زودآیند ویرایش‌نشده

Energy Efficiency and Ecological Footprint Analysis of Tomato Production Farms in Asadabd County

Mohammad Abdolmaleky[*1], *Mehdi Najafi*[2], *Karim Naderi Mahdei*[3]

Introduction: In modernization era, high consumption level and improper use of external agricultural inputs (fertilizers, pesticides, and fuels) particularly in developing countries, have resulted in different consequences such as climate change, water pollution, or natural resource depletion. For example, agriculture is responsible for approximately 20% of greenhouse gas emissions. Iran is the largest emitter of greenhouse gases in the Middle East. Hence, evaluating environmental capacities and studying environmental impacts of agricultural production, have increased in recent years. One important facet of studying agricultural systems is to evaluate their sustainability. One of the most important quantitative models of measuring sustainability is the ecological footprint known as an accounting metric, which assesses humanity's pressure on natural resources and situates consumption levels within the Earth's ecological limits. Due to the increase in population and demand for agricultural products, creating new forms of energy in the agricultural sector and improper use of inputs, this economic sector has become an energy consuming sector. So far, various studies have been conducted to measure energy efficiency in the agricultural sector.
Despite the fact that a large proportion of tomato production in the Hamedan province is related to Asadabad county, there seems to be no clear attention to sustainability status of agricultural operations. Therefore, the present study is concerned with studying the ecological footprint and energy efficiency to assess sustainability of the tomato production in Asadabad located and as a main producer in the west of Iran. The specific objectives of the present study were to: (1) describe the demographic and technical profile of tomato producers, (2) Evaluating the energy efficiency regarding to inputs and products, and (3) Estimation of direct and indirect ecological footprint of tomato production to identify the most crucial production inputs in terms of emissions of pollutants.

Materials and Methods: The ecological footprint (EF) has become a popular indicator since it was first introduced in a publication in the 1990s**.** Based on energy consumption, the place-oriented method was used, and therefore consumption-based EF, direct and indirect EF were calculated. Global hectares approach was used to measure the ecological footprint unit. In addition, according to energy input and output resulting from the consumption of inputs and from the products, energy efficiency was estimated. The study was conducted by descriptive-survey research method using a questionnaire, and a sample of 210 tomato producers was randomly selected.

[1] Assistant Professor, Agricultural Extension and Education, Department of Agriculture, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran. Mo.Abdolmaleky@iau.ac.ir (Corresponding author[*])
[2] MSc Graduate Student, Agricultural Extension and Education, Department of Agricultural Extension and Education, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. Mnajafi2458@gmail.com
[3] Associate Professor, Agricultural Extension and Education, Department of Agricultural Extension and Education, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. knadery@basu.ac.ir

To estimate the energy consumption, equivalence factors ($E_q F$) were used to estimate the amount of energy produced from each of the inputs and outputs. The ecological footprint was defined as the sum of real and virtual lands directly or indirectly related to crop production, and are required to absorb CO_2 emitted by that production, which has been expressed in Equation (1). Where EF_{real} shows land occupied over time by croplands, built area, pastures and forests for crop production, and is calculated by Equation (2). In which A_a represents the amount of occupied land with type *a* (cropland, forest, pasture, built area), $\sum_a A_a$ equals one while $E_q F_a$ resembles the equivalence factor for land type a, $E_q F_a$ is equal to 2/2. EF_{co2} shows the amount of forest required for absorbing CO_2 emitted during the product's lifecycle, which is calculated by Equation (3). Where E_i represents the amount of energy consumption by inputs in GJ ha^{-1}, E_p is the ability of a hectare of forest land to absorb carbon released from energy equal to 71 GJ petroleum.

$$EF = EF_{real} + EF_{co2} \quad (1) \qquad EF_{real} = \sum_a A_a \cdot E_q F_a \quad (2) \qquad EF_{co2} = \frac{E_i}{E_p} \quad (3)$$

Energy efficiency and productivity indices were estimated as shown in below equations:

$$\text{Energy efficiency index}_{\text{tomato}} = \frac{\text{energy output (MJ } \mathbf{ha^{-1}})}{\text{energy input (MJ } \mathbf{ha^{-1}})} \quad (4)$$

$$\text{Energy productivity index}_{\text{tomato}} = \frac{\text{tomato } \mathbf{output} \text{ (Kg } \mathbf{ha^{-1}})}{\mathbf{energy\ input} \text{ (MJ } \mathbf{ha^{-1}})} \quad (5)$$

Results and Discussion: Results of the EF analysis showed that the EF_{co2} was estimated at 1/42 gha and the consumption-based EF was measured to be 7.57 gha. Accordingly, an area of 1/42 ha of productive land will be needed to meet the challenge of bio-capacity reduction. The total energy consumption is more than the ecological capacity of the required land to produce tomato per hectare indicating the unsustainability of potato production regarding environmental impacts. Energy efficiency and productivity indices from the ratio of energy output and tomato yield to energy input resulted from inputs, especially electricity with 38.9%, nitrogen fertilizer with 26.9% and gasoline with 15.2%, a total of 81%, were calculated equal to 0.34 and 0.42 MJ, respectively. In the EF_{co2} and the consumption-based EF, the highest share belonged to electricity, nitrogen fertilizer, and gasoline, respectively. Thus, due to the emission of pollutants, because of irregular and unprincipled consumption of inputs, tomato production in asadabad county is ecologically unsustainable.

Conclusions: Findings implied that lower use of electricity, fertilizers and gasoline could play a significant role in mitigating the environmental impacts of tomato production. Due to the water shortage in the study region, and high consumption of electricity for electric irrigation pumps, strategies such as using high efficiency pumps, regular technical repair of equipment, use of ponds and tanks to store water, allocating low-interest facilities to farmers to use modern irrigation methods and encouraging them to integrate their farms are recommended. About the high consumption level of chemical fertilizers, strategies such as increase in the use of organic and compost fertilizers, compliance with the permissible limit, and also using non-chemical methods such as biological control to prevent pests' resistance to chemical toxins are recommended. Regarding to high consumption level of gasoline, use of combined and advanced machinery to reduce the plowing operations, and technical inspection of agricultural machinery for lower and optimal fuel consumption are recommended.

Keywords: *Energy input, Energy output, Direct ecological footprint, Indirect EF, Energy efficiency*

JEL Classification: Q40, Q56, Q57

تحلیل کارایی انرژی و ردپای اکولوژیک مزارع تولید گوجه‌فرنگی در شهرستان اسدآباد

محمد عبدالملکی[۱]، مهدی نجفی[۲]، کریم نادری مهدیی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۹

چکیده:

مطالعه جنبه‌های زیست‌محیطی نظام‌های زراعی دارای اهمیت زیادی است. هدف این تحقیق ارزیابی پایداری زیست‌محیطی تولید گوجه‌فرنگی در شهرستان اسدآباد است که با بهره‌گیری از روش‌های ارزیابی ردپای اکولوژیک و کارایی انرژی انجام شده است. نمونه آماری پژوهش متشکل از ۲۱۰ گوجه فرنگی‌کار است که از جامعه آماری شامل ۵۶۹ گوجه‌فرنگی‌کار بصورت تصادفی انتخاب شدند. این تحقیق، دارای رویکرد کاربردی و از نوع پیمایشی با واحد تحلیل مزرعه می‌باشد و اطلاعات مورد نیاز آن با استفاده از پرسشنامه و مصاحبه رو در رو جمع‌آوری شده است. روایی پرسشنامه از طریق روایی ظاهری و محتوایی و پایایی آن با روش پیش‌آزمون- پس‌آزمون تعیین شد. نتایج مطالعه نشان داد که شاخص کارایی و بهره وری انرژی به‌دست آمده از نسبت انرژی خروجی حاصل از محصول گوجه فرنگی به انرژی‌های ورودی ناشی از نهاده‌های مصرفی به ویژه الکتریسیته با ۳۸/۹ ٪، کود ازته با ۲۶/۹ ٪ و گازوئیل با ۱۵/۲ ٪ مجموعاً ۸۱ ٪، بترتیب برابر ۰/۳۴ و ۰/۴۲ مگاژول می‌باشد. عامل اصلی پایین بودن کارایی و بهره وری انرژی، مصرف بی رویه نهاده‌ها بویژه برق و کودهای ازته است. ردپای اکولوژیک تولید گوجه‌فرنگی ۳/۶۲ هکتار جهانی (ردپای مستقیم ۲/۲ و غیر مستقیم ۱/۴۲ هکتار جهانی) برآورد گردید. به بیان دیگر ۱/۴۲ هکتار زمین بهره‌ور جهانی لازم است تا آلاینده‌های تولید شده در اثر تولید گوجه‌فرنگی را جذب کند. یافته‌های تحقیق نشان‌دهنده عدم پایداری تولید گوجه‌فرنگی در شهرستان اسدآباد به واسطه تولید و انتشار آلاینده‌های ناشی از کاربرد بی‌رویه و غیر اصولی نهاده‌ها می‌باشد. با توجه به میزان مصرف بالای برق در پمپ‌های آبیاری می‌توان با انتخاب پمپ‌ها و موتورهای با راندمان بالا، سرویس و تعمیر مرتب تجهیزات، آبیاری در ساعات غیر پیک، استفاده از کانالهای بتونی بجای کانالهای سنتی موجود، استفاده از استخر و مخازن جهت ذخیره آب و تبدیل سیستم‌های آبیاری سنتی به سیستم‌های تحت فشار مصرف این نهاده را کمتر کرد. بعلاوه از طریق بکارگیری انواع نهاده‌های آلی و ارگانیک و روش‌های مبارزه بیولوژیک با آفات (گل جالیز گوجه‌فرنگی) بجای مصرف انواع نهاده‌های شیمیایی و نیز استفاده از ادوات ترکیبی و پیشرفته کشاورزی برای کاهش عملیات زراعی و بررسی و معاینه فنی ماشین‌آلات کشاورزی و در نتیجه مصرف کم‌تر گازوئیل می‌توان اثرات زیست‌محیطی این نظام تولیدی را کاهش داد. جهت بهبود کارایی و بهره‌وری انرژی، جایگزینی بذرهای اصلاح شده بجای بذور محلی توصیه می‌گردد.

واژگان کلیدی: *انرژی ورودی، انرژی خروجی، ردپای مستقیم، ردپای غیر مستقیم، کارایی انرژی*

طبقه بندی JEL: Q40, Q56, Q57

[۱] نویسنده مسئول و استادیار ترویج و آموزش کشاورزی، گروه کشاورزی، واحد خرم آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم آباد، ایران. (Mo.Abdolmaleky@iau.ac.ir)

[۲] دانش آموخته کارشناسی ارشد، ترویج و آموزش کشاورزی، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

[۳] دانشیار ترویج و آموزش کشاورزی، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

مقدمه

افزایش جمعیت، افزایش تقاضا برای غذا و افزایش استانداردهای زندگی، تغییر در عملیات‌های کشاورزی را ضروری ساخته است که سبب شده استفاده از نهاده‌های بیرونی همچون سوخت، الکتریسته، کودهای شیمیایی و سموم در بخش کشاورزی افزایش یابد (Esengun et al., 2007 ؛ Yousefi et al., 2014). بر اساس برآوردهای موجود ۵۰ درصد افزایش عملکرد در سطح جهان در طول این قرن، مرهون بکارگیری کودهای شیمیایی بوده است(Yara International, 2023). براساس داده های گردآوری شده از ۴۲ کشور آسیایی و عمدتا در حال توسعه، میانگین مصرف کودهای شیمیایی در این کشورها برابر ۲۵۷/۹ و میانگین جهانی آن برای ۱۶۱ کشور مورد مطالعه برابر ۱۸۰/۱ کیلوگرم در هکتار در زمین های زراعی است (Global Economy, 2023). مصرف سموم، کودها، ماشین‌آلات، الکتریسته در تولید محصولات کشاورزی گرچه سبب افزایش عملکرد و ارتقا کیفیت محصولات کشاورزی شده، ولی به دنبال خود آثار مخرب زیست‌محیطی داشته‌اند. پدیده تغییر اقلیم و گرمایش جهانی در اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی جهان امروز می‌باشد که زندگی آینده روی کره زمین را به مخاطره انداخته است (Mohammadi and Omid, 2010). بخش کشاورزی سهم به سزایی در انتشار گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه گرمایش جهانی دارد. به طوریکه تقریبا ۲۰٪ از انتشار گازهای گلخانه‌ای به بخش کشاورزی مرتبط می‌شود (United States Environmental Protection Agency, 2016). سهم بخش کشاورزی ایران در انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده N_2O، SO_2، CO_2، NOx و CH_4 بترتیب معادل ۳۲/۲۵ ، ۵/۷۴، ۲/۶۴، ۲/۶۳ و ۱/۰۵ درصد برآورد شده است(Ministry of Energy of Iran, 2023). آلاینده‌های کشاورزی مانند کودها، آفت‌کش‌ها، نمک‌ها و عناصر کمیاب ناشی از فعالیت‌های مختلف مانند آبیاری و کاربرد این نهاده‌ها از طریق فرسایش خاک و آبشویی مواد مغذی و مواد شیمیایی سبب تنزل کیفی محیط زیست می‌شود. در نتیجه کشاورزی به عنوان یکی از بزرگترین منابع آلودگی پراکنده شناخته می شود .(Vanden Bergh and Grazi, 2014)

از آنجا که هر گونه فعالیتی برای ارتقای کیفیت زندگی و توسعه انسانی در محیط زیست تحقق می یابد، لذا وضعیت محیط زیست و منابع آن از نظر پایداری یا ناپایداری بر فرآیند توسعه تاثیرگذار است. در این صورت ابزار و روش‌هایی نیاز است تا به کمک آن‌ها پایداری زیست‌محیطی نظام‌های کشاورزی ارزیابی و اندازه‌گیری شود(Cerutti et al., 2010). با گسترش مفهوم توسعه پایدار در سطح جهان دانشمندان مدل‌های کمی و کیفی متعددی برای ارزیابی پایداری سیستم‌های کشاورزی و اثرات زیست‌محیطی مخرب آنها در سطح مزرعه ارائه نموده‌اند. از مهمترین مدل‌های کمی اندازه‌گیری پایداری، شاخص ردپای اکولوژیک[1] می‌باشد. ردپای اکولوژیکی، یک شاخص پیچیده برای اندازه‌گیری منابع قابل استفاده در سطح مزرعه است که از طریق تبدیل مواد و منابع مورد مصرف در مزرعه و نشان دادن نتایج به هکتار جهانی[2]، که به ویژه با سیستم‌های کشاورزی مرتبط است، برآورد می‌گردد(Crishna, 2007). برای محاسبه ردپای اکولوژیکی دو روش اصلی وجود دارد: ارزیابی چرخه زندگی[3] و تجزیه و تحلیل ورودی-خروجی[4](Agostinho and Pereira, 2013). این روش‌ها مورد انتقاد قرار گرفته‌اند زیرا ارزیابی ردپای اکولوژیکی نیازمند رویکردی متفاوت در سطح کلان در مقایسه با سطوح خرد مانند یک شهر، استان و برای فعالیت‌های کشاورزی خاص و تولید محصول در مزرعه است. بنابراین، در دهه اول قرن بیست و یکم، رویکرد مکان‌گرا[5] به عنوان یک روش جدید ردپای اکولوژیکی توسط دانشمندانی مانند (Kissinger and Gottlieb, 2012) و (Guzman et al., 2013) پیشنهاد شد. این روش با ادغام دو تکنیک قبلی، بر یک مکان خاص تمرکز می‌نماید. برخی از مطالعات از ردپای اکولوژیکی برای ارزیابی پایداری تولیدات کشاورزی بر اساس مصرف انرژی و میزان محصول تولید شده استفاده کرده‌اند (Cheng et al., 2011; Dong et al., 2013; Tittonell and Giller, 2013). مطالعات دیگری نیز پایداری کشاورزی را با استفاده از تحلیل ردپای اکولوژیکی به روش‌های مختلف ارزیابی کرده‌اند به عنوان مثال، Akifdestek and Sarkodie (2019)؛ Dashti et al (2019) و Esfahani et al (2017) ردپای اکولوژیکی را با استفاده از تحلیل ورودی- خروجی برآورد کردند. تحقیقاتی هم ردپای اکولوژیکی کشاورزی و تناسب آن را بر اساس ارزیابی چرخه زندگی مطالعه کرده‌اند (Gan et al., 2011; Khorramdel et al., 2016). Habibi et al (2018) و Kanchanaroek and Aslam (2018) نیز برای

[1] Ecological Footprint Analysis
[2] Global Hectare Approach
[3] Life Cycle Assessment
[4] Input and Output Analysis
[5] Place-oriented Approach

تخمین ردپای اکولوژیکی و مطالعه پایداری کشاورزی از رویکرد مکان‌گرا استفاده کرده‌اند. در ایران ظرفیت زیستی از سال ۱۹۶۱ تا به امروز، روند کاهنده اندکی داشته، اما مقدار ردپای اکولوژیک روند فزاینده پرشتابی را دنبال می‌کند، این امر موجب شده که از سال ۱۹۸۰ به بعد، مقدار ردپای اکولوژیک ایران بیش از ظرفیت زیستی شده و کسری اکولوژیک در کشور رخ دهد(Rezaei et al., 2019). از طرف دیگر بدلیل کاربرد بی‌رویه و نادرست نهاده‌های کشاورزی، این بخش اقتصادی به بخش مصرف‌کننده انرژی تبدیل شده است(Dekamin, 2021). کنترل مصرف انرژی، افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و افزایش کارایی مصرف انرژی از اجزا مهم اقدام در راستای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. استفاده کارآمد از انرژی سبب کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی، صرفه‌جویی‌های اقتصادی و افزایش سودآوری تولیدات کشاورزی خواهد شد و یکی از اصول کشاورزی پایدار است(Mobtaker et al., 2012).

کارایی یکی از شاخص‌های مهم جهت ارزیابی کمی فعالیت‌های اقتصادی است که به نسبت‌های ورودی و خروجی یک سیستم اقتصادی مربوط می‌شود. کارایی اقتصادی به عنوان درجه موفقیت بهره‌بردار در حداقل کردن هزینه تولید میزان معینی از محصول بیان می‌شود که شامل دو بخش تخصیصی یا قیمتی و فنی یا تکنیکی است. کارایی تخصیصی به مصرف بهینه منابع با توجه به قیمت آنها و کارایی فنی به نحوه استفاده از منابع موجود اشاره دارد(Farrell, 1957).

تا کنون مطالعات مختلفی با استفاده از شاخص‌های ردپای اکولوژیکی و کارایی انرژی در رابطه با محصول گوجه فرنگی و سایر محصولات کشاورزی انجام شده که در اینجا به برخی از آنها اشاره می‌گردد:

Esfahani et al (2017) در مطالعه خود با عنوان "کارایی و پایداری تولید ذرت علوفه‌ای با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و ردپای اکولوژیکی چندکارکردی در شهرستان سرایان" با استفاده از ابزار تحلیل پوششی داده‌ها به بررسی انواع کارایی شامل کارایی فنی، فنی خالص و کارایی مقیاس و نیز با محاسبه شاخص ردپای اکولوژیک مستقیم و غیر مستقیم، ردپا براساس میزان محصول و براساس درآمد به مطالعه پایداری تولید این محصول پرداخته‌اند. Abdolmaleky et al (2022) در مطالعه خود با عنوان "ارزیابی پایداری زیست‌محیطی: تولید سیب زمینی در غرب ایران" با استفاده از رویکرد مکان‌گرا، شاخص ردپای اکولوژیکی کربن، شاخص ردپا برمبنای نهاده‌ها و نیز ردپا برمبنای محصول را محاسبه و پایداری تولید محصول سیب زمینی را ارزیابی کرده‌اند. در مطالعه‌ای دیگر با عنوان " بررسی پایداری تولید سیب زمینی و خیار با روش ردپای اکولوژیک در شهرستان بهار" شاخص ردپای اکولوژیکی برا ساس رهیافت مصرف انرژی محاسبه و پایداری تولید این دو محصول ارزیابی شده است(Rezaei et al., 2019). در پژوهش Naderi Mahdei et al (2015) با عنوان "ارزیابی پایداری نظام‌های زراعی در استان همدان با استفاده از تحلیل ردپای اکولوژیک (مورد مطالعه: گندم آبی)" با بکارگیری روش مصرف انرژی و رویکرد مکان‌گرا ارئه شده توسط کسینگر و گوتلیب و گازمن و همکاران به سنجش و ارزیابی شاخص ردپای اکولوژیک در سیستم‌های کشاورزی مرسوم و حفاظتی و مقایسه پایداری تولید گندم در این دو نظام زراعی پرداخته‌اند. بعلاوه، مطالعاتی مانند: مصـرف انـرژی در تولید گوجه‌فرنگی در استان توکات ترکیه (Esengun et al., 2007)، ارزیابی راندمان انرژی در زراعت گوجه‌فرنگی استان آذربایجان (Hassanzadeh et al., 2008)، بررسی الگوی مصرف انرژی تولید گوجه‌فرنگی در شهرسـتان مرنـد (Jadidi et al., 2012) و ارزیابی انرژی و تحلیل اقتصادی و اثرات زیست‌محیطی تولید گوجه‌فرنگی و خیار تحت کشت فضای باز و گلخانه در استان فارس (Zarei, 2017)، مطالعه مصرف انرژی و هزینه نهاده‌های تولید پنبه در ترکیه (Yilmaz et al., 2005)، بررسی الگوی مصرف انرژی تولید کنندگان سبزی گلخانه‌ای در آنتالیا (Canakci and Akinci, 2006) انجام شده است.

اسدآباد یکی از شهرستان‌های استان همدان بوده و در غرب این استان واقع شده است. این شهرستان در تولیدات شاخص مانند گوجه‌فرنگی در رتبه اول استان قرار گرفته‌است. هر ساله بیش از ۷۰٪ از سطح زیر کشت این محصول در استان همدان به شهرستان اسدآباد اختصاص دارد (Hamedan Jihad of Agriculture Organization, 2021). با توجه به متداول بودن کشت گوجه-فرنگی و ناشناخته بودن وضعیت پایداری تولید آن در این شهرستان، این تحقیق سعی دارد پایداری زیست‌محیطی تولید این محصول در شهرستان اسدآباد را با استفاده از شاخص کارایی انرژی و ارزیابی ردپای اکولوژیک بررسی و مطالعه نماید تا راهکارهای لازم برای مدیریت پایدار آن در اختیار برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران بخش قرار گیرد. براساس محدودیت‌های بخش کشاورزی منطقه، ارتقای کارایی تولید محصولات کشاورزی عامل مهم و تاثیرگذار در بهبود بهره‌وری عوامل تولید بدون نیاز به هزینه اضافی می‌باشد. از این رو مطالعه و توجه به ارتقاء بهره‌وری حتی در مقوله توسعه پایدار نیز به عنوان یک عنصر کلیدی در میان اهداف زیست‌محیطی تلقی می‌شود. تحلیل کارایی

و بهره‌وری تولید و ترکیب و تلفیق آن با شاخص‌های ارزیابی پایداری زیست‌محیطی روشی جدید و در حال تکامل است که در این تحقیق به آن پرداخته شده است. اهداف اختصاصی تحقیق عباتند از: ۱) شناسایی ویژگی‌های فردی و فنی گوجه‌فرنگی‌کاران، ۲) ارزیابی کارایی انرژی‌های ورودی و خروجی حاصل از مصرف نهاده‌ها و محصول تولیدی و ۳) برآورد ردپای اکولوژیک محصول گوجه‌فرنگی براساس مصرف نهاده‌ها، ردپای مستقیم و غیر مستقیم و تعیین مهم‌ترین نهاده‌های تولید از نظر انتشار آلاینده‌ها.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و جمع‌آوری داده‌ها

اسدآباد یکی از شهرستانهای استان همدان می باشد که در بین مدار ۳۴ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و۵۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۹ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۱ دقیقه طول شرقی نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. گوجه‌فرنگی یکی از محصولات مهم جالیزی شهرستان است که هرساله در حدود ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ هکتار کشت می شود. میانگین تولید محصول از هر هکتار سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی به‌طور متوسط ۵۰ تن بوده و ۹۰ درصد از کشت‌های اراضی گوجه‌فرنگی شهرستان با آبیاری قطره‌ای است. ۲۰ درصد از محصول گوجه‌فرنگی اسدآباد جهت رُب‌پزی خانگی و مابقی محصول به مراکز کارخانه‌های تولید رُب ارسال می‌شود (Hamedan Jihad of Agriculture Organization, 2021).

این مطالعه از نوع تحقیقات کاربردی و مبتنی بر روش توصیفی با راهبرد پیمایشی می باشد. در این پژوهش از ابزار پرسشنامه، مصاحبه رو در رو و منابع کتابخانه‌ای استفاده شده است. با استفاده از پرسشنامه محقق‌ساخته که شامل ۶۰ سؤال باز و بسته در مورد ویژگی‌های فردی، مالکیت زمین و مقدار مصرف نهاده‌های کشاورزی از قبیل بذر، کودها، سموم، نیروی کار، سوخت، برق و آب در تمامی مراحل کشت گوجه‌فرنگی بود، اطلاعات لازم جمع‌آوری گردید. با توجه به آمار و اطلاعات به دست آمده از مدیریت جهاد کشاورزی اسدآباد، جامعه آماری تحقیق شامل ۵۶۹ گوجه‌فرنگی‌کار با سطح زیر کشت ۶۵۶ هکتار می‌باشد. برای تعیین حجم نمونه، پس از انجام پیش آزمون در یک نمونه ۳۰ نفره از گوجه‌فرنگی‌کاران، از فرمول کوکران استفاده شد (رابطه ۱). بر این اساس نمونه آماری تحقیق عدد ۲۰۶ محاسبه گردید که برای کسب نتایج دقیق‌تر به ۲۱۰ نفر افزایش یافت.

$$n = \frac{\frac{z^2 pq}{d^2}}{1+\frac{1}{N}\left(\frac{z^2 pq}{d^2}-1\right)} = \frac{\frac{1/96^2 * 0/70 * 0/30}{0/05^2}}{1+\frac{1}{569}\left(\frac{1/96^2 * 0/70 * 0/30}{0/05^2}-1\right)} = 206 \qquad (۱)$$

که در آن n= حجم نمونه، N= حجم جامعه، d= دقت احتمالی مطلوب، t= مقدار ضریب اطمینان قابل قبول، p= درصد افراد دارای صفت موجود در جامعه و q= درصد افرادی که فاقد آن صفت در جامعه می‌باشند(Naderi Mahdei et al., 2015).

روایی ابزار تحقیق با استفاده از پانل کارشناسان متشکل از اساتید رشته‌های ترویج و آموزش کشاورزی و توسعه روستایی دانشگاه بوعلی سینای همدان و پایایی پرسشنامه با استفاده از روش پیش‌آزمون – پس‌آزمون بدست آمد. برای تحلیل داده‌ها و آمار توصیفی از نرم افزار SPSS(26) استفاده گردید. پایداری زیست‌محیطی تولید گوجه‌فرنگی با استفاده از روش ردپای اکولوژیکی، بترتیب ردپای اکولوژیکی برحسب مصرف نهاده ها، ردپای مستقیم و غیرمستقیم و همچنین تحلیل کارایی انرژی مورد ارزیابی و سنجش قرار گرفت.

ارزیابی ردپای اکولوژیک

از زمان معرفی پایداری و مدیریت زیست‌محیطی، مطالعات زیادی برای ارائه شاخص‌های مرتبط به منظور کمک به تصمیم‌گیران، برنامه‌ریزان و بویژه محیط‌بانان انجام و توسعه یافته است. یکی از این شاخص‌ها که توجه بیشتری را در سطوح علمی و دانشگاهی، سیاسی و آموزشی به خود جلب کرده، ارزیابی ردپای اکولوژیک است(Fatemi et al., 2018). مفهوم ردپای اکولوژیک برای نخستین بار به وسیله پروفسور ریس و دکتر واکرناگل در اوایل دهه ۹۰ و در دانشگاه بریتیش کلمبیا مطرح شد (Habibi et al., 2018). ردپای اکولوژیکی فشاری که جمعیت و فرآیندهای صنعتی بر اکوسیستم وارد می‌کنند را با ارزیابی انرژی و مواد مورد استفاده در یک شهر، منطقه یا کشور تخمین می‌زند (Toth et al., 2018) و بعنوان رهیافت و روشی برای تعیین میزان پایداری یا ناپایداری فعالیت‌ها، مناطق یا کشورها معرفی شده است (Vanden Bergh and Grazi, 2014). ردپای اکولوژیک برحسب هکتار جهانی اندازه‌گیری می شود (Rees and Wackernagel, 1996). این شاخص، مقدار مصرف انسان‌ها از منابع زیستی و تولید پسماند بر حسب نواحی اکوسیستم اختصاص داده شده را نشان می‌دهد و می‌تواند بعد از آن با ظرفیت تولیدی زیست‌کره در یک سال معین مقایسه شود. لذا

منطقه‌ای ناپایدار در نظر گرفته می‌شود که ردپای اکولوژیکی آن بیش از ظرفیت زیستی‌اش در مقیاس جهانی باشد، یعنی انسان بیش از آن چیزی که می‌تواند احیا شود استفاده می‌کند (Lim, 2020). این شاخص می تواند میزان زمین مورد نیاز برای تولید محصولات و جذب ضایعات تولیدی را پیش‌بینی کند (Guzman et al., 2013). در این مطالعه، ردپای اکولوژیکی به عنوان مساحت زمین مولد مورد نیاز برای جبران آلودگی‌های زیست‌محیطی کشاورزی ناشی از مصرف نهاده‌ها و منابع مورد استفاده از جمله بذر، آب، کود، برق، ماشین آلات، سوخت و آفت‌کش‌ها که برحسب هکتار جهانی طی یکسال زراعی در فرایند تولید گوجه‌فرنگی در شهرستان اسدآباد به دست می‌آید، تعریف شده است.

ارزیابی ردپای اکولوژیک بر اساس مصرف نهاده ها

کودها، ادوات و سموم مورد استفاده در نظام‌های کشاورزی ردپای بزرگی از تولید کربن ایجاد می‌کنند (Vander Werf and Turnen, 2008). براساس تحقیقات انجام گرفته، هر هکتار زمین توانایی جذب ۱/۸ تن کربن را دارد (Gharkhloo et al., 2009). در صورتی که ردپای اکولوژیک محصولی بیشتر از مقدار بیان شده (۱/۸ تن در هکتار) باشد از لحاظ زیست‌محیطی ناپایدار تلقی می‌گردد. در این پژوهش برای ارزیابی ردپای اکولوژیکی برحسب کربن، از شاخص انرژی استفاده می‌شود. برای مشخص کردن انرژی استفاده شده، فاکتورهای معادل‌ساز ویژه‌ای وجود دارد که با استفاده از آنها میزان انرژی حاصل از تأثیر هریک از فاکتورهای اثرگذار بر محیط زیست، بر حسب هکتار جهانی برآورد می‌گردد. جدول ۱ متغیرها، مقیاس اندازه‌گیری و فاکتورهای معادل‌ساز انرژی هر نهاده و محصول تولیدی جهت محاسبه انرژی‌های ورودی و خروجی مورد نیاز برای ارزیابی کارایی انرژی و ردپای اکولوژیک تولید گوجه‌فرنگی را نشان می‌دهد که در کشت در فضای باز احصاء شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند.

الکتریسیته توسط موتور پمپ‌ها برای استخراج آب از چاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. ملاک ارزیابی مقدارالکتریسیته (کیلو واتساعت) براساس کارکرد کنتور چاه‌های زراعی در طول مراحل آبیاری است که مقدار آن از حاصلضرب (میانگین زمان صرف شده برای هر آبیاری) در (میانگین برق مصرفی برای هر بار آبیاری) بدست آمده است. گازوئیل برای انجام عملیات زراعی، حمل ونقل، تولید و نگهداری ادوات و ماشین‌آلات‌کشاورزی بکار رفته که واحد اندازه‌گیری آن لیتر است. ملاک تعیین میزان مصرف سوخت (لیتر بر هکتار) بوده که براساس پاسخ رانندگان تراکتور (کشاورزان) و از طریق پرسشنامه گردآوری شده است. طی جمع آوری داده‌ها در منطقه مشخص شد که در کشت محصول برای آبیاری از گازوئیل استفاده نمی‌شود. داده‌های مرتبط با میزان مصرف آب براساس واحد مترمکعب و از طریق سؤال از کشاورزان جمع‌آوری شده است.

ورودی‌ها	واحد مصرف	معادل انرژی (مگاژول) ($MJ\ Unit^{-1}$)	منبع
الکتریسیته	kwh	۱۱/۹۳	(Ozkan et al., 2006)
کود ازته	kg	۶۶/۱۴	(Rees and Wackernagel., 1996)
گازوئیل	l	۵۶/۳۱	(Singh et al., 2010)
آب آبیاری	m^3	۱/۰۲	(Zangeneh et al., 2010)
پلاستیک	kg	۹۰	(Canakci and Akinci, 2006)
فسفات	kg	۱۲/۴۴	(Tabatabaie et al., 2013)
کود دامی	ton	۳۰۰	(Pervanchon, 2002)
نیروی انسانی	h	۱/۹۶	(Zangeneh et al., 2010)
کود میکرو	kg	۱۲۰	(Canakci and Akinci, 2006)
ماشین‌آلات	h	۶۲/۷	(Cetin and Vardar, 2008)
پتاسیم	kg	۱۱/۱۵	(Esengun et al., 2007)
قارچ‌کش	kg	۲۱۶	(Zangeneh et al., 2010)

حشره‌کش	kg	۱۰۱/۲	(Pervanchon, 2002)
علف‌کش	kg	۲۳۸	(Zangeneh et al., 2010)
گوگرد	kg	۱/۱۲	(Mohammadi et al., 2014)
بذر گوجه	kg	۱	(Singh et al., 2010)
خروجی			
گوجه‌فرنگی	kg	۰/۸	(Jadidi et al., 2012)

جدول ۱- فاکتورهای معادل‌ساز انرژی منابع ورودی و خروجی

ماخذ: یافته‌های پژوهش

مدل ردپای اکولوژیکی که توسط (Kissinger and Gottlieb, 2012) و (Guzman et al., 2013) جهت ارزیابی پایداری زیست‌محیطی کشاورزی ارائه شده، بر مبنای مصرف انرژی و رویکرد مکان‌محور، برای ارزیابی پایداری تولید گوجه‌فرنگی در زیر نشان داده شده است:

$$EF_t = \sum_{i=1}^{n} EF_i = \left(\frac{E_i \times T}{C_o}\right) \quad (۲)$$

$$E_c = F_i \times EQF \times 1000 \quad (۳)$$

$$T = \left(\frac{P_c}{E_c \times O_c \times K}\right) \quad (۴)$$

در این مدل:

EF_t : شاخص ردپای اکولوژیکی بر حسب هکتار جهانی؛ E_c : توانایی تولید انرژی توسط هر گرم ذغال سنگ (۲۰ کیلوژول)؛ T: عدد ثابت؛ E_i : انرژی فاکتور i بر حسب کیلوژول (kj) ؛ F_i :انرژی فاکتورi ام و C_o : توانایی یک هکتار زمین در جذب کربن بر حسب تن (۱/۸ تن)؛ EQF: فاکتور معادل‌ساز[1] فاکتور i ام برای تبدیل زمین مولد[2] به هکتار جهانی؛ P_c : درصد کربن موجود در زغال سنگ (۰/۸۵ ٪) بر حسب گرم؛ O_c : درصد زغال سنگ بازدهی شده توسط گیاهان معادل (۰/۳۱۴ ٪) بر حسب گرم؛ K: ضریب ثابت برای تبدیل گرم به تن (۱۰۰۰۰۰۰) (Gharkhloo et al., 2009).

ارزیابی ردپای مستقیم و غیرمستقیم تولید گوجه‌فرنگی

اگرچه فرمول‌بندی تحلیل ردپای اکولوژیک که توسط (Rees and Wackernagel, 1996) ارائه شد بر ۵ نوع متفاوت زمین (زراعی، مرتع، جنگل، ساختمان و انرژی) متمرکز شده است ولی تحقیقات متعددی نشان داده است که ردپای اکولوژیک می‌تواند به مجموع زمین واقعی (EF_{real}) و مجازی (EF_{co2}) که به صورت مستقیم و غیرمستقیم به تولید محصول مرتبط می‌شود و جهت جذب CO_2 تولید شده در طول دوره تولید محصول لازم است تعریف شود. زمین واقعی نشان‌دهنده زمین مستقیم تصرف‌شده در فرآیند تولید است (Cerutti et al., 2013).

EF_{real} نشان دهنده زمین تصرف‌شده در طول زمان به وسیله زمین‌های زراعی، ساختمان، مراتع و جنگل برای تولید محصول محاسبه می‌شود.

$$EF_{real} = \sum_a A_a \cdot E_q F_a \quad (۵)$$

در این رابطه A_a نشان دهنده میزان تصرف‌شده نوع a (زراعی، جنگلی، مرتع و ساختمان) و $E_q F_a$ ضریب تعادل متناظر با هر نوع زمین نوع را نشان می‌دهد که: $\sum_a A_a$ برابر است با ۱؛ $E_q F_a$ عامل هم‌ارزی منطقه ساخته شده برابر است با ۲/۲. عامل هم‌ارزی با توجه به تفاوت پتانسیل بهره‌وری پهنه‌های مختلف زمین دارای مقدار متفاوت می‌باشد و برای زمین زراعی، جنگلی، مرتع و زمین ساخته‌شده بترتیب برابر ۲/۲، ۱/۴، ۰/۵ و ۲/۲ هکتار جهانی است (Wackernagel et al., 2005). بنابراین باتوجه به نوع زمین تصرف‌شده، مقدار EF_{real} هم متفاوت خواهد بود.

[1] Equivalent Factor
[2] Effective Land

EF_{co2} : ردپای CO_2 زمین غیرمستقیم تصرف‌شده بوسیله سوخت‌های فسیلی و به میزان انتشار CO_2 سالانه مرتبط است. ردپای CO_2 مقدار زمین بهره‌ور زیستی اضافی که برای ترسیب کربن منتشر شده از سوخت‌های فسیلی نیاز است را تخمین زده و میزان CO_2 جذب شده بوسیله جنگل‌کاری را محاسبه می‌کند که از رابطه ۶ محاسبه می‌شود(Cerutti et al., 2013). در این معادله، E_i : مقدار انرژی مصرفی نهاده‌ها بر اساس گیگاژول بر هکتار و E_p : توانایی یک هکتار زمین جنگلی در جذب کربن آزاد شده از انرژی معادل ۷۱ گیگاژول نفت است.

$$EF_{co2} = \frac{E_i}{E_p} \qquad (۶)$$

ارزیابی کارایی و بهره وری انرژی تولید گوجه‌فرنگی

برای ارزیابی الگوی مصرف انرژی از شاخص‌های کارایی انرژی و بهره وری انرژی استفاده شد. در این تحقیق منظور از کارایی انرژی و بر اساس رابطه ۷، نسبت انرژی‌های خروجی ناشی از محصولات تولیدی در یک هکتار و انرژی‌های ورودی ناشی از مصرف نهاده‌ها (بذر، سموم، کود، سوخت، آب و...) می‌باشد. کارایی انرژی نشان می دهد که به ازای هرمگاژول انرژی مصرفی درهکتار به منظور تولید، چه میزان انرژی تولید شده است. هر چه میزان انرژی حاصل از محصولات تولیدی به مصرفی بیشتر باشد بیانگر کارایی بیشتر یا پایداری سیستم است و بالعکس. بهره‌وری انرژی نیز براساس رابطه ۸ عبارت است از نسبت عملکرد محصول برحسب کیلوگرم در هکتار، به انرژی حاصل از نهاده‌های مصرفی برحسب مگاژول است(Omid et al., 2011).

$$EEI_{tomato} = \frac{\text{energy output (MJ ha}^{-1})}{\text{energy input (MJ ha}^{-1})} \qquad (۷)$$

$$EPI_{tomato} = \frac{\text{tomato output (Kg ha}^{-1})}{\text{energy input (MJ ha}^{-1})} \quad \text{کیلوگرم بر مگاژول} \qquad (۸)$$

نتایج و بحث: یافته‌های توصیفی

در ارتباط با ویژگی‌های فردی و فنی پاسخگویان در منطقه مورد مطالعه، یافته‌ها نشان می‌دهد که از نظر سنی، بیشترین درصد فراوانی با ۴۵/۷ ٪ مربوط به گروه ۴۰-۲۹ سال بوده و حداقل و حداکثر سن نمونه‌ها به ترتیب ۱۷ و ۷۲ سال می‌باشد. بررسی وضعیت تاهل کشاورزان نشان می‌دهد ۸۹٪ آنان متاهل هستند. میانگین سابقه کار افراد مورد مطالعه در کشاورزی ۲۵ سال بوده و بیشترین درصد فراوانی با ۳۸/۱٪ مربوط به سابقه کاری ۱۵ تا ۲۵ سال می باشد. از نظر وضعیت سواد بیش از نیمی از کشاورزان (۵۳/۳ ٪) در حد ابتدایی و راهنمایی و ۱۱/۴ ٪ آنها هم بیسواد بوده اند. وضعیت مالکیت زمین کشاورزان نشان می‌دهد میانگین مالکیت زمین کشاورزی ۶/۳۵ هکتار بوده و در حدود دو سوم آنها (۶۵/۲ ٪) کمتر از ۵ هکتار زمین داشته‌اند. از لحاظ مالکیت ادوات کشاورزی نتایج نشان داد ۴۴/۸٪ کشاورزان دارای تراکتور می‌باشند و بقیه نیز مالک سایر ادوات کشارزی مانند نهرکن بوده اند. منبع آب مورد استفاده ۸۷/۱٪ کشاورزان چاه عمیق و برای مابقی چشمه، قنات و چاه نیمه عمیق بوده است. از نظر وضعیت مالکیت منبع آب حدود ۵۸/۶ ٪ دارای مالکیت شخصی بوده‌اند. میانگین دبی فعلی چاه ۱۵/۹ لیتر بر ثانیه بوده است. میانگین کل آب، سوخت گازوئیل و برق مصرفی در سطح یک هکتار کشت گوجه‌فرنگی بترتیب برابر ۵۲۷۲/۲ مترمکعب، ۲۷۱/۵ لیتر و ۳۲۸۲ کیلووات ساعت بوده است. میانگین عملکرد محصول برابر ۴۲/۳۰ با حداقل عملکرد ۱۰ و حداکثر ۱۲۰ تن در هکتار بوده و بیشترین فراوانی مربوط به گروه ۳۱ تا۵۰ تن با ۴۵/۷٪ درصد را شامل می‌شود.

تحلیل انرژی نهاده‌ها و محصول، کارایی و بهره‌وری انرژی و محاسبه ردپای اکولوژیکی

برآورد انرژی‌های ورودی و خروجی تولید گوجه‌فرنگی

در بخش تحلیل انرژی‌ها، با ضرب فاکتورهای معادل‌ساز انرژی هر نهاده مصرفی و محصول تولیدی، مندرج در جدول ۱، در مقدار مصرف هر نهاده و مقدار محصول تولیدی، مقدار انرژی ورودی حاصل از مصرف هر یک از نهاده‌ها و مقدار انرژی خروجی حاصل از میزان گوجه‌فرنگی تولید شده محاسبه گردید. در این محاسبات از میانگین مصرف نهادها و عملکرد محصول به عنوان مقادیر لازم برای انجام محاسبات استفاده شده که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

ورودی‌ها	واحد	میزان مصرف	ضریب تبدیل	برآورد انرژی(مگاژول) ($MJ\ ha^{-1}$)	درصد	رتبه
الکتریسیته	kwh	۳۲۸۲	۱۱/۹۳	۳۹۱۵۴/۳	۳۸/۸۷	۱
کود ازته	kg	۴۱۰	۶۶/۱۴	۲۷۱۱۷/۴	۲۶/۹۲	۲
گازوئیل	l	۲۷۱/۵	۵۶/۳۱	۱۵۲۸۸/۲	۱۵/۱۸	۳
آب آبیاری	m^3	۵۲۷۲/۲	۱/۰۲	۵۳۷۷/۶	۵/۳۴	۴
پلاستیک	kg	۴۵/۶	۹۰	۴۱۰۴	۴/۰۷	۵
فسفات	kg	۲۴۲/۷	۱۲/۴۴	۳۰۱۹/۲	۳	۶
کود دامی	ton	۶/۷۵	۳۰۰	۲۰۲۵	۲/۰۱	۷
نیروی انسانی	h	۱۰۱۲/۸	۱/۹۶	۱۹۸۵/۱	۱/۹۷	۸
کود میکرو	kg	۷	۱۲۰	۸۴۰	۰/۸۳	۹
ماشین‌آلات	h	۱۰/۴	۶۲/۷	۶۵۲/۱	۰/۶۵	۱۰
پتاسیم	kg	۴۵/۴۳	۱۱/۱۵	۵۰۶/۵	۰/۵۰	۱۱
قارچ‌کش	kg	۱/۵۱	۲۱۶	۳۲۶/۲	۰/۳۲	۱۲
حشره‌کش	kg	۱/۸۵	۱۰۱/۲	۱۸۷/۲	۰/۱۹	۱۳
علف‌کش	kg	۰/۶۱	۲۳۸	۱۴۵/۲	۰/۱۴	۱۴
گوگرد	kg	۳/۳۲	۱/۱۲	۳/۷	۰/۰۰۴	۱۵
بذر گوجه‌فرنگی	kg	۰/۶۵	۱	۰/۷	۰/۰۰۰۶	۱۶
				۱۰۰۷۳۲/۳	۱۰۰	
خروجی						
گوجه‌فرنگی	kg	۴۲۳۰۰	۰/۸	۳۳۸۴۰	۱۰۰	

جدول۲- برآورد انرژی‌های ورودی نهاده‌های مصرفی و انرژی خروجی حاصل از تولید محصول گوجه‌فرنگی

ماخذ: یافته‌های پژوهش

الف) انرژی‌های ورودی:

یافته‌های جدول ۲ نشان می‌دهد، مجموع انرژی‌های حاصل از مصرف منابع و نهاده‌های ورودی برابر ۱۰۰۷۳۲ مگا ژول می‌باشد، که انرژی حاصل از الکتریسیته مصرفی با ۳۹۱۵۴ مگا ژول و ٪ ۳۸/۸۷ در رتبه اول و کود ازت و گازوییل مصرفی هرکدام به ترتیب با حدود ۲۷۱۱۷ و ۱۵۲۸۸ مگا ژول و ۲۶/۹۲ و ۱۵/۱۸ درصد در رتبه‌های دوم و سوم قرار داشته‌اند بطوری‌که انرژی حاصل از مصرف این نهاده‌ها در مجموع ۸۰/۹۷ درصد از کل انرژی‌های ورودی را شامل می‌شود. انرژی حاصل از آب مصرفی با حدود ۵۳۷۷ مگاژول و ٪ ۵/۳۴ در رتبه چهارم واقع شده است. کمترین انرژی به گوگرد و بذر مصرفی با حدود ۰/۰۰۴ و ۰/۰۰۰۶ درصد در رتبه ۱۵ و ۱۶ برمی‌گردد. از کل

انرژی‌های ورودی ۱۰۰۷۳۲ مگاژول، مقدار ۶۱۸۰۵ مگا ژول برابر ۶۱/۳۶ ٪ را انرژی‌های مستقیم (نیروی کار، برق، گازوئیل و آب) و ۳۸۹۲۷ مگا ژول برابر ۳۸/۶۴ ٪ را انرژی‌های غیرمستقیم (کودها، بذر، سموم و ماشین‌آلات) تشکیل می دهند.

ب) انرژی‌های خروجی:

برابر داده‌های جدول ۲ انرژی‌های خروجی حاصل از تولید محصول گوجه‌فرنگی طبق برآورد صورت گرفته ۳۳۸۴۰ مگاژول بوده که حاصل از تولید ۴۲۳۰۰ کیلوگرم محصول گوجه‌فرنگی در سطح یک هکتار می‌باشد.

محاسبه کارایی و بهره‌وری انرژی تولید گوجه‌فرنگی

یکی از مهمترین گام های ارزیابی عملکرد، تعیین شاخص‌های ارزیابی عملکرد است. از جمله شاخص‌های شایان توجه کارایی و بهره‌وری هستند. منظور ازکارایی، نسبت بازده واقعی به بازده استاندارد و مورد انتظار یا به عبارت دیگر، نسبت مقدار کاری است که انجام می‌شود به مقدار کاری که باید انجام شود. از دیدگاه اقتصاددانان، بهره‌وری به معنای تولید محصول بیشتر با استفاده از منابع و امکانات موجود یا به عبارتی، استفاده موثرتر از عوامل تولید است. در کارایی گفته می‌شود کدام بنگاه کارا عمل می‌کند؛ ولی در مفهوم بهره‌وری گفته می‌شود که کدام بنگاه در طول زمان بهره‌وری عوامل تولید خود را تغییرداده‌اند. بهره‌وری به مفهوم مقایسه کارایی یک بنگاه طی زمان‌های متفاوت است و به عبارتی بهتر، بهره‌وری مقایسهٔ‌کارایی است. واضح است پیش شرط بهبود بهره‌وری در سطح خرد و کلان مستلزم سنجش کارایی است که این سنجش در ارزیابی کیفیت و ترکیب بکارگیری منابع، سطح بازدهی فعالیت‌ها و ارزیابی وضع موجود موثر بوده و نیز در کشف و اصلاح روش‌های بهبود بهره‌وری و تخصیص بهینه منابع بسیار موثر است (Hedayat Mazhari et al., 2021).

در اینجا براساس روابط ۷ و ۸، کارایی انرژی تولید برابر ۰/۳۴ و بهره‌وری انرژی تولید معادل ۰/۴۲ کیلوگرم بر مگاژول محاسبه و برآورد گردید.

$$EEI_t = \frac{33840}{100732.3} = 0.34$$

$$EPI_t = \frac{42300}{100732.3} = 0.42$$ کیلوگرم بر مگاژول

پایین بودن کارایی و بهره‌وری انرژی کشت گوجه‌فرنگی در شهرستان اسدآباد حاکی از پایین بودن مقدار انرژی خروجی (محصول تولیدی) نسبت به انرژی‌های ورودی حاصل از نهاده‌های مصرفی به ویژه برق (٪۳۸/۹) ، کود ازته (٪ ۲۶/۹) و گازوئیل (٪ ۱۵/۱۸) می‌باشد که نشان دهنده ناپایداری تولید این محصول در شهرستان اسدآباد به دلیل استفاده غیر اصولی از نهاده‌هایی چون برق و کودهای ازته می‌باشد.

در این زمینه، Zabardast et al (2023) در مطالعه خود با عنوان ارزیابی انرژی وانتشار گازهای گلخانه‌ای تولید زیتون درغرب ایران (مطالعه موردی: شهرستان ایلام)، کارایی و بهره‌وری انرژی را بترتیب برابر ۱/۳۶ و ۰/۱۲کیلوگرم برمگاژول گزارش کردند که نهاده الکتریسیته و کود نیتروژن به ترتیب با ۷۳/۷۸ و ۱۶/۸۱ درصد بیشترین سهم از انرژی‌های ورودی را به خود اختصاص دادند. بنابراین، از نظر مهمترین نهاده‌های مصرف کننده انرژی و همچنین بهروه وری انرژی پایین در تولید، نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارند. در مطالعه (Yilmaz et al., 2005) با عنوان مصرف انرژی تولید پنبه در ترکیه، کارایی و بهره‌وری مصرف انرژی بترتیب برابر ۰/۷۴ و ۰/۰۶ کیلوگرم کتان برای مصرف یک مگاژول انرژی محاسبه شد که این نسبت‌ها نیز از نظر پایین بودن آنها با نتایج این بخش از پژوهش مطابقت دارند. نتایج حاصل از تحقیق در محاسبه معادل انرژی نهاده‌های ورودی و کارایی انرژی در تولید گوجه‌فرنگی از نظر مشابهت در نهاده‌هایی با بیشترین مصرف انرژی و کم بودن کارایی انرژی تولید با مطالعات (Zarei, 2017؛ Esfahani et al., 2017 و Esengun et al., 2007) مطابقت دارد. همچنین، یافته‌های این بخش از تحقیق با مطالعات انجام شده در خصوص محاسبه معادل انرژی سایر محصولات کشاورزی (Abdullah et al., 2015) و (Ghasemi Mobtaker et al., 2010) مطابقت دارد.

در مقابل، Ozkan et al (2006) در مطالعه و تحلیل نسبت انرژی ستاده به نهاده و بهره‌وری انرژی در تولید چغندر در ترکیه بترتیب اعداد ۲۵/۷۵ و ۱/۵۳ را گزارش کردند که این نسبت ها با نسبت‌های بدست آمده در مطالعه حاضر تفاوت داشته و مطابقت ندارند. همچنین، Dekamin (2021) در مطالعه‌ای تحت عنوان هزینه‌یابی جریان مواد و انرژی سیب زمینی در استان همدان کارایی و بهره‌وری مصرف انرژی را بترتیب برابر ۲/۶۵ و ۰/۷۴ محاسبه نموده است که این نسبت‌ها نیز با شاخص های کارایی و بهره‌وری انرژی محاسبه شده در این مطالعه مطابقت ندارند.

محاسبه کارایی فنی و تخصیصی تولید گوجه‌فرنگی

جهت تحلیل کارایی تولید گوجه‌فرنگی در منطقه مورد مطالعه، کارایی فنی و تخصیصی محاسبه و سنجیده شد که نتایج آن در خروجی نرم افزار DEAP 2.1 در جدول ۳ آمده است. بر اساس نتایج این جدول میانگین کارایی فنی برابر ۰/۸۶۶۷ و میزان عدم کارایی فنی در این حالت معادل ۰/۱۳۳۳ و میانگین کارایی تخصیصی معادل ۰/۸۹۳۰ و میزان ناکارایی تخصیصی در این حالت ۰/۱۰۷ بوده است. از آنجا که میانگین کارایی فنی و میانگین کارایی تخصیصی کمتر از ۱ می‌باشند، می‌توان نتیجه گرفت حداقل تعدادی از واحدهای تولیدی گوجه‌فرنگی ناکارا بوده اند.

جدول ۳- محاسبه کارایی فنی و تخصیصی

کارایی	میانگین	انحراف معیار
کارایی فنی	۰/۸۶۶۷	۰/۱۶۳۴۰
کارایی تخصیصی	۰/۸۹۳۰	۰/۱۶۶۰۷
جمع	۲۱۰	

ماخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج تحقیق (Coelli et al., 2002) با عنوان "بررسی کارایی فنی، تخصیصی، هزینه و مقیاس برنج کاران بنگلادشی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها" نشان داد میانگین کارایی‌های فنی، تخصیصی، هزینه و مقیاس برای فصل خشک به‌ترتیب ۶۹/۴، ۸۱/۳، ۵۶/۲، ۹۴/۹ درصد بوده و مهمترین مولفه‌های تاثیرگذار بر ناکارایی تخصیصی به‌کارگیری بیش از حد نیروی کار و کود می‌باشد. همچنین Esfahani et al (2017) در مطالعه خود با عنوان "کارایی و پایداری تولید ذرت علوفه‌ای با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و ردپای اکولوژیکی چندکارکردی در شهرستان سرایان" با استفاده از ابزار تحلیل پوششی داده‌ها، میانگین کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس را بترتیب برابر ۰/۸۶ ، ۰/۹۳ و ۰/۸۰ محاسبه و گزارش کرده‌اند.

محاسبه ردپای مستقیم و غیرمستقیم و ردپای اکولوژیک براساس مصرف نهاده‌ها

در این پژوهش جهت محاسبه ردپای اکولوژیکی مستقیم و غیرمستقیم از روش برآورد فاکتورهای معادل‌ساز انرژی، محاسبه شده در جدول ۲ و روابط ۵ و ۶ بهره گرفته شده است. همچنین جهت محاسبه ردپای اکولوژیکی منابع و نهاده‌های مصرفی از مدل ردپای اکولوژیکی ارائه شده توسط کیسینجر و گوتلیب (۲۰۱۲) و گازمن و همکاران (۲۰۱۳)، روابط ۲، ۳ و ۴ استفاده گردید.

ردپای مستقیم $EF_{direct} = 2.2*1 = 2.2$

ردپای غیرمستقیم $EF_{co2} = \frac{100.732\ GJ}{71\ GJ} = 1.42$

ردپای کل تولید گوجه‌فرنگی $EF_{total} = 2.2 + 1.42 = 3.62$

یافته‌ها نشان می‌دهد در این مدل ردپای کل برای تولید گوجه فرنگی برابر ۳/۶۲ هکتار جهانی است که حاصل جمع ردپای مستقیم (۲/۲) و ردپای غیرمستقیم (۱/۴۲) هکتار جهانی می‌باشد. هکتار جهانی، یک واحد اندازه‌گیری استاندارد شده برای ردپای اکولوژیک مردم یا فعالیت‌های آنها و ظرفیت زیستی زمین و مناطق آن است. ردپای اکولوژیک، تقاضای انسان برای مصرف منابع طبیعی را اندازه‌گیری

می‌کند و ظرفیت زیستی، منطقه مولدی است که می‌تواند آنچه مردم از طبیعت تقاضا می‌کنند را، بازتولید کند. ردپای مستقیم (واقعی) میزان زمین تصرف‌شده در اثر کاربری‌های مختلف مانند زمین‌های زراعی، ساختمان، مراتع و جنگل برای تولید محصول را نشان می‌دهد. ردپای غیرمستقیم (مجازی) به میزان انتشار CO_2 سالانه در تولید محصول مرتبط است. این ردپا میزان زمین مورد نیاز (اضافی) برای جذب آلودگی‌های زیست‌محیطی و کشاورزی ناشی از مصرف نهاده‌ها و منابع مورد استفاده (کودها، بذر، نیروی انسانی، آب، سوخت و سموم) را نشان می‌دهد که بر حسب هکتار جهانی طی یکسال زراعی در تولید محصول به‌دست می‌آید. در جدول ۴، نتایج محاسبه ردپای غیرمستقیم (کودها، بذر، سموم و ماشین‌آلات) و ردپای حاصل از منابع و نهاده‌های مصرفی به تفکیک ارائه شده است.

جدول ۴- ردپای غیرمستقیم و ردپای منابع و نهاده‌های مصرفی تولید گوجه‌فرنگی

ورودی‌ها	انرژی تولیدی (گیگاژول) ($GJ\ ha^{-1}$)	ردپای غیرمستقیم (gha)	ردپای نهاده مصرفی (gha)
الکتریسیته	۳۹/۱۵	۰/۵۵	۲/۹۴
کود ازته	۲۷/۱۲	۰/۳۸	۲/۰۴
گازوئیل	۱۵/۲۹	۰/۲۲	۱/۱۵
آب آبیاری	۵/۳۸	۰/۰۸	۰/۴۰
پلاستیک	۴/۱۰	۰/۰۶	۰/۳۱
فسفات	۳/۰۲	۰/۰۴	۰/۲۳
کود دامی	۲/۰۳	۰/۰۲۹	۰/۱۵
نیروی انسانی	۱/۹۹	۰/۰۲۸	۰/۱۵
کود میکرو	۰/۸۴	۰/۰۱	۰/۰۶
ماشین‌آلات	۰/۶۵	۰/۰۰۹	۰/۰۵
پتاسیم	۰/۵۱	۰/۰۰۷	۰/۰۳۸
قارچ‌کش	۰/۳۳	۰/۰۰۴۶	۰/۰۲۵
حشره‌کش	۰/۱۹	۰/۰۰۲۶	۰/۰۱۴
علف‌کش	۰/۱۵	۰/۰۰۲	۰/۰۱۱
گوگرد	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۲۸
بذر گوجه‌فرنگی	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰۴۹
جمع انرژی‌های ورودی	۱۰۰		
جمع کل ردپای غیرمستقیم و ردپای نهاده‌های مصرفی		۱/۴۲	۷/۵۷

ماخذ: یافته‌های پژوهش

براساس یافته‌های حاصل از جدول ۴ برق با ۳۹/۱۵ گیگا ژول انرژی تولیدی و ردپای غیرمستقیم و نهاده به‌ترتیب برابر ۰/۵۵ و ۲/۹۴ در رتبه اول و کود ازت با ۲۷/۱۲ گیگا ژول و ردپای غیرمستقیم و نهاده به‌ترتیب ۰/۳۸ و ۲/۰۴ در رتبه دوم و گازوئیل با ۱۵/۲۹ گیگا ژول انرژی تولیدی و ردپای غیرمستقیم و نهاده به‌ترتیب ۰/۲۲ و ۱/۱۵ در رتبه سوم قرار دارند و بیشترین تأثیر را بر ردپای غیرمستقیم و ردپای نهاده دارند. بنابراین در تولید محصول گوجه‌فرنگی در این شهرستان، مصرف نهاده‌های الکتریسیته، کود ازته و گازوئیل، بترتیب بیشترین نقش را در تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده زیست‌محیطی داشته اند. ردپای غیرمستقیم تولید گوجه‌فرنگی برابر ۱/۴۲ محاسبه گردید. به بیان دیگر ۱/۴۲ هکتار زمین بهره‌ور جهانی لازم است تا آلاینده‌های تولید شده در اثر تولید گوجه‌فرنگی را جذب کند. با توجه

به ردپای کل ۳/۶۲ هکتار جهانی و فاصله ۲/۸۲ آن با ظرفیت زیستی ۰/۸ موجود ایران، طبق این مدل همانند ارزیابی کارایی انرژی، تولید گوجه‌فرنگی در شهرستان اسدآباد از جنبه‌ی اثرات زیست‌محیطی در شرایط ناپایداری قرار دارد. بعلاوه ردپای اکولوژیک بر مبنای نهاده‌های مصرفی ۷/۵۷ هکتار جهانی برآورد گردید که این مقدار نیز بسیار بیشتر از ظرفیت اکولوژیکی زمین مورد استفاده برای تولید گوجه‌فرنگی در سطح یک هکتار است. به بیان دیگر، این محصول مقدار ۵/۷۷ تن کربن اضافه تولید می‌کند که بیش از ظرفیت یک هکتار زمین انرژی برای جذب آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌باشد. بر این اساس به مساحتی معادل ۳/۲ هکتار زمین مولد نیاز خواهد بود تا چالش کاهش ظرفیت زیستی مرتفع شود. با توجه به این یافته نیز می‌توان نتیجه گرفت تولید گوجه‌فرنگی از جنبه اثرات زیست‌محیطی در شرایط ناپایداری قرار دارد.

با توجه به اینکه شاخص ردپا به عنوان روشی جدید در پژوهش‌های مرتبط با پایداری مطرح گردیده است، لذا مطالعه در مورد تولید گوجه‌فرنگی به صورت محدود انجام گرفته است. از این رو نتایج این مطالعه بیشتر با نتایج مطالعات صورت گرفته در زمینه سایر محصولات کشاورزی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی پایداری زیست‌محیطی کشت سیب زمینی و خیار در شهرستان بهار، ردپای اکولوژیکی برمبنای مصرف نهاده برای سیب زمینی برابر ۳/۸۸ و خیار برابر ۳/۱۵ هکتار جهانی محاسبه گردید. ردپای مستقیم، غیرمستقیم و ردپای کل به ترتیب برابر ۲/۲، ۰/۷۵ و ۲/۹۵ برای سیب زمینی و جهت کشت خیار برابر ۲/۲، ۰/۶ و ۲/۸ هکتار جهانی محاسبه شده است (Rezaei et al., 2019). در مطالعه دیگری، شاخص ردپای اکولوژیکی برای کشت گندم در استان همدان به روش مرسوم و حفاظتی به ترتیب برابر ۲/۹۶ و ۲/۸۴ هکتار جهانی محاسبه شد (Naderi Mahdei et al., 2015). در تحقیقی که در زمینه شاخص ردپای اکولوژیکی برای تولید یک تن محصولات باغی شامل سیب، زرد آلو و کیوی انجام شد، این شاخص به ترتیب برابر ۱/۵۷، ۱/۶۱ و ۳/۰۵ محاسبه شده است(Cerutti et al., 2013). در بررسی ردپای اکولوژیک تولید شلیل در ایتالیا، نتایج مطالعه نشان داد که ردپای تولید یک تن شلیل برابر ۱/۳۴ هکتار جهانی بوده است (Cerutti et al., 2010).

نتایج تحقیق نشان داد که برق و سپس کودهای شیمیایی ازته بیشترین سهم را در ردپای دی اکسید کربن داشته‌اند. از آنجا که ردپای دی اکسید کربن به طور مستقیم با انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط است، نتایج نشان داد که مصرف نهاده‌های برق و کودهای ازته، منابع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید گوجه‌فرنگی در منطقه مورد مطالعه بودند که علاوه بر افزایش هزینه‌های تولید، افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی را نیز به دنبال دارد. بعلاوه یافته‌ها نشان داد که عامل مهم دیگر انتشار، مصرف بی‌رویه سوخت (گازوئیل) برای انجام عملیات کشاورزی در نتیجه ساعات زیاد کار ماشین‌آلات بوده که باعث ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی شده است. در تایید این یافته‌ها، Mohammadi et al (2014) گزارش کردند که برق و سپس گازوئیل به عنوان منابع اصلی گازهای گلخانه‌ای در تولید ذرت علوفه ای و سویا بوده‌اند. در مطالعه‌ای جهت بررسی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید کیوی در شمال ایران، برق به عنوان منبع اصلی انتشار این گازها گزارش شده است (Nikkhah et al., 2015). در مطالعه روی تولید گازهای گلخانه‌ای در تولید چغندرقند، برق نقش مهمی در انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته و بیشترین مقدار را داشته است. در این مطالعه الکتریسیته ٪۷۳ از کل انتشار را تشکیل می‌دهد، پس از آن اوره ۱۵٪ و سوخت با ۷٪ رتبه سوم را داشته است(Yousefi et al., 2014). در پژوهشی Cerutti et al (2010)، ردپای اکولوژیک تولید شلیل در ایتالیا را بررسی کردند. نتایج نشان داد که الکتریسته بیشترین سهم را در رد پا داشت و سوخت در جایگاه دوم قرار داشت. Esfahani et al (2017) در بررسی کارایی و پایداری تولید ذرت علوفه ای در منطقه سرایان گزارش کردند که مهمترین منابع و عوامل در ردپای دی اکسید کربن بترتیب عبارتند از الکتریسیته، کود شیمیایی و سوخت. در مقابل، Yilmaz et al (2005) در تحقیق خود مصرف انرژی و هزینه نهاده‌های تولید پنبه را در ترکیه بررسی کردند و گزارش کردند که از کل انرژی مصرف شده بیشترین درصد آن مربوط به سوخت دیزل است. Abdolmaleky et al (2022) در مطالعه خود با عنوان «ارزیابی پایداری زیست‌محیطی: تولید سیب زمینی در غرب ایران» گزارش کرده‌اند که رد پای غیرمستقیم تولید محصول ۰/۵۷ هکتار جهانی و شاخص ردپا بر حسب مصرف انرژی ۳/۰۶ بوده است. عوامل بذر، گازوییل و کودهای نیتروزنه بترتیب بیشترین تاثیر را در عدم پایداری زیست‌محیطی داشته اند. Naderi Mahdei et al (2015) و Gan et al (2011) نیز مصرف بی‌رویه سوخت در نظام‌های مختلف کشاورزی را یکی از عوامل مهم ایجاد اثرات نامطلوب زیست‌محیطی دانسته‌اند.

نتیجه گیری و پیشنهادها

تحلیل ردپای اکولوژیک در کشاورزی موضوعی جدید و در حال تکامل است که میزان زمین بهره‌ور مورد نیاز برای جبران اثرات زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های گوناگون کشاورزی را مشخص می‌کند. عوامل مختلفی مخاطرات زیست‌محیطی کشاورزی را تشدید می‌کنند که در این پژوهش با روش‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج تحلیل ردپای اکولوژیک بر حسب هر یک از شاخص‌های مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد تولید گوجه‌فرنگی از لحاظ اکولوژیکی ناپایدار است. نتایج حاصل از ارزیابی انرژی‌ها نشان می‌دهد، مقدار انرژی مورد استفاده در تولید محصول بیشتر از ظرفیت اکولوژیکی زمین مورد نیاز برای تولید گوجه‌فرنگی در واحد سطح (یک هکتار) است. همچنین شاخص‌های کارایی و بهره‌وری انرژی اثرات زیست‌محیطی تولید گوجه‌فرنگی را ارزیابی و آلودگی‌های ناشی از آن را تأیید می‌نماید. یافته‌های محاسباتی ردپای اکولوژیکی محصول گوجه‌فرنگی و فاصله ۲/۸۲ هکتار جهانی آن از ظرفیت زیستی (۰/۸) موجود ایران(Rezaei et al., 2019)، کارایی انرژی پایین ناشی از مصرف نهاده‌ها به ویژه برق، کودهای ازته و گازوئیل در رتبه‌های اول تا سوم انرژی‌های ورودی با حدود ۸۱٪ و نسبت انرژی خروجی ناشی از میزان تولید محصول در هکتار، نشان‌دهنده ناپایداری تولید گوجه‌فرنگی در شهرستان اسدآباد با اثرات زیست‌محیطی نامطلوب است. با توجه نتایج حاصله از تحقیق و به‌منظور حرکت به سوی کشاورزی پایدار می‌توان با انتخاب پمپ‌ها و موتورهای با راندمان بالا، سرویس و تعمیر مرتب تجهیزات جهت افزایش راندمان، آبیاری در ساعات غیر پیک، استفاده از کانالهای بتونی بجای کانالهای سنتی موجود، استفاده از استخر و مخازن آب جهت ذخیره آب برای بهره‌برداری در زمان پیک مصرف شبکه(ساعات اولیه شب)، تبدیل سیستم‌های آبیاری سنتی به سیستم‌های تحت فشار و نیز از طریق روش‌های مختلف مدیریت نظام‌های زراعی نظیر، روش‌های مدیریتی بر مبنای بهره‌گیری از اصول کم‌نهاده شامل کاربرد انواع نهاده‌های آلی و ارگانیک، بکارگیری روش‌های مبارزه بیولوژیک با آفات (گل جالیز گوجه‌فرنگی) بجای مصرف انواع نهاده‌های شیمیایی، کاشت گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن و چندساله، استفاده از تناوب زراعی و بهره‌گیری از الگوهای متفاوت کاشت مانند کشت مخلوط، اثرات زیست‌محیطی این نظام تولیدی را کاهش داد. همچنین، جایگزینی بذرهای اصلاح شده بجای بذور محلی جهت افزایش تولید و در نتیجه بهبود کارایی و بهره‌وری انرژی و استفاده از ادوات ترکیبی و پیشرفته کشاورزی برای کاهش عملیات زراعی و شخم، بررسی و معاینه فنی ماشین‌آلات کشاورزی جهت مصرف کم‌تر و بهینه سوخت های فسیلی (گازوئیل)، تقویت کارایی بخش ترویج و آموزش کشاورزی سازمان جهاد کشاورزی در جهت ارتقاء دانش و آگاهی کشاورزان در زمینه اثرات زیست محیطی نامطلوب نهاده‌های مصرفی و تشویق کشاورزان برای ایجاد و عضویت در تعاونی‌های تولیدی جهت افزایش مشارکت آنان در تصمیم‌گیری‌های مربوط به مدیریت منابع طبیعی پیشنهاد و توصیه می‌گردد.

منابع

- Abdolmaleky, M. Naderi Mahdei, K. & Nejatian, P. (2022). Environmental Sustainability Assessment: Potato Production in Western Iran. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 6(4), 1063-1073. https://doi.org/10.1007/s41660-022-00262-
- Abdullah, A., Marzban, Z., Asoudar, A., Amin, M., & Abdoshahi, A. (2015). Energy analysis of watermelon production in plastic and open space cultivation system via DEA method in Khuzestan. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 47(2), 293-301. [In Persian]
- Agostinho, F., & Pereira, L. (2013). Support area as an indicator of environmental load: Comparison between embodied emergy, ecological footprint, and energy accounting methods. *Ecological Indicators*, 24,494 –503.
- Akifdestek, M., & Sarkodie, A.S. (2019). Investigation of environmental Kuznets curve for ecological footprint: The role of energy and financial development. *Science of the Total Environment*, 650(2).
- Canakci, M., & Akinci, I. (2006). Energy use pattern analysis of greenhouse vegetable production. *Energy*, 31: 1243-1256.
- Cerutti, A., Beccaro, G.L., Bagliani, M., Donno, D., & Bounous, G. (2013). Multifunctional ecological footprint analysis eco-efficiency (A case study of fruit production systems in Northern Italy). *Journal of Cleaner Production*, 40, 108-117.

- Cerutti, A.k., Bagliani, M., Beccaro, G.L., & Bounous, G. (2010). Application of ecological footprint analysis on nectarine production: Methodological issues and results from a case study in Italy. *Journal of Cleaner Production*, 18(8), 771-776.
- Cetin, B., &Vardar, A. (2008). An economic analysis of energy requirements and input costs for tomato production in Turkey. *Renewable Energy*, 33, 428-433.
- Cheng, K., Pan, G., Smith, P., Luo, T., Li, L., Zheng, J., Zhang, X., Han, X., & Yan, M. (2011). Carbon footprint of Chinas crop production: An estimation using agro-statistics data over 1993-2007. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 142, 231– 237.
- Coelli, T., Rahman, S., & Thirtle, C. (2002). Technical, allocative, cost and scale efficiencies in Bangladesh rice cultivation: A non-parametric approach. *Journal of Agricultural Economics*, 53(3), 607-626.
- Crishna, N. 2007. Review and Application of the Ecological Footprint (A Case Study of Agricultural Systems in Scotland). Master Thesis, Center for the study of Environmental Change and Sustainability, University of Edinburgh.
- Dekamin, M. (2021). Potato energy and material flow cost accounting in Hamadan province, Iran. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 35(2), 105-119. [In Persian]
- Dashti, Q., Pour Moradi, M., & Hayati, b. (2019). The relationship between agricultural efficiency and sustainability in potato fields in Kaboudar Ahang city. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 29(1), 181-192. [In Persian]
- Dong, G., Mao, X., Zhou, J., & Zeng, A. (2013). Carbon footprint accounting and dynamics and the driving forces of agricultural production in Zhejiang province, China. *Journal of Ecological Economic*, 91, 38–47.
- Esengun, K., Erdal, G., Gunduz, O., & Erdal, H. (2007). An economic analysis and energy use in stake tomato production in Tokat province of Turkey. *Renewable Energy*, 32, 1873-1881.
- Esfahani, S.M.J., Naderi Mahdei, K., Saadi, H., & Dourandish, A. (2017). Efficiency and sustainability of silage corn production by data envelopment analysis and multi-functional ecological footprint: evidence from Sarayan county. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 19, 1453-1468.
- Farrell, M.J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of The Royal Statistical Society*, *Series* A, 120(3), 253-290.
- Fatemi, M., Rezaei, K., Wackernagel, M., & Shennan, C. (2018). Sustainability of environmental management in Iran: An ecological footprint analysis. *Iran Agricultural Research*, 37(2), 53-68. doi: 10.22099/iar.2018.4958.
- Gan, Y., Liang, C., Wang, X., & McConkey, B. (2011). Lowering carbon footprint of durum wheat by diversifying cropping systems. *Field Crops Research*, 122, 199–206.
- Gharkhloo, M., Pourkhbaz, H., Amiri, M., & Faraji, S.H. (2009). Assessing the Ecological Potential of Qazvin Region to Determine Potential Points of Urban Development Using GIS. *Urban Region Studies and Research*, 1, 51–68. [In Persian]
- Ghasemi Mobtaker, H., Keyhani, A., Mohammadi, A., Rafiee, S., & Akram, A. (2010). Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan province of Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 137, 367–372. [In Persian]
- Global Economy (2023). Fertilizer use-Country rankings. Available at: https://www.theglobaleconomy.com (Retrieved at: 9 November 2023)

- Guzman, J., Marrero, M., & Arellano, A. (2013). Methodology for determining the ecological footprint of the construction of residential buildings in Andalusia (Spain). *Ecological Indicator*, 25, 239-249.
- Habibi, K., Ghaderi, A., Asadi, J., & Rahimi, A. (2018). Assessing the level of sustainability of informal neighborhoods using ecological footprint model. Case study: Abbas abad neighborhood of Sanandaj. *Journal of Urban Studies*, 26, 89-98. [In Persian]
- Hamedan Jihad of Agriculture Organization. (2021). Potato production. Islamic Republic News Agency (IRNA). Available at https://www.irna.ir/news/84416443/. (Retrieved at: 29 July 2021).
- Hassanzadeh Qort Tappeh, A., Haji Hassani, M., Nikzad, P., & Zahedmanesh, M. (2008). Evaluation of energy efficiency in tomato cultivation of west Azerbaijan province. In presentation at the "First National Congress of Tomato Production and Processing Technology". Mashhad, February 23th-February 24st.
- Hedayat Mazhari, R., Khoramabadi, M., & Lashgar Ara, S. (2021). Assessing efficiency using data envelopment analysis method and its relation to financial ratios. *Journal of Financial Accounting Research*, 13 (3), 89-110. Doi: 10.22108/far.2022.129532.1785. [In Persian]
- Jadidi, M.R., Sabuni, M.S., Homayounifar, M., & Mohammadi, A. (2012). Assessment of energy use pattern for tomato production in Iran (A case study from the Marand region). *Agricultural Engineering*, 58, 119-130. [In Persian].
- Kanchanaroek, Y., & Aslam, U. (2018). Policy schemes for the transition to sustainable agriculture Farmer preferences and spatial heterogeneity in northern Thailand. *Land Use Policy*, 78(C), 227-235.
- Khorramdel, S., Abolhassani, L., & Rahmati, E. (2016). Environmental impacts assessment of saffron agroecosystems using life cycle assessment methodology (Case study: Torbat- e Heydarieh and Ghaen counties). *Journal of Saffron Research*, 4(2), 229-248. [In Persian]
- Kissinger, M., & Gottlieb, D. (2012). From global to place oriented hectares: the case of Israel's wheat ecological footprint and its implication for sustainable resource supply. *Ecological Indicator*, 16, 51–57.
- Lim, A. (2020). What is ecological footprint? definition and how to calculate it. Sustainability for All. A newsletter published by Treehugger, Available at https://www.treehugger.com. (Retrieved at: 10 August 2020)
- Ministry of Energy of Iran (2023). Energy balance sheet. Planning administration and microeconomics of power and energy. Available at: https://pep.moe.gov.ir/ (Retrieved at: 15 November 2023).
- Mobtaker, H.G., Akram, A., & Keyhani, A. (2012). Energy use and sensitivity analysis of energy inputs for alfalfa production in Iran. *Energy for Sustainable Development*, 16, 84-89.
- Mohammadi, A., & Omid, M. (2010). Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. *Applied Energy*, 87, 191-196.
- Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Keyhani, A., Mousavi Avval, S.H., & Nonhebel, S. (2014). Energy use efficiency and greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. *Renew, Sustainable Energy Rev*iew, 30, 724-733.
- Naderi Mahdei, K., Bahrami, A., Aazami, M., & Sheklabadi, M. (2015). Assessment of agricultural farming systems sustainability in Hamedan province using ecological footprint analysis (case study: irrigated wheat). *Journal of Agricultural Science and*

Technology, 17, 1409- 1420. DOR: 20.1001.1.16807073.2015.17.6.21.2
- Nikkhah, A., Emadi, B., & Firouzi, S. (2015). Greenhouse gas emissions footprint of agricultural production in Guilan province of Iran. *Sustainable Energy Technologies Assessments*, 12, 10-14.
- Omid, M., Ghojabeige, F., Delshad, M., & Ahmadi, H. (2011). Energy use pattern and benchmarking of selected greenhouses in Iran using data envelopment analysis. *Energy Conversion and Management*, 52 (1), 153–162.
- Ozkan, B., Akcaoz, H., & Fert, C. (2006). Energy input–output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy*, 29, 39–51.
- Pervanchon, E.T. (2002). Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro ecological indicator. *The Energy Indicator, Agricultural System*, 72, 149-172.
- Rees, W.E., & Wackernagel, M. (1996). Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable - and why they are a key to sustainability. *Environmental Impact Assessment Review*, 16, 223-248.
- Rezaei, P., Naderi Mehdi, K., Karimi, S., & Shanazi, K. (2019). Assessing the ecological sustainability of the crop system using ecological footprint analysis (case study: potato and cucumber cultivation in Sefalgaran village of Bahar city). *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 29(2), 53-66. [In Persian]
- Singh, H., Mishra, D., & Nahar, N.M. (2010). Energy use pattern in production agriculture of a typical village in arid zone India – Part I. *Energy Conversion and Management*, 43(16), 2275-2286.
- Tabatabaie, S.M.H., Rafiee, S.H., Keyhani, A., & Heidari, M.D. (2013). Energy use pattern and sensitivity analysis of energy inputs and input costs for pear production in Iran. *Renewable Energy*, 51, 7-12.
- Tittonell, P., & Giller, K. (2013). When yield gaps are poverty traps: the paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture. *Field Crop Research*, 143, 76- 90.
- Toth, G., Szigeti, C., Harangozo, G., & Szabo, D. (2018). Ecological footprint at the micro-scale-how it can save costs: the case of ENPRO. *Resources*, 7(3)45, 1-14. doi:10.3390/resources7030045.
- United States Environmental Protection Agency (2016). Global greenhouse gas emissions data. Available at https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions. (Retrieved at: 22 June 2021).
- Vanden Bergh, J.C.J.M., & Grazi, F. (2014). Ecological footprint policy? land use as an environmental indicator. *Journal of Industrial Ecology*, 18 (1), 10-19.
- Vander Werf, H.M.G., & Turnen, L. (2008). The Environmental Impacts of the Production of Hemp and Flax Textile Yarn. *Industrial Crops Production*, 27, 1–10.
- Wackernagel, M., Monfreda, C., Moran, D., Wermer, P., Goldfinger, S., Deumling, D. & Murray, M. (2005). National footprint and biocapacity accounts 2005: The underlying calculation method. *Global Footprint Network*, 1-33.
- Yara International (2023). Crop and agronomy knowledge. Growing more food, sustainably. Available at: https://www.yara.com (Retrieved at: 9 November 2023).
- Yilmaz, I., Akcaoz, H., & Ozkan, B. (2005). An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. *Renewable Energy*, 30, 145-155.
- Yousefi, M., Khoramivafa, M., & Mondani, F. (2014). Integrated evaluation of energy use, greenhouse gas emissions and global warming potential for sugar beet *(Beta vulgaris)* agroecosystems in Iran. *Atmospheric Environment*, 92, 501-505.

- Zabardast, M., Azizpanah, A., Yeganh, R., Fath, R., & bahamin, S. (2023). Evaluation of energy and emission of greenhouse gases for olive production in west Iran (case study: Ilam province, Ilam city. *Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 33(1), 237-250. Doi: 10.22034/saps.2021.41099.2521. [In Persian]
- Zangeneh, M., Omid, M., & Akram, A. (2010). A comparative study on energy use and cost analysis of potato production under different farming technologies in Hamadan province of Iran. *Energy*, 35, 2927-2933. [In Persian]
- Zarei, M.J. (2017). Energy evaluation and economic analysis and environmental effects of tomato and cucumber production under open field cultivation and greenhouse in Fars province. Master Thesis of Agricultural Mechanization, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Ramin. [In Persian]