشت برآورد گردید و در رابطه (۱) جای‌گذاری شده است (Nooraeifar et al., 2015). با توجه به محاسبات آماری انجام شده اطلاعات از سطح ۲۱۱ بهره‌بردار سیستم فضای باز که با استفاده از مشاهده، مصاحبه و تکمیل پرسشنامه جمع آوری گردید و برای سیستم گلخانه، کلیه واحدهای موجود در منطقه سرشماری گردید.

$$n = \frac{P_q \times t^2}{d^2} \qquad (1)$$

در این رابطه n حجم نمونه؛ P، سهم سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی از مجموع سطوح زیر کشت گوجه‌فرنگی در استان همدان)؛ t ضریب اطمینان (۹۶/۱) و d دقت احتمالی مطلوب (۰/۰۵) می‌باشد.

جمع آوری اطلاعات: داده‌های مورد نیاز برای این مطالعه با تهیه پرسشنامه (به صورت مصاحبه حضوری با کشاورزان و مشاهده مراحل مختلف تولید) بدست آمد. پرسشنامه مورد نظر شامل هفت بخش بود: بخش اول شامل مشخصات عمومی بهره‌بردار و زمین (سن، میزان تحصیلات، نوع مالکیت، تعداد قطعات زمین، مساحت مزرعه، محصول کشت شده، نوع کشت مورد نظر، عملکرد محصول و طول دوره)، بخش دوم منابع تأمین آب که شامل اطلاعاتی از قبیل؛ منبع تأمین آب، روش آبیاری، تعداد دفعات آبیاری و مدت زمان آبیاری در هر نوبت بود. بخش سوم نهاده‌های مصرفی که حاوی اطلاعاتی در مورد میزان مصرف بذر، کود و سم مورد نیاز و هزینه‌های آنها بود. بخش چهارم، نیروی انسانی و هزینه‌های مربوطه که شامل اطلاعاتی در مورد تعداد کارگر مورد نیاز برای عملیات مختلف (خاکورزی، کاشت، داشت و برداشت) و تعداد انجام هر عملیات و زمان و دستمزد کارگران بود. بخش پنجم نهاده‌های ماشین که این بخش شامل اطلاعاتی راجع به تراکتور و ادوات مورد استفاده، وزن دستگاه‌ها و تعداد هر عملیات، سوخت مصرفی، تعداد کارگر مورد نیاز، دستمزد و زمان صرف شده در هر عملیات خاکورزی و کاشت، داشت و برداشت)، بخش ششم نیز اطلاعات فروش که شامل اطلاعاتی در مورد زمان برداشت، نحوه فروش و قیمت محصول هنگام فروش می‌باشد. بخش هفتم که مختص گلخانه‌داران و اطلاعات مربوط به تأسیسات و سازه که شامل جنس پوشش، دوام پوشش، تعداد لایه‌های پوشش، مواد اسکلت، نوع سیستم‌ها (گرمایش، تهویه، سرمایش، نوردهی و آبیاری) و نوع و مقدار انرژی یا سوخت مصرفی هر یک از این سیستم‌ها و هزینه‌های مربوط به آنها بود.

اشکال مختلف انرژی نهاده‌ها در تولید گوجه‌فرنگی: انرژی در تولید محصولات به دو نوع مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شود:

- انرژی‌های مستقیم شامل انرژی‌های مربوط به نیروی انسانی، استحصال آب آبیاری، الکتریسیته و سوخت دیزل می‌باشد.
- انرژی‌های غیرمستقیم شامل انرژی‌های مربوط به بذور، ماشین‌های کشاورزی، کود حیوانی، کود شیمیایی، سموم شیمیایی و پلاستیک می‌باشد (Mohammadi, and Omid, 2010).

هر یک از این دو نوع انرژی مستقیم و غیرمستقیم خود به دو نوع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر[1] تقسیم می‌شوند:

- انرژی‌های تجدیدپذیر شامل انرژی‌های مربوط به نیروی انسانی، بذر، استحصال آب آبیاری و کود حیوانی می‌باشد.
- انرژی‌های تجدیدناپذیر شامل انرژی مربوط به سوخت دیزل، پلاستیک، کودهای شیمیایی، الکتریسیته، سموم شیمیایی و ماشین‌های کشاورزی می‌باشد.

محاسبه انرژی مصرفی: به منظور برآورد انرژی مصرفی در جریان تولید گوجه‌فرنگی، ابتدا تمام نهاده‌های مصرفی و خروجی مربوطه تعیین و اندازه‌گیری شد، سپس با استفاده از معادل انرژی مربوط به هر یک از نهاده یا محصول تولید شده و ضرب این معادل در مقدار نهاده مصرف شده یا محصول تولید شده، انرژی ورودی و خروجی محاسبه گردید. در جدول ۱ معادل‌های انرژی برای محاسبه انرژی هر نهاده یا خروجی آورده شده است.

[1]-Nonrenewable Energy

جدول ۱. معادل‌های انرژی ورودی و خروجی
Table1. Input and output energy equilibrium

نهاده‌ها	واحد	معادل انرژی (مگاژول بر واحد)
نیروی کار	h	۱/۹۶
ماشین‌ها	h	۶۲/۷۰
سوخت دیزل	L	۵۶/۳۱
گاز طبیعی	m^3	۴۹/۵
آب آبیاری	m^3	۰/۶۳
الکتریسیته	kwh	۱۱/۹۳
پلاستیک	kg	۱۵۸/۲
کود حیوانی	kg	۰/۳
نیتروژن	kg	۶۶/۱۴
فسفر	kg	۱۲/۴۴
پتاسیم	kg	۱۱/۱۵
حشره‌کش	kg	۱۹۹
قارچ‌کش	kg	۹۲
علف‌کش	kg	۲۳۸
کنه‌کش	kg	۱۰۰
بذر	kg	۱
ستانده‌ها		
گوجه‌فرنگی	kg	۰/۸

انرژی ماشین‌ها، ابزار و ادوات: برای محاسبه انرژی مربوط به ماشین‌ها و ادوات از رابطه (۲) استفاده شد.

$$ME = Hr \times E \qquad (2)$$

در این رابطه ME، انرژی غیرمستقیم ماشین‌ها بر حسب مگاژول بر هکتار (MJ/ha)، E، محتوای انرژی ماشین بر حسب مگاژول بر ساعت (MJ/hr) و Hr مدت زمان استفاده از ماشین (مجموع ساعات برای کلیه عملیات دریک هکتار) می‌باشد.

انرژی نیروی انسانی (E_I): محاسبه انرژی مصرفی نیروی انسانی، طبق رابطه (۳) با مشخص بودن میزان نفر ساعت برای هر عملیات، و معین بودن محتوای انرژی آن، سهم انرژی معادل هر کارگر مشخص شد.

$$E = W_i \times E_i \qquad (3)$$

که در این رابطه E انرژی نیروی کارگری برحسب مگاژول بر هکتار W_i (MJ/ha)، تعداد کارگر برحسب نفر بر هکتار (n/ha) و E_i، انرژی معادل به ازای هر کارگر برحسب مگاژول (MJ/n) می‌باشد.

انرژی آب آبیاری: انرژی مورد نیاز برای تأمین آب آبیاری در طی فصل رشد هم به صورت مستقیم و هم به صورت غیرمستقیم محاسبه می‌گردد. در نوع مستقیم، انرژی لازم جهت استحصال و انتقال آن در واحد هکتار محاسبه می‌شود. نظر به اینکه برای استحصال آب از الکتروپمپ‌ها و موتور پمپ‌های دیزلی استفاده می‌شد از طریق رابطه (۴) و معادل انرژی ثبت شده توسط سایر محققین انرژی مصرفی آب آبیاری در هکتار برآورد گردید (Kitani, 1999)

$$E_{wat} = W_w \times E_w \qquad (4)$$

که در این رابطه E_{wat} انرژی آب آبیاری برحسب مگاژول بر هکتار(W_w ؛MJ/ha)، متوسط حجم آب مصرفی بر حسب لیتر در هکتار (L/ha) و E_w، معادل انرژی استحصال آب آبیاری برحسب مگاژول بر لیتر (MJ/L) می‌باشد.

انرژی الکتریسیته: برای برآورد میزان انرژی الکتریسیته مصرفی در هکتار که در مناطق مورد مطالعه استفاده شد، از معادل انرژی ذکر شده در جدول و میزان الکتریسیته مصرفی در هر هکتار، از رابطه (۵) استفاده شد (Mosavi et al., 2014).

$$E_{elec} = W_e \times E_e \qquad (5)$$

در این رابطه E_{elec} انرژی الکتریسیته مصرفی برحسب مگاژول بر هکتار (MJ/ha)؛ E_e معادل انرژی الکتریسیته برحسب مگاژول بر کیلووات ساعت $(MJ/kW-h)$ و W_e، میزان الکتریسیته مصرفی برحسب کیلووات ساعت بر هکتار $(kW-h/ha)$ می‌باشد.

کل انرژی خروجی(E_{out}): برای محاسبه انرژی خروجی بایستی مقدار عملکرد در واحد سطح را در محتوای انرژی محصول طبق رابطه (۶) ضرب نمود.

$$E_{out} = Y \times I \qquad (6)$$

در این رابطه E_{out} انرژی خروجی برحسب مگاژول Y (MJ)، کل محصول تولیدی در دوره برحسب کیلوگرم (kg)، و I معادل انرژی محصول تولیدی برحسب مگاژول بر کیلوگرم (MJ/kg) می‌باشد.

محاسبه شاخص‌های انرژی: شاخص‌ها به عنوان ابزاری هستند که امکان شناخت جامع از وضعیت انرژی در کشاورزی در نتیجه مقایسه سیستم‌ها با یکدیگر و مطالعه جزء به جزء آنها را با یکدیگر مهیا می‌سازند. چند شاخص اصلی شامل؛ افزوده خالص انرژی، شدت انرژی، و بهره‌وری انرژی از منظر اقتصادی مورد بررسی قرارگرفت.

نسبت انرژی[1]: نسبت انرژی بیانگر نسبت بین کالری گرمایی محصولات خروجی و کل انرژی صرف شده در عوامل تولید است و فاقد واحد می‌باشد و از تقسیم انرژی ستانده به انرژی نهاده، نسبت انرژی به دست می‌آید، نسبت انرژی طبق رابطه (۷) برآورد شد (Mosavi., 2016).

1-Energy Ratio

$$ER = \sum E_{out} \; / \sum E_{in} \qquad (7)$$

در این رابطه ER، نسبت انرژی (بدون واحد) و E_{in}، انرژی ورودی برحسب مگاژول بر هکتار (MJ/ha) می‌باشد.

بهره‌وری انرژی[1]: نسبت وزن محصول ستانده به کل انرژی نهاده در واحد سطح، بهره‌وری انرژی نامیده می‌شود و با کیلوگرم برمگاژول مشخص می‌شود. بهره‌وری انرژی در یک سیستم تولیدی را می‌توان با کاهش انرژی مصرفی در تولید نهاده یا با افزایش عملکرد محصول و یا با تغییر در هر دو بهبود بخشید. این شاخص یکی از مهمترین شاخص‌ها برای مقایسه سیستم‌های تولیدی است. رابطه (۸) نشان دهنده این نسبت (Ozcan et al,. 2013) .

$$P = \frac{Y}{\sum E_{in}} \qquad (8)$$

در این رابطه فوق P، بهره‌وری انرژی برحسب کیلوگرم بر مگاژول Y (Kg/MJ)، عملکرد برحسب کیلوگرم بر هکتار (kg/ha) و E_{in}، انرژی ورودی برحسب مگاژول بر هکتار (MJ/ha) می‌باشد.

شدت انرژی[2]: شدت انرژی نسبت کل انرژی نهاده به وزن محصول ستانده در واحد سطح می‌باشد و برحسب مگاژول برکیلوگرم مشخص می‌شود. این شاخص عکس بهره‌وری انرژی می‌باشد و بیان کننده انرژی مصرفی برای تولید هرواحد از محصول است که بسته به نوع محصول کشاورزی، موقعیت و زمان متفاوت می‌باشد و طبق رابطه (۹) قابل برآورد است(Kitani., 1999).

$$SE = \frac{\sum E_{in}}{Y} \qquad (9)$$

در این رابطه SE، شدت انرژی برحسب مگاژول بر کیلوگرم (MJ/Kg)؛ E_{in} انرژی ورودی برحسب مگاژول بر هکتار (MJ/ha)وY، عملکرد برحسب کیلوگرم بر هکتار (kg/ha) می‌باشد.

افزوده خالص انرژی[3]: افزوده خالص انرژی، تفاوت مقدار کل انرژی ستانده با انرژی نهاده است. این شاخص در یکای سطح تعریف می‌شود و طبق رابطه (۱۰) قابل برآورد است (Kitani., 1999).

$$NE = \sum E_{out} - \sum E_{in} \qquad (10)$$

در این رابطه NE، افزوده خالص انرژی بر حسب مگاژول بر هکتار (MJ/ha)؛ E_{out}، انرژی خروجی برحسب مگاژول (MJ/ha) و E_{in}، انرژی ورودی برحسب مگاژول بر هکتار (MJ/ha) می‌باشد.

شدت انرژی از منظر اقتصادی: شدت انرژی از منظر اقتصادی شاخصی برای تعیین کارایی انرژی در سطح اقتصاد ملی بوده که از تقسیم مصرف نهایی انرژی (یا عرضه انرژی اولیه بر تولید ناخالص داخلی محاسبه می‌گردد.

محاسبه شاخص‌های اقتصادی

ارزش ناخالص[4]: ارزش ناخالص از حاصل ضرب عملکرد محصول در قیمت فروش محصول و طبق رابطه (۱۱) برآوردگردید (Rezvani et al., 2011).

$$GV = Y \times P \qquad (11)$$

در این رابطه GV، ارزش ناخالص تولید برحسب ریال بر هکتار Y (R/ha)، عملکرد محصول برحسب کیلوگرم در هکتار (kg/ha)و P، قیمت فروش برحسب ریال بر کیلوگرم (R/kg) می‌باشد.

درآمد ناخالص[5]: از تفاضل ارزش ناخالص تولید و هزینه‌های متغیر تولید طبق رابطه (۱۲) برآورد گردید .(Rezvani et al., 2011)

$$GR = GV - VC \qquad (12)$$

در این رابطه GR، درآمد ناخالص برحسب ریال بر هکتار (R/ha)؛ GV، ارزش ناخالص تولید برحسب ریال بر هکتار (R/ha) و VC[6]، هزینه‌های متغیر برحسب ریال بر هکتار (R/ha) می‌باشد.

نسبت فایده به هزینه[7]: عبارت است از نسبت ارزش ناخالص محصول بر هزینه کل تولید که طبق رابطه (۱۳) برآورد شد (Kuswardhani et al., 2013).

$$B - C = \frac{GV}{TC} \qquad (13)$$

در این رابطهB-C نسبت فایده به هزینه (بدون واحد)؛ GV، ارزش ناخالص تولید برحسب ریال بر هکتار (R/ha) و TC، کل هزینه تولید برحسب ریال بر هکتار (R/ha) می‌باشد.

۴- نتایج و بحث

استفاده از نهاده‌های انرژی و بکارگیری نامناسب انرژی‌های موجود و تغییر در سیستم زراعی جهت بالا بردن عملکرد در واحد سطح ومسائل زیست محیطی باعث به خطر افتادن آینده انسان ومحیط زیست گردیده است. لذا بایستی قبل از هر گونه تغییر در سامانه زراعی، ارزیابی تاثیرات آن بر اکوسیستم‌های آبی و خاکی مد نظر قرار گیرد. در ابتدا میزان مصرف نهاده‌های مختلف و همچنین میزان ستانده‌ها در تولید محصول گوجه‌فرنگی تحت کشت در فضای باز و گلخانه تعیین گردید (جدول ۲). سپس انرژی معادل هر یک از این نهاده‌ها و انرژی ستانده برآورد شد. شاخص‌های مصرف انرژی در تولید هر دو محصول

1-Productivity Energy
2-Specific Energy
3-Net Energy
4-Gross Value
5-Gross return
6-Variable cost
7-Benefit-Cost Ratio

محاسبه شده و نتایج بدست آمده مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. در بخش دیگری از این مطالعه، به بررسی هزینه‌ها و درآمدهای حاصل از کشت محصول پرداخته شد و شاخص‌های اقتصادی بدست آمده از آن ارائه گردید.

تحلیل انرژی در دو سیستم کشت فضای باز و گلخانه: میزان انرژی مصرفی در تولید محصول گوجه‌فرنگی تحت دو سیستم کشت فضای باز و گلخانه، میزان انرژی مصرفی هر یک از نهاده‌ها (نیروی انسانی، سوخت دیزل، گاز طبیعی، الکتریسیته، آب آبیاری، ماشین‌ها، سموم شمیایی، کود شیمیایی، کود حیوانی و بذور) و میزان انرژی محصول در تولید محصول ذکر شده در جدول ۲. مشخص شده است. میزان کل انرژی مصرفی در تولید محصول گوجه‌فرنگی تحت کشت فضای باز و گلخانه به ترتیب ۱۷۵/۶۴۲ و ۱۲۷۰/۹۵۰ گیگاژول بر هکتار می‌باشد. Ahmadbeyki et al., (2023) کل انرژی مصرفی برای تولید گوجه‌فرنگی و خیار گلخانه‌ای در اطراف تهران را ۴۰۵/۷۵ گیگاژول بر هکتار برآورد کردند که قسمت اعظم آن به مصرف سوخت‌های فسیلی جهت گرمایش فضای گلخانه مربوط بود و همچنین Raheli et al., (2017) کل انرژی مصرفی را برای تولید گوجه‌فرنگی مزرعه ۶۴ گیگاژول بر هکتار محاسبه کردند که با کل انرژی ورودی برای محصول گوجه‌فرنگی فضای باز و گلخانه در همدان تفاوت دارد.

جدول ۲. میانگین مصرف نهاده‌ها برای تولید محصول گوجه‌فرنگی در دو سیستم فضای باز و گلخانه

Table2. Mean of energy use in two production system of greenhouse and farm

نهاده‌های ورودی	فضای باز		گلخانه		معنی‌داری
	میزان مصرف (واحد بر هکتار)	محتوای انرژی (گیگاژول بر هکتار)	میزان مصرف (واحد بر هکتار)	محتوای انرژی (گیگاژول بر هکتار)	
نیروی انسانی (ساعت)	۲۳۹۹/۸۳	۷/۴	۳۹۹۷/۵۶	۷/۸۳	۰/۰۵۷^{ns}
سوخت (لیتر)	۱۶۸/۷۳	۹/۵	۵۴۸۸/۲۵	۳۰۹/۰۴	۰/۰**
گاز طبیعی (متر مکعب)	-	-	۱۵۱۰۰/۸۱	۷۴۷/۴۹	
الکتریسیته (کیلو وات ساعت)	۷۷۰۸/۳۱	۹۱/۹۶	۱۰۰۳۲/۸۱	۱۱۹/۶۹	۰/۰**
آب آبیاری (متر مکعب)	۷۲۲۶/۰۵	۴/۵۵	۳۹۱۰/۴۶	۲/۴۶	۰/۰**
ماشین‌ها (ساعت)	۴۸/۶۹	۳/۰۵۳	۵۵/۲۷	۳/۴	۰/۰۱۶*
پلاستیک (کیلوگرم)	۹۳/۲۷	۱۴/۷۵	۱۲۱/۹۵	۱۹/۲۹	۰/۰**
سموم شیمیایی (کیلوگرم)	۱۷/۶۵	۲/۷۵	۱۷/۲۲	۲/۳۹	۰/۰**
حشره کش	۸/۳۹	۱/۶۷	۶/۶۵	۱/۳۲	۰/۰۳۹*
علف کش	۱/۳۵	۰/۳۲	۰/۴۵	۰/۱	۰/۰**
کنه کش	۵/۶۷	۰/۵۶۷	۵/۹۱	۰/۵۹	۰/۹۳۳^{ns}
قارچ کش	۲/۲۴	۰/۲	۴/۲۱	۰/۳۸	۰/۰**
کودهای شیمیایی (کیلوگرم)	۷۲۱/۹	۱۵/۴۵	۱۲۶۶/۳۷	۲۲/۹۱	۰/۰**
نیتروژن	۴۵۱/۴۱	۱۳/۷۳	۶۴۷/۳۹	۱۹/۶۹	۰/۰**
فسفر	۱۴۶/۹۸	۰/۵۴	۳۳۰/۸۶	۱/۲۳	۰/۰**
پتاسیم	۱۱۹/۷۴	۰/۷۳	۲۸۶/۰۸	۱/۷۵	۰/۰**
ریز مغذی‌ها	۳/۷۷	۰/۴۵	۲/۰۴	۰/۲۴	۰/۲۴۶^{ns}
کود حیوانی (کیلوگرم)	۲۶۷۳۴/۸۴	۸/۰۲	۳۷۱۹۵/۶	۱۱/۱۵	۰/۰**
بذر	۲/۰۱	۰/۰۰۲	۰/۱۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰**
کل ورودیها		۱۷۵/۶۴۲		۱۲۴۵/۶۵	
خروجی					
گوجه‌فرنگی (کیلوگرم)	۲۷/۹۲	۷۳/۸۱	۳۶/۲۸۲	۲۲۵/۸۹	۰/۰**

ns, *, ** به ترتیب تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و عدم تفاوت معنی دار

انرژی نیروی انسانی: طبق جدول ۲ در یک هکتار مزرعه گوجه‌فرنگی در سیستم کشت فضای باز و گلخانه به ترتیب ۸۳/۲۳۹۹ و ۵۶/۳۹۹۷ ساعت کار توسط نیروی کارگری برای انجام عملیات برداشت، وجین کردن علف‌های هرز، پخش کود، سم پاشی و آبیاری انجام گرفت. انرژی معادل نیروی انسانی برای محصول گوجه‌فرنگی در دو سیستم ذکر شده به ترتیب۷/۴ و ۷/۸۳ گیگاژول بر هکتار می‌باشد. طبق نتایج، در تولید گوجه‌فرنگی تفاوت معنی‌داری بین دو سیستم مشاهده نشد. باید متذکر شد که در مزارع مربوطه عملیات برداشت، وجین و پخش کود دامی به صورت کامل با دست انجام می‌شد؛ بنابراین

کاربرد ماشین وجین‌کن، پخش‌کن کود دامی و سایر عملیات برای صرفه جویی در نیروی انسانی ضروری به نظر می‌رسد.

انرژی سوخت مصرفی: به طور متوسط در هر هکتار مزرعه گوجه‌فرنگی در سیستم فضای باز و سیستم گلخانه به ترتیب ۷۳/۱۶۸و۲۵/۵۴۸۸ لیتر سوخت مورد استفاده قرار می‌گیرد. انرژی معادل سوخت در تولید گوجه‌فرنگی در دو سیستم به ترتیب۵/۹ و ۴/۳۰۹ گیگاژول بر هکتار بود. با توجه به نتایج، تفاوت میزان مصرف سوخت در تولید محصول گوجه‌فرنگی در بین دو سیستم کشت فضای باز و گلخانه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. با توجه به جدول ۲ میزان سوخت مصرفی در تولید محصول گوجه‌فرنگی در سیستم فضای باز کمتر از میزان معادل در سیستم گلخانه‌ای می‌باشد. سوخت مصرفی به طور عمده برای حرکت تراکتور و انجام عملیات خاکورزی و در گلخانه‌ها جهت گرمایش استفاده می‌شد. با توجه به بررسی‌های انجام شده در مناطق مورد مطالعه تراکتورهای مورد استفاده عمدتا فرسوده بودند. در مناطق مورد مطالعه عملیات خاکورزی در بعضی از واحدها چندین مرتبه صورت می‌گرفت و از منابع توان به درستی استفاده نمی‌شد و در بین گلخانه‌ها به خاطر فرسوده بودن پوشش و همچنین به خاطر عدم اطلاع از نیاز دقیق گیاهان به گرمایش و سرمایش و استفاده نکردن از وسایل و ادوات مدرن، انرژی چشمگیری هدر می‌رفت.

انرژی الکتریسیته: الکتریسیته مصرفی برای پمپاژ آب آبیاری در بیش تر مزارع استفاده می‌شد و در مزارع محدودی به علت دیزلی بودن سیستم پمپاژ آب از الکتریسیته استفاده نمی‌گردید و به طور متوسط در مزارع تولید گوجه‌فرنگی در سیستم فضای باز و گلخانه به ترتیب۷۷۰۸/۳۱و ۱۰۰۳۲/۸۱ کیلووات ساعت الکتریسیته مصرف می‌شد. انرژی معادل در محصول گوجه‌فرنگی در دو سیستم مذکور به ترتیب۹۶/۹۱و ۶۹/۱۱۹گیگاژول بر هکتار می‌باشد. طبق نتایج مقدا رالکتریسیته مصرفی محصول گوجه‌فرنگی در سیستم فضای باز در مقایسه با سیستم کشت گلخانه درسطح ۱ درصد معنی‌دار بود.

انرژی آب آبیاری: به منظور تأمین توان و استحصال آب، نیاز به موتورهای پمپ دیزل و یا الکتریسیته می‌باشد که در این تحقیق اکثریت مزارع دارای موتور پمپ‌های الکتریکی برای استحصال آب بودند. میزان آب مصرفی طبق جدول ۲ برای تولید گوجه‌فرنگی فضای باز و گلخانه به ترتیب ۷۲۲۶/۰۵و ۳۹۱۰/۴۶ متر مکعب در هکتار می‌باشد. انرژی مصرفی معادل آب آبیاری در تولید گوجه‌فرنگی در دو سیستم مذکور به ترتیب ۴/۵۵ و ۲/۴۶ گیگاژول بر هکتار می‌باشد. میزان آب مصرفی در تولید گوجه‌فرنگی در دو سیستم مورد بررسی در سطح ۱ درصد معنی‌داربود. این امر می‌تواند به دلیل فصل کاشت محصول و نیازهای متفاوت آبیاری در دو سیستم کشت باشد.

انرژی ماشین‌ها: مطابق با جدول ۲ میزان استفاده از ماشین‌های کشاورزی در مزارع تولید گوجه‌فرنگی فضای باز و گلخانه به ترتیب ۴۸/۶۹و ۵۵/۲۷ ساعت می‌باشد. انرژی معادل ماشین در سیستم فضای باز و سیستم گلخانه برای گوجه‌فرنگی به ترتیب ۳/۰۵۳و ۳/۴گیگاژول بر هکتار می‌باشد. میزان استفاده از ماشین‌ها در تولید گوجه‌فرنگی در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. عمده استفاده از ماشین‌های کشاورزی در فضای باز شامل تراکتور، گاوآهن، دیسک و در فضای گلخانه شخم و سم پاشی است. از ماشین‌های کشاورزی به دلیل انجام عمده عملیات وجین و برداشت توسط نیروی انسانی کمتر استفاده می‌گردد و بیشتر محدود به عملیات خاک ورزی و تهیه زمین بود.

انرژی سموم شیمیایی: به طور متوسط برای مزارع تولید گوجه‌فرنگی فضای باز و گلخانه به ترتیب ۱۷/۶۵و ۱۷/۲۲کیلوگرم در هکتار سموم شیمیایی شامل حشره کش، کنه کش، علف کش و قارچ کش استفاده میشد. انرژی سموم در سیستم فضای باز و سیستم گلخانه تولید گوجه‌فرنگی به ترتیب۲/۷۵و ۲/۳۹گیگاژول بر هکتار است. میزان مصرف سموم در محصول گوجه‌فرنگی در دو سیستم کشت در سطح ۱ درصد معنی‌دار بودند.

انرژی کود شیمیایی: مهم‌ترین کودهای مصرفی در مزارع گوجه‌فرنگی، کودهای نیتروژن، فسفات و پتاسیم می‌باشند. همان طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود جمعاً ۷۲۱/۹و ۱۲۶۶/۳۷ کیلوگرم کود شیمیایی در هکتار برای تولید گوجه‌فرنگی در دو سیستم فضای باز و گلخانه استفاده شده است. انرژی معادل کودهای شیمیایی در سیستم فضای باز و سیستم گلخانه در تولید گوجه‌فرنگی به ترتیب ۱۵/۴۵ و ۲۲/۹۱گیگاژول بر هکتار است. میزان مصرف کودهای شیمیایی در محصول گوجه‌فرنگی در مقایسه با فضای باز درسطح ۱ درصد معنی‌دار بودند مهم‌ترین دلایل مصرف بالای کود در مزارع عدم آگاهی کشاورزان از زمان و میزان کوددهی است. اگر در ابتدای کاشت و تمام مراحل رشد از خاک مزرعه و گیاه نمونه‌گیری صورت گیرد با توجه به نتایج آنالیز خاک و گیاه می‌توان میزان دقیق مصرف کود را محاسبه نمود و از آلودگی و شوری خاک و آلودگی آب‌های زیرزمینی جلوگیری به عمل آورد ضمن اینکه باعث صرفه جویی در مصرف انرژی و افزایش کارایی اقتصادی نیز می‌شود.

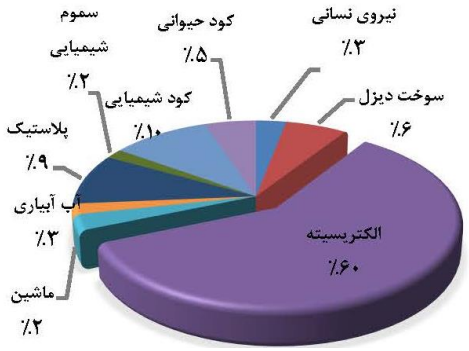
انرژی کود حیوانی: اغلب کود مصرفی حیوانی، کود دامی می‌باشد، که توسط نیروی انسانی در مرحله آماده سازی زمین استفاده می‌شد. برای هر هکتار تولید گوجه‌فرنگی تحت سیستم فضای باز و گلخانه به ترتیب ۲۶۷۳۴/۸۴و ۳۷۱۹۵/۶کیلوگرم کود حیوانی مصرف شد. انرژی معادل کود حیوانی در تولید گوجه‌فرنگی در دو سیستم مذکور به ترتیب۸/۰۲و ۱۱/۱۵گیگاژول بر هکتار بود.

انرژی محصول گوجه‌فرنگی: متوسط عملکرد گوجه‌فرنگی در سیستم فضای باز و سیستم گلخانه به ترتیب۲۷/۹۲ و ۳۶/۲۸۲ تن در هکتاربود. بین میزان عملکرد محصول گوجه‌فرنگی در دو سیستم کشت و کار در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید. Khoshnevisan et al., (2013) متوسط انرژی خروجی برای محصول گوجه‌فرنگی گلخانه را ۲۱۸ گیگاژول بر هکتار محاسبه کردند.

Nooraeifar et al., (2015) کل انرژی خروجی در تولید گوجه‌فرنگی را ۴۸۴۱ گیگاژول بر هکتار بدست آوردند. که با کل انرژی خروجی برای محصول گوجه‌فرنگی در همدان تفاوت دارد.

انرژی گاز مصرفی برای گوجه‌فرنگی: مقدار گاز مصرفی برای گوجه‌فرنگی گلخانه۱۵۱۰۰/۸۱متر مکعب محاسبه شد که انرژی آن۷۴۷/۴۹ گیگازول بود. همچنین بیشترین میزان مصرف گاز مصرفی در شب و در فصل زمستان بود.

سهم انرژی نهاده‌های مختلف در تولید گوجه‌فرنگی تحت کشت در فضای باز و گلخانه: طبق شکل۱ الکتریسیته در تولید گوجه‌فرنگی در سیستم فضای باز با مقادیر ۶۰ و ۵۲ درصد از کل انرژی مصرفی، بیشترین سهم را در نهاده‌های مصرفی داشت. گاز طبیعی با۶۵/۵ درصد از کل انرژی مصرفی، بیشترین نهاده‌های انرژی بر در بین دیگر نهاده‌ها به ترتیب برای تولید گوجه‌فرنگی درسیستم گلخانه را به خود اختصاص داد. در تولید گوجه‌فرنگی فضای باز و گلخانه به ترتیب کود شیمیایی و سوخت دیزل در رتبه دوم نهاده‌های مصرفی قرارگرفته اند. Khoshnevisan et al., (2014) در پژوهشی بیشترین سهم نهاده‌ها را برای تولید گوجه‌فرنگی گاز طبیعی و الکتریسیته برآورد کردند. و نیز برای تولید خربزه و پنبه در شهرستان جام بیشترین سهم انرژی مصرفی برای تولید خربزه و پنبه را انرژی برق آب آبیاری و کود شیمیایی بدست آوردند. Nikolaou et al., (2021) در تولید خیار و گوجه گلخانه‌ای در مناطق دارای آب و هوای مدیترانه‌ای بیشترین سهم نهاده‌ها در مصرف انرژی را سوخت‌های فسیلی و الکتریسیته برآورد کرد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد و جایگزینی آنها با انرژی‌های تجدید پذیر را پیشنهاد داد. Loghmanpour et al., (2013) بالاترین سهم از انرژی ورودی را برای تولید خیار در فضای باز الکتریسیته محاسبه کردند که با نتایج گوجه‌فرنگی و خیار فضای باز در همدان مطابقت دارد. Heidari & Omid (2011) و Loghmanpour et al., (2013) برای تولید خیار گلخانه‌ای و Pahlavan et al., (2011) بالاترین سهم در بین انرژی‌های ورودی را سوخت دیزل محاسبه کردند.



شکل ۱- سهم انرژی هر یک از نهاده‌های مصرفی در تولید گوجه‌فرنگی در فضای باز

Fig 1. Proportion of energy consumption in open field tomato production

شاخص‌های انرژی: در جدول ۳ شاخص‌های انرژی برای تولید گوجه‌فرنگی در دو سیستم فضای باز و گلخانه آورده شده‌اند.

نسبت انرژی: در تولید گوجه‌فرنگی تحت کشت فضای باز و سیستم گلخانه به ترتیب ۰/۴۸و ۰/۲۴ بود. این نسبت نشان می‌دهد که به ازای هرمگاژول انرژی ورودی به ترتیب۰/۴۸، ۰/۲۴ مگاژول انرژی تولید شده است. به منظور بهبود این شاخص می‌توان عملکرد خروجی را بالا برده یا انرژی ورودی را کاهش داد یا هر دو مورد را مد نظر قرار داد. نسبت انرژی در تولید محصول گوجه‌فرنگی تحت کشت فضای باز در مقایسه با گلخانه معنی‌دار شده است. این امر می‌تواند به دلیل تفاوت عملکرد و یا متغیر بودن مصرف نهاده‌ها در دو سیستم ذکر شده باشد. Sha'banzade (2014) نسبت انرژی برای محصول گوجه‌فرنگی را ۰/۸۲ Pahlavan et al., (2011) برای تولید خیار گلخانه‌ای ۰/۲۷، Zare' Chahooki et al., (2014) برای تولید گندم۰/۴۷ و Khoshnevisan et al., (2014) نسبت انرژی را برای تولید خیار و گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای به ترتیب۰/۱۲ و۰/۱۷ بدست آوردند. که نشان از متفاوت بودن نسبت‌های انرژی برای محصولات متفاوت و مکان‌های متفاوت می‌باشد.

بهره‌وری انرژی: در این مطالعه برای تولید گوجه‌فرنگی کشت در فضای باز و گلخانه به ترتیب۶۰۲/۹۹و۳۰۵/۹۷کیلوگرم بر گیگاژول بدست آمد که نشان دهنده مقدار محصول تولیدی (کیلوگرم) به ازای یک گیگاژول انرژی می‌باشد. بهره‌وری انرژی در تولید محصول گوجه‌فرنگی در سطح ۱درصد معنی‌دار نشده است. این امر می‌تواند به دلیل تفاوت عملکرد و یا انرژی ورودی کل یا به عبارت دیگر متغیر بودن مصرف نهاده‌ها برای هر دو سیستم کشت گوجه‌فرنگی باشد. با این تفاسیر Kenari et al., (2017) بهره‌وری انرژی را برای خیار گلخانه ۰/۶۵۵، Raheli et al., (2017) برای تولید گوجه‌فرنگی۰/۷۷۵ ، Pourtarverdi et al., (2015) بهره‌وری انرژی در گلخانه‌های خاکی و هیدروپونیک را به ترتیب برابر۰/۲۴و ۰/۴۴ و Nooraeifar et al., (2015) ۰/۶۸کیلوگرم بر مگاژول بدست آوردند.

جدول ۳. مقایسه میانگین شاخص‌های انرژی تولید گوجه‌فرنگی تحت کشت در فضای باز و گلخانه

Table3. Mean comparison of energy indexes at custom and greenhouse system

شاخص‌ها	فضای باز	گلخانه	معنی‌داری
نسبت انرژی (بدون واحد)	۰/۴۸	۰/۲۴	۰/۰**
بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر گیگاژول)	۶۰۲/۹۹	۳۰۵/۹۷	۰/۰**
شدت انرژی (گیگاژول بر کیلوگرم)	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۴۳	۰/۰**
افزوده خالص انرژی (گیگاژول بر هکتار)	-۸۰/۹۷	-۱۰۱۹/۸۸	۰/۰**
شدت انرژی از منظر اقتصادی (گیگاژول بر میلیون تومان)	۲/۱۳	۴/۴۸	۰/۰**

ns, *, ** به ترتیب تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و عدم تفاوت معنی دار

شدت انرژی: برای تولید گوجه‌فرنگی تحت کشت فضای باز و گلخانه به ترتیب۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۴ گیگاژول بر کیلوگرم بدست آمد که نشان دهنده مقدار انرژی مصرفی به ازای تولید هر کیلوگرم از محصول می‌باشد. شدت انرژی در تولید محصول گوجه‌فرنگی در سیستم فضای باز در مقایسه با گلخانه تفاوت معنی داری را در سطح ۱ درصد نشان داد. Zare' Chahooki et al., (2014) شدت انرژی را برای تولید گندم۱۶/۳۶، Khoshnevisan et al., (2014) برای تولید گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای ۰/۰۰۵ و Palavan et al., (2011) ۹۹/۲مگاژول بر کیلوگرم برآورد کردند که با نتایج این پژوهش تفاوت دارند.

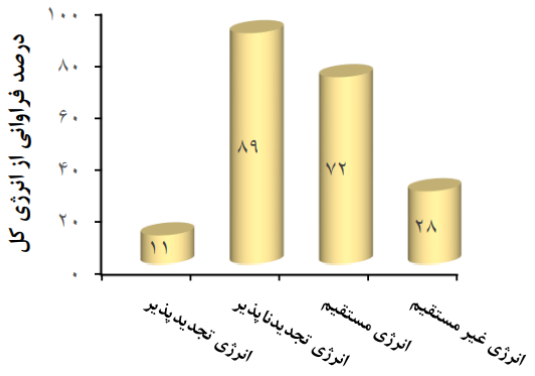
افزوده خالص انرژی برای تولید محصول گوجه‌فرنگی در دو سیستم فضای باز و گلخانه به ترتیب ۹۷/ ۸۰- و۱۰۱۹/۸۸ - گیگاژول بر هکتار بدست آمد. افزوده خالص انرژی برای محصول تحت سیستم فضای باز در مقایسه با گلخانه در سطح ۱ درصد معنی دار شد. دلیل این تفاوت می‌تواند متفاوت بودن سطح خروجی‌ها و ورودی‌های انرژی باشد. Raheli et al., (2017) افزوده خالص انرژی را برای تولید گوجه‌فرنگی ۲۴۳۳۱- مگاژول بر هکتار، Kenari et al., (2017) برای خیار گلخانه‌ای ۷۳۱۸۰- مگاژول بر هکتار، Ansari, & Hossain (2018) برای تولید برنج در کشت اول را ۲۹۴۴۵ و در کشت دوم۷۹۲۳- مگاژول بر هکتار و Khoshnevisan et al., (2014) برای خیار و گوجه گلخانه‌ای به ترتیب ۱۵۱۵- و۱۰۹۸- گیگاژول بر هکتار گزارش کردند.

شدت انرژی از منظر اقتصادی نیز برای تولید محصول گوجه‌فرنگی تحت کشت در فضای باز و گلخانه به ترتیب۱۳/۲ و۴۸/۴ گیگاژول بر میلیون تومان بدست آمد. شدت انرژی از منظر اقتصادی برای محصول تحت کشت در فضای باز در مقایسه با گلخانه در سطح ۱درصد معنی دار شد.

در شکل ۲. درصد هر یک از انواع انرژی برای تولید گوجه‌فرنگی در فضای باز ارائه شده است. سهم انرژی مستقیم و غیرمستقیم در تولید گوجه‌فرنگی فضای باز به ترتیب ۷۲ و ۲۸ درصد می‌باشد. این مقادیر در تولید گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای به ترتیب ۹۴ و ۶ درصد می‌باشد. Asgharipour et al., (2012) انرژی مستقیم و غیر مستقیم را برای خربزه۷۱ و ۲۹؛ و برای پنبه به ترتیب ۷۹ و ۲۱ درصد، Kenari et al., (2017) نیز به ترتیب ۸۶ و ۱۴ درصد برآورد و Raheli et al., (2017) نیز انرژی مستقیم وغیر مستقیم را برای تولید گوجه‌فرنگی به ترتیب ۳۲ و ۶۸ درصد برآورد کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت ندارد.

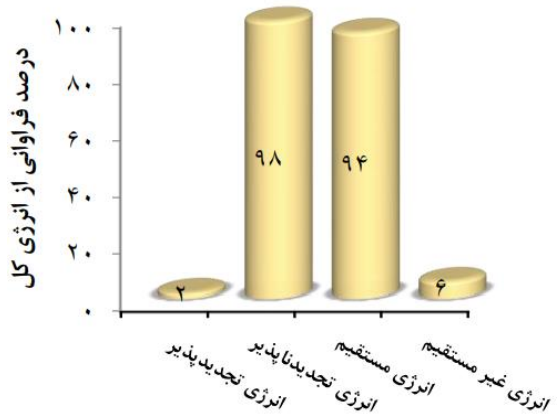
همچنین در شکل ۳. توزیع درصد انواع انرژی برای تولید گوجه‌فرنگی در گلخانه نشان داده شده است. نتایج نشان دهنده مصرف بالای انرژی تجدیدناپذیر در هر دو سیستم فضای باز و گلخانه است. سهم انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در تولید گوجه‌فرنگی در سیستم فضای باز به ترتیب ۱۱ و ۸۹ درصد می‌باشد. این مقادیر در تولید گوجه‌فرنگی گلخانه به ترتیب ۲ و ۹۸ درصد می‌باشد. Khoshnevisan et al., (2014) انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر را برای گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای به ترتیب ۱ و ۹۹ درصد اعلام، Raheli et al., (2017) انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر را برای تولید گوجه‌فرنگی به ترتیب ۳۱ و ۶۹ درصد برآورد، Asgharipour et al., (2012) انرژی تجدیدپذیر، تجدیدناپذیر را برای خربزه۲۰ و ۸۰ و برای پنبه به ترتیب ۱۸ و ۸۲ درصد و Kenari et al., (2017) نیز به ترتیب ۴ و ۹۶ درصد گزارش نمودند که با نتایج این تحقیق مطابقت ندارد.

درآمدهای تولید در دو سیستم کشت فضای باز و گلخانه: با توجه به شکل ۴. درآمد کل در تولید گوجه‌فرنگی در سیستم گلخانه بیشتر از مقادیر فضای باز در تولید محصول می‌باشد. مقادیر درآمد کل در تولید گوجه‌فرنگی در فضای باز و گلخانه به ترتیب۷۳ و ۲۴۲ میلیون تومان بود. این امر ناشی از قیمت فروش بیشتر در موقع عرضه به بازار است. درآمد کل برای محصول گوجه‌فرنگی در سیستم گلخانه نسبت به سیستم تولید فضای باز بیشتر می‌باشد. دلیل این امر می‌تواند عملکرد بالاتر سیستم گلخانه و خارج از فصل بودن این کشت‌ها باشد. درآمد ناخالص در تولید گوجه‌فرنگی در سیستم گلخانه بیشتر از درآمد ناخالص تولید محصول در سیستم فضای باز می‌باشد. درآمد ناخالص در تولید محصول گوجه‌فرنگی در سیستم فضای باز ۳۹ میلیون تومان به دست آمد، در حالیکه این مقادیر برای محصول در سیستم گلخانه ۱۶۹ میلیون تومان می‌باشد.



شکل۲- توزیع انواع و فراوانی انرژی در تولید گوجه‌فرنگی در فضای باز

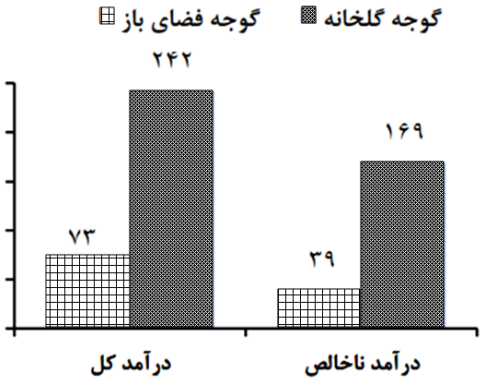
Fig 2. Percent of energy type using at custom method



شکل۳- توزیع انواع و فراوانی انرژی در تولید گوجه‌فرنگی در گلخانه

Fig3. Percent of energy type using at greenhouse

شاخص‌های اقتصادی تولید در دو سیستم کشت فضای باز و گلخانه: طبق نتایج جدول ۴ نسبت فایده هزینه برای تولید محصول گوجه‌فرنگی در سیستم گلخانه بیشتر از نسبت فایده - هزینه برای محصول ذکر شده در سیستم فضای باز بود. نسبت فایده به هزینه در تولید گوجه‌فرنگی در دو سیستم فضای باز و گلخانه به ترتیب۲/۲ و ۳/۳۷بود. طبق نتایج نسبت فایده به هزینه در تولید گوجه‌فرنگی در دو سیستم فضای باز و گلخانه در سطح ۱ درصد معنی‌داربود. Rezvani et al., (2014) در ارزیابی اقتصادی مزارع فضای باز و گلخانه‌های گوجه‌فرنگی در خراسان رضوی، نسبت منفعت به هزینه را به ترتیب ۲/۳۳ و ۳/۰۶ برآورد کردند. Taki et al., (2012) نیز برای تولید خیار و گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای نسبت منفعت به هزینه را به ترتیب ۱/۷۹ و ۲/۷۴ برآورد کردند.



شکل ۴- درآمدهای تولید گوجه‌فرنگی

Fig 4. Income of tomato production

سود ناخالص حاصل نیز در تولید محصول گوجه‌فرنگی در سیستم گلخانه بیشتر از سیستم فضای باز محاسبه شد. سود حاصله در تولید گوجه‌فرنگی در سیستم فضای باز ۳۹ میلیون تومان بود. در حالی که این مقدار برای محصول ذکر شده در سیستم گلخانه ۱۶۹ میلیون تومان برآورد شد. این نتیجه به دلیل بیش تر بودن درآمد ناخالص در تولید محصول ذکر شده در سیستم گلخانه در مقایسه باسیستم فضای باز می‌باشد. طبق نتایج، گوجه‌فرنگی در سیستم گلخانه سودآوری بیشتری نسبت به کشت در فضای باز دارد. این امر ناشی از بیشتر بودن سود ناخالص در تولید گوجه‌فرنگی در سیستم گلخانه می‌باشد. سود حاصل برای تولید گوجه‌فرنگی در سیستم فضای باز در مقایسه با سیستم گلخانه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شده است. Rezvani et al., (2014) در ارزیابی اقتصادی گلخانه‌های گوجه‌فرنگی و مزارع فضای باز سودخالص را به ترتیب ۱۳۳۱۸۰ و ۵۰۹۷ دلار در هکتار برآورد کردند. Salami et al., (2010) نیز سود خالص رابرای تولید توت فرنگی ۱۵۱۹۰۷ دلار در هکتار محاسبه کردند.

به اختصار می‌توان گفت؛ کل انرژی ورودی و خروجی تولید گوجه‌فرنگی در سیستم فضای باز ۷۳/۱۵۴ و ۶۵/۱۲۴۵و در سیستم گلخانه به ترتیب، ۸۱/۷۳ و۸۹/۲۲۵ گیگاژول بر هکتار بود.

الکتریسیته با سهم ۶۰ درصد از کل انرژی مصرفی به عنوان پر مصرف‌ترین نهاده انرژی برای تولید گوجه‌فرنگی درفضای باز بدست آمد. در حالی که گاز مصرفی با سهم ۶۵/۵درصد از کل انرژی مصرفی به عنوان پر مصرف‌ترین نهاده انرژی برای تولید گوجه‌فرنگی در سیستم گلخانه بدست آمد.

جدول ۴- شاخص‌های اقتصادی تولید گوجه‌فرنگی تحت کشت در فضای باز و گلخانه

Table4. Economical indexes of tomato production at custom and greenhouse system

هزینه‌ها	سیستم تولید		معنی‌داری
	فضای باز	گلخانه	
سود ناخالص (میلیون تومان بر هکتار)	۳۹/۹۸	۱۶۹/۹	۰/۰*
نسبت فایده - هزینه	۲/۲	۳/۳۷	۰/۰*

**, *, ns به ترتیب تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و عدم تفاوت معنی دار

دومین نهاده انرژی بر در تولید گوجه‌فرنگی، کود شیمیایی با ۱۰ درصد انرژی مصرفی مشخص شد. در حالی‌که در تولید گوجه‌فرنگی گلخانه سوخت دیزل با ۲۱ درصد انرژی مصرفی به عنوان دومین نهاده انرژی‌بر مشخص شدند. در بررسی شاخص‌های انرژی از نظر اقتصادی در گوجه‌فرنگی فضای باز، نسبت انرژی ۰/۰،۰۰۱/۴۸، شدت انرژی ۶۰۲/۹۹، بهره‌وری انرژی ۸۰/۹۷- و افزوده خالص انرژی ۲/۱۳ بود در حالی که این شاخص‌ها درتولید گوجه‌فرنگی گلخانه به ترتیب نسبت انرژی ۰/۲۴، شدت انرژی ۰/۰۰۴، بهره‌وری انرژی ۳۰۵/۹۷، افزوده خالص انرژی ۴/۴۸ بدست آمد.

سود ناخالص و نسبت فایده به هزینه در تولید گوجه‌فرنگی در سیستم فضای باز به ترتیب۳۹/۹۸و ۱۶۹/۹ و در سیستم گلخانه، ۲/۲ و ۳/۳۷ محاسبه شده است.

بیشترین مازاد مصرف نهاده‌ها برای تولید گوجه‌فرنگی در سیستم فضای باز و گلخانه مربوط به نهاده‌های الکتریسیته و سوخت دیزل بود.

درآمد کل در تولید گوجه‌فرنگی در سیستم گلخانه بیشتر از مقادیر فضای باز در تولید این محصول می‌باشد. مقادیر درآمد کل در تولید گوجه‌فرنگی در فضای باز و گلخانه به ترتیب ۷۳ و ۲۴۲ میلیون تومان بود. این امر ناشی از قیمت فروش بیشتر در موقع عرضه به بازار است. از طرفی دلیل این امر می‌تواند ناشی از عملکرد بالاتر سیستم گلخانه و خارج از فصل بودن این کشت‌ها باشد. درآمد ناخالص در تولید گوجه‌فرنگی در سیستم گلخانه بیشتر از درآمد ناخالص تولید این محصول در سیستم فضای باز می‌باشد. سود ناخالص حاصل نیز در تولید محصول گوجه‌فرنگی در سیستم گلخانه بیشتر از سیستم فضای باز محاسبه شد. سود حاصله در تولید گوجه‌فرنگی در سیستم فضای باز ۳۹/۹۸ میلیون تومان بود. در حالی‌که این مقدار برای محصول ذکر شده در سیستم گلخانه ۱۶۹/۹ میلیون تومان برآورد شد. این نتیجه به دلیل بیش تر بودن درآمد ناخالص در تولید محصول ذکر شده در سیستم گلخانه در مقایسه باسیستم فضای باز می‌باشد. بنابراین سود ناخالص و نسبت فایده به هزینه در تولید گوجه‌فرنگی در دو سیستم فضای باز۳۹/۹۸و ۱۶۹/۹ و در سیستم گلخانه به ترتیب، ۲/۲ و ۳/۳۷ محاسبه شد.

نتایج مطالعه حاضر بیانگر ناکارآمدی کشت گوجه‌فرنگی از نظر میزان مصرف انرژی می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد از آنجائیکه کشاورزان سیستم جوی وپشته را در کشت فضای باز به طور صحیح اجرا نمی‌کنند، میزان مصرف آب غیر کارا است که با روش‌های نوین آبیاری که در بخش گلخانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد میتوان مصرف این نهاده را به حداقل رساند. همچنین میزان مصرف کود در تولید گوجه‌فرنگی کارا نبوده و دلیل اصلی این موضوع می‌تواند مصرف نکردن کودهای شیمیائی بر طبق آزمایش خاک باشد. با توجه به اینکه الکتریسیته مصرفی در فرآیند تولید در نیروگاه‌ها بارهای محیطی فراوانی ایجاد می‌کند، خلا استفاده ازانرژی‌های پاک و تجدیدپذیر جهت تولید الکتریسیته به وضوح احساس می‌شود. با روش‌های نوین بویژه استفاده از انرژی خورشیدی می‌توان مصرف سوخت‌های فسیلی و گاز طبیعی را بطور چشمگیری کاهش داد و هزینه‌های نیروی کار نیز کمتر خواهد شد. به علاوه اقدامات حمایتی و تشویقی دولت در جهت ایجاد زیرساخت‌ها و استفاده از انرژی‌های پاک می‌تواند سبب توجه بیشتر کشاورزان به این تکنولوژی شود.

بیشترین میزان انرژی مصرفی در کشت‌های گلخانه‌ای مربوط به گاز طبیعی، سوخت و الکتریسیته است، لذا ترویج سامانه‌های کنترل هوشمند شرایط محیطی (دما، رطوبت، تهویه و دی اکسید کربن) می‌تواند تا حد قابل توجهی به کاهش مصرف انرژی در این بخش کمک کند. به علاوه ضرورت مطالعه بیشتر در مورد ساختار گلخانه‌ای در منطقه به منظور کاهش تلفات انرژی در این بخش ضروری به نظر می‌رسد.همچنین با برگزاری کلاس‌های آموزشی وچاپ بروشور برای کشاورزان و فعالان در زمینه کشت گلخانه‌ای جهت اجرای روش‌های صحیح در مصرف نهاده‌ها واستفاده درست از ماشین‌ها، اصلاح سیستم کشت جهت کاهش میزان آب مصرفی واستفاده از واریته‌های جدید بذر گوجه‌فرنگی که با منطقه مورد بحث سازگار می‌باشد پیشنهاد می‌گردد.

منابع

Ahmadbeyki, A., Ghahderijani, M., Borghaee, A., & Bakhoda, H. (2023). *Energy use and environmental impacts analysis of greenhouse crops production using life cycle assessment approach: A case study of cucumber and tomato from Tehran province, Iran*. Energy Reports, 9, 988-999.https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.11.205

Ansari, A., & Hossain, M. S. (2018). *Yield potential and land-use efficiency of hybrid rice (Oryza sativa L) in Bangladesh through suitable spacing and number of plants per hill*. International Journal of Advanced and Innovative Research, 4, 60-65. https://doi.org/10.4236/as.2022.1310063

Argento, S., Garcia, G., & Treccarichi, S. (2024). *Sustainable and Low-Input Techniques in Mediterranean Greenhouse Vegetable Production*. Horticulturae, 10(9), 997. https://doi.org/10.3390/horticulturae10090997

Asgharipour, M. R., Mondani, F., & Riahinia, S. (2012). *Energy use efficiency and economic analysis of sugar beet production system in Iran: A case study in Khorasan Razavi province*. Energy, 44(1), 1078-1084. https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.04.023

Beheshti Tabar, I., Keyhani, A. and Rafiee, S., 2010.*Energy balance in Iran's agronomy (1990-2006)*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(2), pp.849-855. https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.024

Canakci, M. U. R. A. D., & Akinci, I. (2006). *Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production*. Energy, 31(8-9), 1243-1256. https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.05.021

Ghaffarpour, Z., Fakhroleslam, M., & Amidpour, M. (2024). *Evaluation of the cooling, heating and water demands for tomato production in a solar greenhouse by integrating the solar energy, evapotranspiration and TOMGRO models*. Solar Energy, 277, 112710.https://doi.org/10.1016/j.solener.2024.112710

Hatirli, S.A., Ozkan, B. and Fert, C., (2006). *Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production*. Renewable Energy, 31(4), pp.427-438. https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.04.007

Heidari, M. D. and Omid, M. (2011). *Energy use pattern and econometric models of major greenhouse vegetable production in Iran*. Energy. 36: 220-225. https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.10.048

Kenari, R. E., Karami, Z., & Ahmadzade, S. S. (2017). *Impact of Energy Subsidies Elimination on Technology Gap Ratio in Cucumber Production*. International Journal of Agricultural Management and Development (IJAMAD), 7(2), 237-244.

method.Journal of Biosystem.Vol 4.No. 4. P. 16-21. (in Persian).

Özcan, K. M., Gülay, E., & Üçdoğruk, Ş. (2013). *Economic and demographic determinants of household energy use in Turkey*. Energy policy, 60, 550-557. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.046

Pahlavan, R., Omid, M., & Akram, A. (2011). *Energy use efficiency in greenhouse tomato production in Iran*. Energy, 36(12), 6714-6719. https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.10.038

Pourtarverdi, F., Almasi, M. and Bakhoda, H. (2013). *Economical and environmental investigation of cucumber cultivation in common and hydrauponic cultivation.8th National congress of agricultural machinery and mechanization.Mashhad*. Iran. (in Persian).

Raheli, H., Rezaei, R. M., Jadidi, M. R., & Mobtaker, H. G. (2017). *A two-stage DEA model to evaluate sustainability and energy efficiency of tomato production*. Information Processing in Agriculture, 4(4), 342-350. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.02.004

Rezvani, M., Langeroudi, S., & Nia, E. (2014). *The impact of rural-urban linkages on diversification of the rural economy with emphasis on woodcraft (case study: Jowkar District, Malayer county, and Hamedan province)*. Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences ISSN.

Salami, P., Ahmadi, H., Keyhani, A., & Sarsaifee, M. (2010). *Strawberry post-harvest energy losses in Iran*. Researcher, 2(4), 67-73.

Sha'banzade, M., Esfanjari, R. and Rezaei, A. (2014). *Investigating the energy pattern of tomato production in Khorasan Razavi province*.Journal of Agricultural Machinery.Vol. 6, No. 2, p. 524-536. (in Persian). https://doi.org/10.22067/jam.v6i2.37724

Sh, M., & Rahimi, H. (2016). *Economic analysis of deficit irrigation for transplanted tomato cultivars*. Journal of Water Research in Agriculture, 30(4), 483-495. https://doi.org/10.3390/agriculture10070297

Taki, M., Ajabshirchi, Y., Abdi, R. and Akbarpour, M. (2012).*Analysis of energy efficiency in greenhouse cucumber cultivation with DEA method*.Journal of Agricultural Machinery.Vol. 2, No. 1, p. 28-37. (in Persian). https://doi.org/10.22067/jam.v2i1.14291

Zare' Chahooki, E., Sharifi, M., Shahvarooghi, F. and Namazifard, A. (2016). *Estimating of energy using and economical index in wheat production inYazd Provience*.2th National congress of Novel technologies and mechanization of agriculture. (in Persian).

Kitani, O. (1999). *CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Volume V Energy and Biomass Engineering, Chapter 1 Natural Energy and Biomass, Part 1.3 Biomass Resources*. https://doi.org/10.13031/2013.36411

Khoshnevisan, B., Motamed shariati, H. R., Rafiee, Sh. and Mousazadeh, H. (2014). *Comparision of energy consumption and GHG emission of open field and greenhouse strawberry production*.Renewable and Sustainable Energy Reviews. (29): 316-324. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.098

Khoshnevisan, B., Rafiee, Sh., Omid, M., Mousazadeh, H. and Clark, S. (2013). *Environmental impact assessment of tomato and cucumber cultivation in greenhouses using life cycle assessment and adaptive neuro-fuzzy inference system*. Journal of Cleaner Production.183-192. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.07.001

Kuswardhani, N., Soni, P., & Shivakoti, G. P. (2013). *Comparative energy input–output and financial analyses of greenhouse and open field vegetables production in West Java, Indonesia*. Energy, 53, 83-92. https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.02.032

Loghmanpour, R., Ghasempour, A. and Mostafavi, S. M. (2013). *A comparative study on energy use of greenhouse and open-field cucumber production systems in Iran*.International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 5(13): 1437-1441. https://doi.org/10.5897/AJAR11.1787

Lopez-Marin, J., Rodriguez, M., del Amor, F. M., Gálvez, A., & Brotons-Martinez, J. M. (2019). *Cost-benefit analysis of tomato crops under different greenhouse covers*. Journal of Agricultural Science and Technology, 21(2), 235-248.

Moghaddam, P. R., Feizi, H., & Mondani, F. (2011). *Evaluation of tomato production systems in terms of energy use efficiency and economical analysis in Iran*. Notulae Scientia Biologicae, 3(4), 58-65. https://doi.org/10.15835/nsb.3.4.6279

Mohammadi, A. and Omid, M. (2010). *Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran*.Applied energy. 87: 191-196 https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.07.021.

Mosavi, S. H. (2016). *Energy price reform and food markets: The case of bread supply chain in Iran*. Agricultural Economics, 47(2), 169-179. https://doi.org/10.1111/agec.12192

Nikolaou, G., Neocleous, D., Christou, A., Polycarpou, P., Kitta, E., & Katsoulas, N. (2021). *Energy and water related parameters in tomato and cucumber greenhouse crops in semiarid mediterranean regions. A review, part I: Increasing energy efficiency*. Horticulturae, 7(12), 521. https://doi.org/10.3390/horticulturae7120521

Nooraeifar, K., Mohammadzamani, D., Gholami, M. and Yousefi, R. (2015). *Considering of Energy Indexes of tomato production in Qazvin provience by using DEA*