University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

Evaluation the Energy, Economic and Greenhouse Gas Emission Indicators of Forage Corn (*Zea mays* L.) and Alfalfa (*Medicago sativa* L.) in the Alborz Province

Sadegh Nasirpour[1] | Mohammadreza Jahansouz[2]✉ | Arash Mohammadzadeh [3] | Hosein Moghadam [4]

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: s.nasirpour@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: jahansuz@ut.ac.ir
3. Natural Resources Management Research Department, Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran.
4. Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran Email: hmoghadam@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: February 04, 2024
Received in revised form: April 16, 2024
Accepted: April 17, 2024
Published online: December 21, 2024

Keywords:
Economic productivity, global warming, input energy, renewable energy, special energy.

ABSTRACT

Nowadays sustainable production of agricultural products to ensure food security is among the goals and macro policies; therefore, attention to energy flows, economic indicators and environmental issues is inevitable. Therefore, the present research was carried out in the years 2021 and 2022 with the aim of investigating energy indicators, greenhouse gas emissions and economic indicators on two plants, alfalfa (*Medicago sativa* L.) and forage corn (*Zea mays* L.), which plays important roles in providing fodder for livestock in cities of Alborz province. The desired data was obtained from interviews with farmers and completing questionnaires for each plant. Results showed that the highest energy input, output and net energy in alfalfa were 61964.1, 271760, and 209795.9 Mj.ha^{-1}, respectively. Also, for corn, the highest input, output, and net energy were 35330, 240120, and 204790 Mj.ha^{-1} respectively. The highest efficiency of energy consumption in alfalfa and corn was obtained 4.38 and 6.8, respectively. Among the different inputs, diesel, nitrogen chemical fertilizer and irrigation water had the largest share in the energy input. The comparison between alfalfa and corn in terms of global warming showed that alfalfa plants with the production of 3097.6 kg of CO_2 per hectare had a greater role in global warming than corn plants with the production of 1879.7 kg of CO_2 per hectare that three factors, diesel, chemical fertilizer and electricity have played the most important role on it. The study of economic indicators also showed that alfalfa, with a net income of 2,997$.ha^{-1}, generated 13% more income than corn with a net income of 2,647 $.ha^{-1}, and was economically superior to forage corn.

Cite this article: Nasirpour, S., Jahansouz, M.R., Mohammadzadeh, A., & Moghadam, H. (2024). Evaluation the energy, economic and greenhouse gas emission indicators of forage corn (*Zea mays* L.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.) in the Alborz province. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *55*(4), 17-34. DOI: 10.22059/ijfcs.2024.372074.655062.

© The Authors.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2024.372074.655062

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

بررسی شاخص‌های انرژی، اقتصادی و انتشار گازهای گلخانه‌ای بوم‌نظام‌های ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) و یونجه (*Medicago sativa* L.) در استان البرز

صادق نصیرپور[۱] | محمدرضا جهانسوز[۲]✉ | آرش محمدزاده[۳] | حسین مقدم[۴]

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: s.nasirpour@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: jahansuz@ut.ac.ir

۳. بخش تحقیقات مدیریت منابع طبیعی، مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران.

۴. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: hmoghadam@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:
انرژی تجدیدپذیر، انرژی مخصوص، انرژی ورودی، بهره‌وری اقتصادی، گرمایش جهانی.

چکیده

امروزه تولید پایدار محصولات کشاورزی در جهت تأمین امنیت غذایی جزء اهداف و سیاست‌های کلان می‌باشد و توجه به جریان‌های انرژی، شاخص‌های اقتصادی و مسائل زیست‌محیطی امری اجتناب‌ناپذیر است. ازاین‌رو، تحقیق حاضر در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ با هدف بررسی شاخص‌های انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و شاخص‌های اقتصادی در دو گیاه یونجه (*Medicago sativa* L.) و ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) که نقش مهمی در تأمین علوفه مورد نیاز دام دارند در شهرستان‌های کرج، فردیس، ساوجبلاغ، نظرآباد و اشتهارد انجام گرفت. اطلاعات مورد نیاز از طریق مصاحبه با کشاورزان و تکمیل پرسشنامه برای هر گیاه به‌دست آمد. یافته‌های به‌دست‌آمده از این بررسی نشان داد که بیشترین انرژی ورودی، انرژی خروجی و انرژی خالص در کشت یونجه به‌ترتیب به میزان ۶۱۹۶۴/۱ و ۲۷۱۷۶۰ و ۲۰۹۷۹۵/۹ مگاژول در هکتار بود. همچنین در کشت ذرت نیز بیشترین انرژی ورودی، انرژی خروجی، و انرژی خالص به‌ترتیب ۳۵۳۳۰، ۲۴۰۱۲۰ و ۲۰۴۷۹۰ مگاژول در هکتار بود. بیشترین کارایی مصرف انرژی در کشت یونجه و ذرت به‌ترتیب ۴/۳۸ و ۶/۸ به‌دست آمد. در بین ورودی‌های مختلف گازوئیل، کود شیمیایی نیتروژن و آب آبیاری بیشترین سهم را در انرژی ورودی داشتند. مقایسه یونجه و ذرت از نظر گرمایش جهانی نشان داد که کشت یونجه با تولید معادل ۳۰۹۷/۶ کیلوگرم CO_2 در هکتار نسبت به کشت ذرت با تولید ۱۸۷۹/۷ کیلوگرم CO_2 در هکتار خاطر مصرف بیشتر گازوئیل، کود شیمیایی و الکتریسیته نقش بیشتری در گرمایش جهانی داشته است. بررسی شاخص‌های اقتصادی نیز نشان داد که کشت یونجه با درآمد خالص ۸۵۴/۱۴۵ میلیون ریال در هکتار نسبت به کشت ذرت با درآمد خالص ۷۵۴/۳۹۵ میلیون ریال در هر هکتار ۱۳ درصد درآمد بیشتری ایجاد کرد و از نظر اقتصادی بر ذرت علوفه‌ای برتری داشت.

استناد: نصیرپور، ص.، جهانسوز، م.ر.، محمدزاده، آ.، و مقدم، ح. (۱۴۰۳). بررسی شاخص‌های انرژی، اقتصادی و انتشار گازهای گلخانه‌ای بوم‌نظام‌های ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) و یونجه (*Medicago sativa* L.) در استان البرز. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۵(۴)، ۱۷-۳۴. DOI: 10.22059/ijfcs.2024.372074.655062

CC BY NC

© نویسندگان

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

کشاورزی همواره به‌عنوان یکی از منابع اصلی تأمین‌کننده نیازهای غذایی و پوشاک انسان‌ها در طول تاریخ بوده است که پایه‌گذار بسیاری از تحولات اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و فرهنگی می‌باشد (Mardani Najafabadi *et al*., 2019). بررسی‌ها نشان می‌دهد باتوجه‌به رشد جمعیت جهانی تا سال ۲۰۵۰، جمعیت کره زمین بالغ بر ۹/۷ میلیارد نفر خواهد بود (Mahlayeye *et al*., 2022). ازاین‌رو تأمین نیازهای غذایی آینده نیازمند افزایش تولید محصولات کشاورزی، کاهش ضایعات مواد غذایی و تغییر در الگوهای مصرف است (FAO, 2018). برای تأمین این میزان از غذا باید تا سال ۲۰۵۰ بالغ بر ۷۰ درصد بر تولیدات محصولات کشاورزی افزوده شود. این در حالی است که این افزایش تولید باید با کمترین میزان افزایش در ورود نهاده‌های شیمیایی مانند کودها، سموم شیمیایی و عدم تغییر در سطح زیر کشت محصولات باشد تا علاوه‌بر تامین نیازهای غذایی مورد نیاز بتوان به سمت کشاورزی پایدار نیز حرکت کرد (Mahlayeye *et al*., 2022). از مهم‌ترین عوامل برای کشاورزی پایدار حداکثرکردن کارایی استفاده از انرژی در این نظام‌های تولیدی است. استفاده از سوخت‌های فسیلی و کودهای شیمیایی باعث ایجاد آسیب‌های جدی به محیط زیست شده است؛ بنابراین مطالعه و مقایسه انرژی مصرفی در گیاهان زراعی می‌تواند در اولویت‌بندی کشت گیاهان در مناطق مختلف مورد استفاده قرار گیرد (Safa *et al*., 2011). مطالعات نشان می‌دهد که حدود ۱۶ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان از طریق فعالیت‌های بخش کشاورزی بوده است (Nabavi-Pelesaraei *et al*., 2022).

سطح زیر کشت محصولات کشاورزی از سال ۱۸۶۰ میلادی تاکنون نزدیک به ۹۰۰ میلیون هکتار افزایش داشته است که این افزایش در سطح زیر کشت باعث آزادشدن ۱۱۶ میلیون گرم کربن از ذخایر کربن در سال ۱۸۶۰ شده که این باعث گرم‌شدن کره زمین به میزان نه درصد تا سال ۱۹۸۰ شده است (Nikkhah *et al*., 2014). بررسی تولید ذرت سیلویی (*Zea mays* L.) و سورگوم علوفه‌ای (*Sorghum bicolor Moench*) از نظر مصرف انرژی و پتانسیل تولید انرژی در شرایط آب و هوایی گرگان نشان داد که بیشترین انرژی ورودی در مزارع ذرت سیلویی و سورگوم علوفه‌ای به‌ترتیب با ۲۳/۲ و ۲۴/۷ در صد مربوط به مصرف کود پایه بود. بیشترین انرژی ورودی مستقیم در مزارع ذرت و سورگوم علوفه‌ای مربوط به سوخت به‌ترتیب برابر با ۲۷/۳ و ۳۱/۴ در صد بود. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که بیشترین پتانسیل گرمایش جهانی مربوط به کود نیتروژن و سوخت مصرفی بود. پتانسیل گرمایش جهانی از مزارع ذرت ۱۸۴۵/۹ کیلوگرم دی‌اکسید کربن در هکتار و از مزارع سورگوم ۱۷۲۹ کیلوگرم دی‌اکسید کربن در هکتار به‌دست آمد (Fizebakhsh & Alizadeh, 2018). در بررسی جریان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در محصولات زراعی و باغی دشت شریف‌آباد استان قم نشان داده شد که در بین محصولات مورد مطالعه، بیشترین انرژی ورودی در فرآیند تولید محصولات یونجه، انار و انگور به‌ترتیب به میزان ۹۴۹۰۶، ۷۹۶۹۶ و ۷۸۹۸۴ مگاژول در هکتار بود و بیشترین انرژی خروجی نیز متعلق به یونجه با ۲۱۸۵۶۷ مگاژول در هکتار، ذرت علوفه‌ای ۱۷۱۸۱۰ مگاژول در هکتار و گندم با ۱۲۳۴۳۰ مگاژول در هکتار بود. محصولات یونجه (معادل ۱۲۲۹۴ کیلوگرم CO_2 در هکتار)، انار (معادل ۱۰۴۸۴ کیلوگرم CO_2 در هکتار) و انگور (معادل ۱۰۰۸۵کیلوگرم CO_2 در هکتار) بیشترین پتانسیل گرمایش جهانی را داشته و در مقابل کمترین میزان پتانسیل گرمایش جهانی مربوط به جو (معادل ۴۰۱۹ کیلوگرم CO_2 در هکتار)، کلزا (معادل ۴۲۸۵ کیلوگرم CO_2 در هکتار) و گندم (معادل ۴۵۴۲ کیلوگرم CO_2 در هکتار) بود (Vafabakhsh & Mohammadzadeh, 2019). در بررسی میزان انرژی ورودی مزارع ذرت زنجان نشان داده شد که میزان انرژی ورودی جهت کشت ذرت ۷۷۵۸۹ مگاژول در هکتار می‌باشد که از این مقدار ۶۹ درصد از انرژی به صورت مستقیم و ۳۱ درصد به صورت غیر مستقیم بود. همچنین بیشترین سهم انرژی مربوط به الکتریسیته (۳۸/۳ درصد) و سوخت (۲۹/۵ درصد) می‌باشد (Amanloo & Ghasemi, 2013). بررسی تولید گندم در اصفهان نشان داد که در انتشار گازهای گلخانه‌ای دو نهاده الکتریسیته و کودهای شیمیایی بیشترین نقش را در تولید گازهای گلخانه‌ای داشتند (Khoshnevisan *et al*., 2013). در مطالعه روی جریان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید محصولات زراعی در استان خراسان جنوبی نشان داده شده که تولید یونجه در مقایسه با سایر محصولات با میزان انرژی ورودی ۲۱۳۱۰۱ مگاژول در هکتار بیشترین انرژی ورودی را به خود اختصاص داده است و همچنین نشان داده شد که یونجه با انتشار ۴۱۵۶۶ کیلوگرم دی‌اکسید کربن در هکتار نسبت به سورگوم علوفه‌ای و چغندر قند پتانسیل گرمایش جهانی بالاتری دارد

(Javadi & Esfahani,2023). در مطالعه دیگری که روی جریان انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی تولید ذرت در شهرستان گرگان انجام شد نشان داده شد که بیشترین انرژی ورودی در تولید ذرت به مقدار ۳۷۸۴۵ مگاژول در هکتار می‌باشد و کود شیمیایی نیتروژن و سوخت مصرفی جهت عملیات زراعی بالاترین نقش را در میزان انرژی ورودی دارند. همچنین نشان داده شد که میزان دی‌اکسید کربن انتشار یافته از یک هکتار تولید ذرت در بیشترین مقدار ۲۳۴۹ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (Feyzbakhsh & Soltani, 2013). در استان البرز گیاهان علوفه‌ای مختلفی از جمله شبدر (*Trifolium repens* L.)، اسپرس (*Onobrychis altissima*)، سورگوم (*Sorghum bicolor* Moench)، ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) و یونجه (*Medicago sativa* L.) کشت می‌شوند. اما با توجه به اینکه دو گیاه علوفه‌ای ذرت و یونجه بیشترین استفاده را در تغذیه دام‌های سبک و سنگین دارند و بیش از ۹۰ درصد سطح زیر کشت گیاهان علوفه‌ای در استان البرز را به خود اختصاص داده‌اند؛ ازاین‌رو با توجه به اهمیت کشت ذرت علوفه‌ای و یونجه در مطالعه حاضر شاخص‌های انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و شاخص‌های اقتصادی دو گیاه ذرت علوفه‌ای و یونجه در شهرستان‌های استان البرز مورد بررسی قرار گرفت.

۲. روش‌شناسی پژوهش

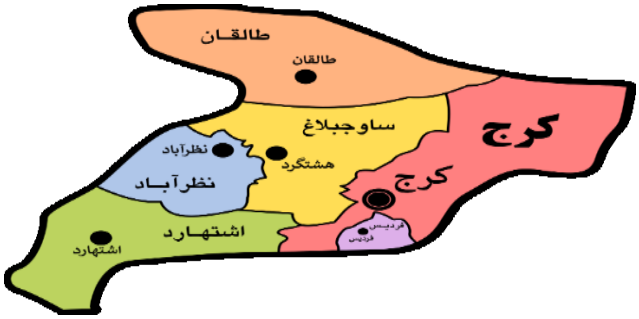
۲-۱. منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در بازه زمانی سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۱ در استان البرز (شکل ۱) انجام شد. استان البرز با وسعتی حدود ۵۲۸۴ کیلومتر مربع دارای ۳۹۲۹۷ هکتار سطح زیر کشت محصولات زراعی می‌باشد که از این مقدار ۳۱۳۶ هکتار معادل ۷/۹۸ درصد به کشت یونجه و ۸۲۳۵ هکتار نیز معادل ۲۰/۹۵ درصد به کشت ذرت علوفه‌ای اختصاص دارد (آمارنامه جهاد کشاورزی، ۱۴۰۰).

به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز تحقیق شامل اطلاعات کاشت، داشت، برداشت، نوع و میزان نهاده‌های مصرفی، هزینه‌های تولید، عملکرد محصول و سود اقتصادی نسبت به مصاحبه با کشاورزان و تکمیل پرسشنامه برای دو گیاه ذرت علوفه‌ای و یونجه در پنج شهرستان استان البرز شامل کرج، ساوجبلاغ، نظرآباد، فردیس و اشتهارد اقدام شد. به همین منظور با ۱۲۵ کشاورز تولیدکننده ذرت علوفه‌ای (۱۶۰۰ هکتار سطح زیر کشت مورد بررسی در پنج شهرستان) و ۷۵ کشاورز تولیدکننده یونجه (۶۵۰ هکتار سطح زیر کشت مورد بررسی در پنج شهرستان) در سطح استان مصاحبه شد. هرستان طالقان با توجه به عدم کشت محصولات زراعی در این مطالعه مورد بررسی قرار نگرفت. برای پیداکردن حجم نمونه از فرمول کوکران استفاده شد (Mansourfar, 1997). کوکران برای محاسبه تعداد نمونه لازم در روش نمونه‌گیری تصادفی فرمول زیر را ارائه کرده است.

$$n = \frac{Nt^2s^2}{Nd^2+t^2s^2}$$

که در آن N، اندازه جامعه آماری یا تعداد زارعین، t ضریب اطمینان قابل قبول که با فرض نرمال‌بودن توزیع صفت مورد نظر از جدول t استیودنت به‌دست می‌آید. S^2، برآورد واریانس صفت مورد مطالعه در جامعه، d دقت احتمالی مطلوب و n حجم نمونه مورد مطالعه است. برای انتخاب کشاورزان جهت مصاحبه و تکمیل اطلاعات از کارشناسان جهاد کشاورزی هر منطقه استفاده شد تا اطلاعات جمع‌آوری شده میانگینی از تولیدکنندگان در سطح هر منطقه باشند. سوالات مطرح شده در پرسشنامه شامل تمامی مراحل و هزینه‌ها و نیروی انسانی استفاده شده در آماده سازی زمین قبل از کشت، مرحله کشت شامل میزان و انواع نهاده‌های استفاده‌شده اعم از بذر، کود و سم و همچنین میزان نیروی انسانی استفاده‌شده در مراحل کشت و تمامی هزینه‌های مرحله کشت، مرحله داشت شامل نهاده‌های استفاده‌شده، نیروی انسانی استفاده‌شده، تمامی هزینه‌های مرحله داشت، میزان آب مصرف‌شده از ابتدای کاشت و مرحله برداشت شامل هزینه‌های برداشت به همراه میزان نیروی انسانی استفاده شده در این مرحله و همچنین میزان محصول برداشت‌شده می‌باشد.



شکل ۱. نقشه شهرستان‌های استان البرز.

۲-۲. محاسبه شاخص‌های انرژی

شاخص‌های مربوط به انرژی برای هر یک از محصولات منطقه شامل موارد زیر بودند (Erdal *et al*, 2007) که برای محاسبه هر یک از این شاخص‌ها در محصولات مورد مطالعه، انرژی نهاده‌های مصرفی استفاده‌شده در محصولات و عملکرد محصولات با استفاده ضرایب معادل انرژی آن‌ها (جدول ۱) محاسبه شد.

۱. کارایی مصرف انرژی: $\text{کارایی مصرف انرژی} = \frac{\text{انرژی خروجی (مگاژول در هکتار)}}{\text{انرژی ورودی(مگاژول در هکتار)}}$

۲. بهره‌وری انرژی: $\text{بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)} = \frac{\text{عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)}}$

۳. انرژی مخصوص: $\text{انرژی مخصوص (مگاژول بر کیلوگرم)} = \frac{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)}}{\text{عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)}}$

۴. انرژی خالص: انرژی خالص (مگاژول در هکتار) = انرژی خروجی (مگاژول در هکتار) – انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)

انرژی مصرفی در بخش کشاورزی در گروه‌های مختلف شامل انرژی مستقیم و غیر مستقیم و انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر طبقه‌بندی می شود. انرژی مستقیم در مزرعه مصرف می شود و شامل نیروی انسانی، سوخت و الکتریسیته برای به‌کارانداختن ماشین‌آلات و تجهیزات و همچنین آب آبیاری می‌باشد. انرژی غیر مسقیم شامل انرژی مصرفی در بخش‌های تولید کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها، تهیه بذر و ساخت ادوات و ماشین‌های کشاورزی است. انرژی تجدیدپذیر شامل نیروی انسانی، آب، کودهای حیوانی و بذر می‌با شد. در مقابل انرژی تجدیدناپذیر مواردی از قبیل سوخت، انرژی مصرف شده در تولید سموم و کودهای شیمیایی، انرژی مصرفی برای ساخت ماشین‌آلات و برق را دربرمی‌گیرد (Mohammadzadeh *et al*., 2018). اطلاعات محصولات مورد مطالعه جهت محاسبه انرژی ورودی و خروجی و انرژی هر یک از نهاده‌ها برای استفاده در ارزیابی شاخص‌های انرژی در جدول ۳ از طرق مصاحبه حضوری با کشاورزان آمده است.

۲-۳. محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای هر یک از گازهای کربن دی‌اکسید (CO_2)، اکسید نیتروس (N_2O) و متان (CH_4) با توجه به ضرایب آن‌ها و نهاده‌های مصرف‌شده که در جدول ۳ آمده است محاسبه شده و در پایان پتانسیل گرمایش جهانی برای هر یک از محصولات بر اساس CO_2 ذکر شد. میزان برابری هر یک از گازهای N_2O و CH_4 با CO_2 که توسط IPCC(1995) انتشاریافته است در جدول ۲ آمده است (Soltani *et al*., 2014; Mohammadzadeh *et al*., 2018).

جدول ۱. معادل انرژی ورودی و خروجی در ذرت علوفه‌ای و یونجه.

Inputs	Unit	Energy equivalents (MJ unit^{-1})	Reference
Human labor	h	1.96	(Erdal *et al.*, 2007)
Machinery	h	62.7	(Erdal *et al.*, 2007)
Diesel	l	47.8	(Pishgar-Komleh *et al*., 2011)
Gasoline	l	46.3	(Pishgar-Komleh *et al*., 2011)
Nitrogen	kg	66.14	(Erdal *et al.*, 2007)
Phosphate	kg	12.44	(Erdal *et al.*, 2007)
Potassium	kg	11.25	(Erdal *et al.*, 2007)
Sulphur	kg	1.12	(Pahlavan *et al*., 2012)
Farmyard manure	kg	0.3	(Mohammadzadeh *et al*., 2017)
Herbicides	kg	85	(Pishgar-Komleh *et al*., 2011)
Insecticides	kg	229	(Pishgar-Komleh *et al*., 2011)
Fungicides	kg	115	(Pishgar-Komleh *et al*., 2011)
Electricity	kwh	12	(Pishgar-Komleh *et al*., 2011)
Water for irrigation	m^3	1.02	(Erdal *et al*, 2007)
Forage corn seed	kg	15.7	(Mohammadzadeh *et al*., 2017)
Alfalfa seed	kg	28.1	(Mohammadzadeh *et al*., 2017)
Output			
Forage corn	kg	4.1	(Mohammadzadeh *et al*., 2017)
Alfalfa	kg	15.8	(Mohammadzadeh *et al*., 2017)

جدول ۲. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای مصرف هر واحد نهاده ورودی (گرم).

Input	CO_2	N_2O	CH_4	Reference
Diesel (l)	3560	0.7	5.2	(Kramer *et al*., 1999)
Gasoline (l)	2320	*	*	(Koga & Tajima, 2011)
Nitrogen (kg)	3100	0.03	3.7	(Snyder *et al*., 2009)
Phosphate (kg)	1000	0.02	1.8	(Snyder *et al*., 2009)
Potassium (kg)	700	0.01	1	(Snyder *et al*., 2009)
Electricity (kwh)	61.2	8.82	0.02	(Tzilivakis *et al*., 2005)
Herbicide (kg)	6300	*	*	(Lal, 2004)
Insecticide (kg)	5100	*	*	(Lal, 2004)
Fungicide (kg)	3900	*	*	(Lal, 2004)
CO_2 equivalence factor	1	310	21	(IPCC, 1995)

۲-۴. شاخص‌های اقتصادی

برای محاسبه شاخص‌های اقتصادی از روابط زیر استفاده شد (Mohammadzadeh *et al*., 2018).

۱. ارزش ناخالص تولیدی:

قیمت هر کیلوگرم محصول (ریال) * عملکرد محصول (کیلوگرم) = ارزش ناخالص تولید (ریال در هکتار)

۲. سود خالص:

کل هزینه تولید (ریال در هکتار) − ارزش ناخالص تولید(ریال در هکتار) = سود خالص (ریال در هکتار)

۳. نسبت سود به هزینه:

$$\text{نسبت سود به هزینه} = \frac{\text{ارزش ناخالص تولید (ریال در هکتار)}}{\text{کل هزینه تولید (ریال در هکتار)}}$$

۴. بهره‌وری اقتصادی:

$$\text{بهره‌وری اقتصادی} = \frac{\text{عملکرد محصول(کیلوگرم)}}{\text{کل هزینه تولید (ریال در هکتار)}}$$

برای ر سم نمودارها و جداول و همچنین تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Excel ا ستفاده شد. داده‌های ا ستفاده شده برای محا سبه شاخص‌های ذکر شده میانگینی از داده‌های به‌د ست‌آمده از طریق م صاحبه با ک شاورزان می‌با شد که برای صحت‌ سنجی پر س شنامه‌های پر شده از کار شنا سان جهاد ک شاورزی هر منطقه و همچنین ک شاورزان مورد اعتماد ا ستفاده شد. در مواردی که داده‌های ک شاورزان دارای انحراف زیادی نسبت به سایر نتایج بوده ا ست، آن بخش از داده‌ها مورد ا ستفاده قرار نگرفت. همچنین برای محاسبه شاخص‌های اقتصادی نیز قیمت نهاده‌ها میانگین قیمت‌ها در زمان تکمیل پرسشنامه در نظر گرفته شد که از طریق تکمیل پر س شنامه‌ها به‌د ست آمد. در رابطه با قیمت نهایی هر دو مح صول نیز به همین صورت اقدام شد؛ به‌طوری‌که برای هر شهرستان قیمت نهایی میانگین قیمت اعلام‌شده توسط کشاورزان می‌باشد.

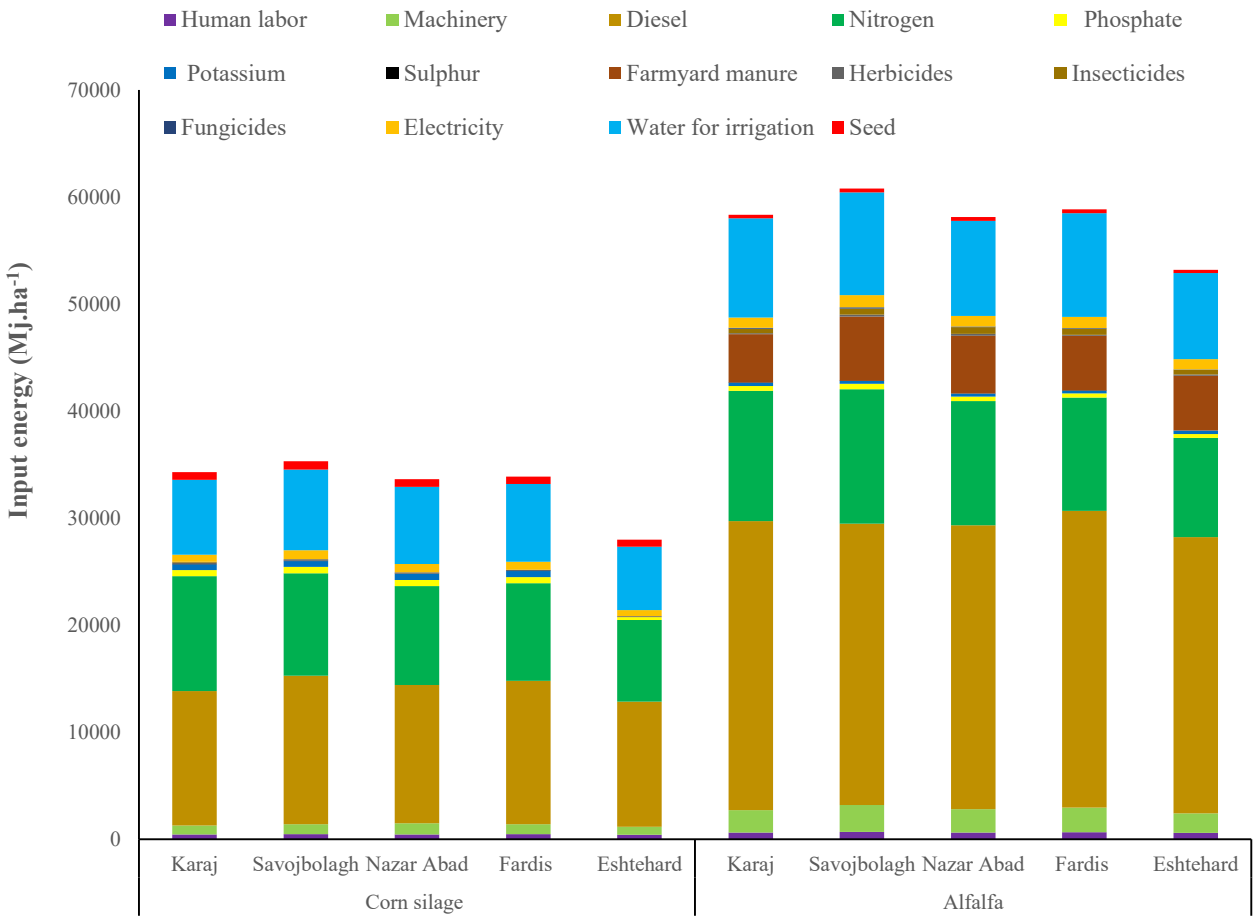
جدول ۳. نهاده‌های مصرف‌شده در ذرت علوفه‌ای و یونجه در شهرستان‌های استان البرز.

Inputs	Uuit	Plant type	Karaj	Savojbolagh	Nazar Abad	Fardis	Eshtehard
Human labor	h	Forage corn	224	240	236	240	208
		Alfalfa	316	348	320	330	305
Machinery	h	Forage corn	13.5	15	16.5	15	12
		Alfalfa	33.5	40	35	37	29
Diesel	l	Forage corn	263	290	270	280	245
		Alfalfa	565	550	555	580	540
Nitrogen	kg	Forage corn	162	145	140	138	115
		Alfalfa	184	190	175	160	140
Phosphate	kg	Forage corn	46	46	46	46	23
		Alfalfa	35	40	35	30	30
Potassium	kg	Forage corn	50	50	50	50	0
		Alfalfa	30	25	25	25	30
Sulphur	kg	Forage corn	17.5	17.5	17.5	17.5	0
		Alfalfa	10.5	9	10	8.75	0
Farmyard manure	kg	Forage corn	0	0	0	0	0
		Alfalfa	15000	20000	18000	17000	17000
Herbicides	kg	Forage corn	1.4	1.7	1.5	1.4	0.8
		Alfalfa	1	2	1.8	1.2	1.3
Insecticides	kg	Forage corn	0.4	0	0	0	0
		Alfalfa	1.83	2.5	2.8	2.5	2
Fungicides	kg	Forage corn	0	0	0	0	0
		Alfalfa	0.8	1	0.5	0.5	0.4
Electricity	kwh	Forage corn	54	70	65	62	48
		Alfalfa	80	95	83	85	78
Water for irrigation	m^3	Forage corn	6850	7400	7050	7100	5800
		Alfalfa	9100	9400	8700	9500	7900
Seed	kg	Forage corn	47	50	47	45	42
		Alfalfa	11.25	13.75	12.5	13.25	10.5
Output	kg	Forage corn	56500	58000	55000	54500	40000
		Alfalfa	16300	17200	15800	15500	13500

۳. نتایج پژوهش و بحث

سهم ورودی‌های مختلف ذرت علوفه‌ای و یونجه در شهر ستان‌های ا ستان البرز ن شان داد که در بین ورودی‌های مختلف در دو محصول ذکر شده گازوئیل، کود شیمیایی نیتروژن و آب آبیاری نسبت به سایر ورودی‌ها در صد قابل توجهی را به خود اختصاص داده‌اند (شـــکل ۲)؛ به‌طوری‌که نتایج این مطالعه نشـــان داد بیشـــترین میزان ورودی در بین نهاده‌ها در یونجه مربوط به میزان گازوئیل م صرفی با ۲۷۷۲۴ مگاژول در هکتار انرژی ورودی در شهر ستان فردیس بود که این میزان برابر با ۴۶/۲۳ در صد از کل انرژی نهاده‌های ورودی در یونجه را شامل می شود. کمترین میزان گازوئیل م صرفی نیز در شهر ستان ا شتهارد با میزان انرژی ورودی برابر با ۲۵۸۱۲ مگاژول در هکتار به‌دست آمد که معادل ۴۷/۷۲ درصد از انرژی ورودی کل در شهرستان مذکور می‌باشد.

در مقایسه در گیاه ذرت به‌دلیل استفاده کمتر از ادوات کشاورزی نسبت به یونجه (در یونجه به دلیل چند برداشت در طول یک سال استفاده از ادوات بیشتر از ذرت می‌باشد) بیشترین انرژی ورودی در شهرستان ساوجبلاغ به میزان ۱۳۸۶۲ مگاژول در هکتار معادل ۳۹/۲ درصد از انرژی ورودی کل را شامل می‌شود و کمترین میزان انرژی ورودی گازوئیل نیز با ۱۱۷۱۱ مگاژول در هکتار معادل ۴۱/۹ درصد از انرژی ورودی در شهرستان اشتهارد به‌دست آمد. در مطالعه‌ای روی ذرت و یونجه گزارش شده است که گازوئیل بیشترین سهم از انرژی ورودی در یونجه و ذرت را از کل انرژی ورودی داشت؛ به‌طوری‌که این مقدار در یونجه معادل ۲۱۴۲۲/۳ مگاژول در هکتار بود که دارای سهم بیش از ۴۰ درصدی از کل انرژی ورودی بود، در کشت ذرت نیز این مقدار برابر با ۱۷۶۷۲/۴ مگاژول در هکتار برابر با سهم نزدیک به ۵۰ درصدی از انرژی کل بود (Mohammadzadeh *et al*., 2018). در سیب‌زمینی نیز نشان داده شد که سوخت دیزلی بالاترین سهم از انرژی ورودی کل را داشت (Feyzbakhsh *et al*., 2019). همچنین در مطالعه‌ای که روی ذرت علوفه‌ای و سورگوم علوفه‌ای انجام شد، سوخت دیزلی در ذرت و سورگوم به‌ترتیب با ۲۷/۳ و ۳۱/۴ درصد بیشترین سهم از انرژی ورودی را داشتند (Feyzbakhsh & Alizadeh, 2018). همان‌طوری‌که نتایج این مطالعه نشان داد سوخت‌های فسیلی بخش قابل توجهی از انرژی ورودی را به خود اختصاص می‌دهند که عمده مصرف این سوخت‌های فسیلی در مراحل آماده سازی زمین‌ها برای کشت محصول و در مراحل داشت جهت سمپاشی‌ها علیه آفات و بیماری‌ها و تغذیه گیاهان از طریق برگ می‌باشد. لذا با استفاده از روش‌های نوین مانند ترویج کشاورزی حفاظتی، استفاده از روش‌های نوین کنترل آفات و بیماری‌ها و همچنین تغذیه گیاهان از طریق سیستم‌های آبیاری می‌توان باعث کاهش انرژی ورودی از طریق سوخت‌های فسیلی شد.



شکل ۲. سهم ورودی‌های مختلف در کشت ذرت علوفه‌ای و یونجه از کل انرژی ورودی در شهرستان‌های استان البرز.

نتایج نشان داد که پس از گازوئیل، بیشترین انرژی ورودی مربوط به مصرف کود شیمیایی نیتروژن می‌باشد؛ به‌طوری‌که مقایسه مصرف این کود در شهرستان‌های مختلف و دو گیاه ذرت علوفه‌ای و یونجه نشان داد که بیشترین میزان انرژی ورودی از طریق کود شیمیایی نیتروژن مربوط به گیاه یونجه به میزان ۱۲۵۶۶/۶ مگاژول در هکتار در ساوجبلاغ و کمترین آن مربوط به شهرستان اشتهارد به میزان ۹۲۵۹/۶ مگاژول در هکتار بود که به‌ترتیب ۲۰/۲۸ درصد و ۱۷/۱۲ درصد از کل انرژی ورودی در این گیاه را شامل می‌شود. در مقابل در ذرت بیشترین انرژی ورودی حاصل از نیتروژن مربوط به کرج به میزان ۱۰۷۱۴/۷ مگاژول در هکتار برابر با ۳۱/۲ در صد از انرژی ورودی بود و کمترین میزان آن نیز در شهرستان اشتهارد با ۷۶۰۶/۱ مگاژول معادل ۲۷/۲ درصد از کل انرژی ورودی به‌دست آمد. در بین کودهای شیمیایی پس از نیتروژن کودهای فسفر، پتاسیم و گوگرد (گوگرد حاصل از مصرف کود شیمیایی سولفات پتاسیم توسط کشاورزان) نیز از انرژی ورودی کل در کشت دو گیاه یونجه و ذرت دارای سهمی می‌باشند؛ اما میزان آن کمتر از دو درصد می‌باشد؛ به‌طوری‌که بیشترین میزان انرژی ورودی فسفر مربوط به کشت ذرت ۵۷۲/۲ مگاژول در هکتار در تمامی شهرستان‌ها بجز اشتهارد بود. در کشت یونجه نیز بیشترین مقدار انرژی ورودی به میزان ۴۹۷/۶ مگاژول در هکتار معادل ۰/۸ درصد از انرژی ورودی کل بود. بیشترین میزان انرژی ورودی پتاسیم در کشت ذرت و یونجه به‌ترتیب به میزان ۵۵۷/۷ و ۳۳۴/۵ مگاژول در هکتار در کرج بود. سهم انرژی ورودی از طریق کود گوگرد در هر دو گیاه ذرت علوفه‌ای و یونجه در تمامی شهرستان‌ها کمتر از ۰/۰۵ درصد از کل انرژی ورودی بود. در مطالعه‌ای روی ذرت و سورگوم علوفه‌ای نیز مشاهده شد که کود نیتروژن به‌ترتیب با ۲۳/۲ و ۲۴/۷ در صد از کل انرژی ورودی سهم قابل توجهی از کل انرژی ورودی را دارند (Feyzbakhsh & Alizadeh, 2018). در مطالعات متعددی که در گیاهان مختلف و اقلیم‌های متفاوت انجام شده، گزارش شده است که کودهای شیمیایی به‌ویژه کود نیتروژن بیشترین انرژی ورودی از انرژی کل را به خود اختصاص داده است (Rajaby *et al*., 2012; Aghaalikhani *et al*., 2013). همچنین گزارش شده است که کود نیتروژن در ذرت علوفه‌ای و یونجه به‌ترتیب سهم ۱۷/۳ و ۱۱/۲ درصدی از کل انرژی ورودی را داشت (Mohammadzadeh *et al*., 2018).

در مطالعه‌ای که به بررسی و آنالیز انرژی‌های ورودی در مزارع ذرت استان تهران پرداخته شد، نشان داده شد که کودهای شیمیایی با ۱۱۸۰۰ مگاژول انرژی ورودی از کل انرژی سهم ۳۲/۳ درصدی از کل انرژی ورودی را دارند (Sefeedpari *et al*., 2012). در مورد کود دامی با توجه به اینکه فقط در یونجه مصرف شده است بالاترین میزان انرژی ورودی ۶۰۰۰ مگاژول معادل ۹/۶۸ درصد در شهرستان ساوجبلاغ و کمترین میزان انرژی ورودی ۴۵۰۰ مگاژول در هکتار در شهرستان کرج به‌دست آمد که ۷/۵۹ درصد از کل انرژی ورودی می‌باشد. بر اساس نتایج مطالعات متعدد، کودهای شیمیایی نقش مهمی در تولید محصولات کشاورزی و حفظ تولید دارند. اما با توجه به شرایط و ویژگی خاک‌های زراعی ایران که در اکثر موارد با اسیدیته بالا روبرو هستند استفاده از این کودها به صورت کارآمدی انجام نمی‌شود؛ لذا جهت افزایش بهره‌وری در مصرف کودهای شیمیایی و همچنین کاهش مصرف این کودها و تولید محصولات سالم‌تر لازم می‌باشد که با استفاده از روش‌هایی همانند افزودن کودهای دامی باکیفیت، افزایش میزان استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، استفاده از کودهای زیستی و همچنین استفاده از کودهای سبز نسبت به اصلاح کیفی خاک‌ها اقدام کرد. انجام این اقدامات در نهایت باعث کاهش مصرف کودهای شیمیایی می‌شود که به کاهش میزان انرژی ورودی از این طریق نیز منجر خواهد شد.

بیشترین انرژی حاصل از آب آبیاری در یونجه و ذرت به‌ترتیب در شهرستان‌های فردیس و ساوجبلاغ به میزان ۹۶۹۰ و ۷۵۴۸ مگاژول در هکتار به‌ترتیب معادل ۱۶/۱۵ و ۲۱/۴ درصد به‌دست آمد. همچنین کمترین مقدار انرژی ورودی از طریق آب مربوط به شهرستان اشتهارد برای هر دو گیاه یونجه و ذرت برابر با ۸۰۵۸ و ۵۹۱۶ مگاژول در هکتار بود که به‌ترتیب ۱۴/۸۹ و ۲۱/۱ درصد از کل انرژی ورودی را شامل می‌شود. باتوجه‌به متفاوت‌بودن نیاز آبی در محصولات مختلف میزان انرژی ورودی از طریق آب مصرفی در گیاهان مختلف و همچنین باتوجه‌به روش‌های متفاوت آبیاری و همچنین مدیریت آبیاری و اقلیم هر منطقه می‌تواند متفاوت باشد. گزارش شده است که در ذرت و یونجه انرژی ورودی از طریق آب آبیاری به‌ترتیب ۱۸/۱ و ۱۴/۱ درصد از کل انرژی ورودی می‌باشد (Mohammadzadeh *et al*., 2018). بر اساس نتایج مطالعات مختلف آب نقش مهمی از انرژی ورودی در تولید محصولات کشاورزی را به خود اختصاص داده است. اما باتوجه‌به شرایط ایران و محدودیت‌های موجود در منابع آبی لازم

است که با بهبود روش‌های آبیاری و همچنین استفاده از روش‌های نوین آبیاری مانند آبیاری زیرسطحی به کاهش میزان آب مصرفی و انرژی ورودی از این طریق در تولید محصولات کشاورزی کمک کرد. در مقایسه نیروی انسانی مورد نیاز یونجه و ذرت علوفه‌ای نتایج این بررسی نشان داد که بیشترین نیروی انسانی مورد نیاز در یونجه برابر با ۳۴۸ ساعت و در ذرت ۲۴۰ ساعت می‌باشد (جدول ۳) که این میزان از نیروی انسانی برابر با ۶۸۲ مگاژول انرژی ورودی یونجه در شهرستان ساوجبلاغ معادل ۱/۱ درصد از کل انرژی ورودی و در ذرت ۴۷۰ مگاژول در هکتار برابر با ۱/۲ درصد از انرژی ورودی در شهرستان‌های فردیس و ساوجبلاغ بهدست آمد. در مطالعه‌ای که توسط Asgharipour *et al.* (2016) در رابطه با انرژی ورودی از طریق نیروی انسانی انجام شد، نشان داده شد که میزان انرژی ورودی در یونجه برابر با ۱۷۷۳ مگاژول می‌باشد که این علت تفاوت در انرژی نیروی انسانی می‌تواند به دلایل مختلفی از جمله ادوات و مکانیزاسیون مورد استفاده در هر منطقه باشد. مقایسه کارکرد ماشین‌آلات برای دو گیاه نشان داد که بیشترین کارکرد با ۴۰ ساعت در هکتار (معادل ۲۵۰۸ مگاژول در هکتار و سهم ۴/۰۴ درصدی از کل انرژی ورودی) در یونجه برای شهرستان ساوجبلاغ و با ۱۶/۵ ساعت در هکتار برای ذرت (معادل ۱۰۳۴/۶ مگاژول در هکتار و سهم ۳/۱ در صدی از انرژی ورودی کل) در شهرستان نظرآباد به2016دست آمد. در مطالعه‌ای که روی یونجه انجام شد سهم ماشین‌آلات از کل انرژی ورودی در کشت یونجه برابر با ۵/۵ درصد از کل انرژی ورودی بود (Yousefi & Mohammadi, 2011). همچنین (Mohammadzadeh *et al*., 2018) گزارش کردند که در ذرت و یونجه سهم ماشین‌آلات از کل انرژی ورودی به‌ترتیب ۲/۸ و ۲/۶ درصد از کل انرژی ورودی می‌باشد. در کشاورزی سنتی به‌دلیل استفاده بیش از حد از نیروی انسانی و همچنین ادوات کشاورزی اتلاف انرژی از این طریق قابل توجه می‌باشد. بنابراین لازم می‌باشد که با اصلاح روش‌های تولید و صنعتی‌کردن تولیدات کشاورزی، وابستگی به نیروی انسانی کاهش یافته و با انجام همزمان عملیات کشاورزی میزان تردد ادوات کشاورزی در مزارع کاهش یابد که این امر به کاهش میزان انرژی ورودی از این طریق کمک خواهد کرد.

در بررسی سموم استفاده‌شده در دو گیاه با سایر ورودی‌ها مشخص شد که سموم درصد کمتری از میزان انرژی ورودی کل را به خود اختصاص می‌دهند و در میان سموم عمدتا حشره‌کش‌ها سهم بالاتری از قارچ‌کش‌ها و علف‌کش‌ها دارندکه این امر عمدتا به دلیل مصرف پایین سموم در این دو گیاه مورد بررسی خصوصا در کشت ذرت می‌باشد؛ به‌طوری‌که در این مطالعه بالاترین انرژی ورودی از طریق مصرف حشره‌کش‌ها در یونجه به میزان ۶۴۱/۲ مگاژول در هکتار معادل ۱/۰۸ در صد از انرژی ورودی کل در شهرستان نظرآباد به‌دست آمد و در سایر سموم و شهرستان میزان انرژی ورودی از کل انرژی کمتر از یک درصد ورودی کل می‌باشد. در مطالعه‌ای که توسط Beheshti Tabar *et al.* (2010) انجام شد نیز نتایج مشابهی در رابطه با انرژی ورودی از طریق سموم شیمیایی گزارش شده است. هرچند که انرژی ورودی از طریق سموم شیمیایی بخش ناچیزی را به خود اختصاص می‌دهد، اما همین میزان را نیز می‌توان به کمک روش‌های دیگری مانند استفاده از سموم زیستی و همچنین مدیریت جامع آفات و بیماری‌ها نیز کنترل کرد و به کاهش انرژی ورودی از این طریق نیز کمک کرد. بیشترین میزان انرژی ورودی از الکتریسیته مصرفی در یونجه و ذرت علوفه‌ای به‌ترتیب ۱۱۴۰ مگاژول در هکتار (۱/۸۳ درصد) و ۸۴۰ مگاژول در هکتار (۲/۴ درصد) در شهرستان ساوجبلاغ به‌دست آمد. سهم الکتریسیته از انرژی ورودی کل در گیاهان مختلف در مطالعات متعدد متفاوت می‌باشد که این تفاوت ممکن است به دلایل مختلفی از جمله نوع سوخت مصرفی برای پمپاژ چاه‌ها و همچنین نوع پمپ‌های مصرفی توسط کشاورزان و سایر موارد نیز نسبت داد. گزارش شده است که در تولید ذرت دانه‌ای و کلزا انرژی حاصل از الکتریسیته سهم قابل توجهی از کل انرژی ورودی دارد (Mousavi-Avval *et al.*,2011; Houshyar *et al.*, 2012). همچنین گزارش شده است که در یونجه و ذرت الکتریسیته سهم ۱۴/۵ و ۴ درصدی از کل انرژی ورودی داشته است (Mohammadzadeh *et al*., 2018). الکتریسیته عمدتا برای استحصال آب از چاه‌ها و انتقال آب به مزارع استفاده می‌شود؛ لذا با تغییر روش‌های آبیاری از سنتی به روش‌های نوین میزان استفاده از آب کاهش خواهد یافت که در نتیجه نیاز به الکتریسیته برای استحصال و انتقال آب نیز کاهش خواهد یافت که به کاهش انرژی ورودی از این طریق کمک می‌کند. در مقایسه میزان انرژی ورودی از طریق بذر مصرفی نشان داده شده که بیشترین میزان بذر در ذرت علوفه‌ای و یونجه در شهرستان ساوجبلاغ به‌ترتیب با میزان انرژی ورودی ۷۸۵ و ۳۸۶/۳۷ مگاژول در هکتار معادل ۲/۲ و ۲/۴۹ درصد به‌دست آمد. مقایسه کل انرژی ورودی در

شهرستان‌های استان البرز برای یونجه و ذرت علوفه‌ای نشان داد که بیشترین انرژی ورودی برای یونجه و ذرت به‌ترتیب به مقدار ۶۱۹۶۴/۱ و ۳۵۳۳۰ مگاژول در هکتار در شهرستان ساوجبلاغ به‌دست آمد. در مقابل نیز کمترین میزان انرژی ورودی برای یونجه و ذرت علوفه‌ای به‌ترتیب با ۵۴۰۸۴/۱ و ۲۷۹۸۲/۷ مگاژول در هکتار در شهرستان اشتهارد محاسبه شد (جدول ۴).

همچنین، در مقایسه میزان انرژی خروجی، یونجه با ۲۷۱۷۶۰ و ذرت علوفه‌ای با ۲۴۰۱۲۰ مگاژول در هکتار در ساوجبلاغ بیشترین میزان انرژی خروجی را نشان دادند و کمترین میزان انرژی خروجی برای یونجه و ذرت علوفه‌ای با ۲۱۳۳۰۰ و ۱۶۵۶۰۰ مگاژول در هکتار در شهرستان اشتهارد به‌دست آمد. بنابراین در یونجه بالاترین و پایین‌ترین انرژی خالص به‌ترتیب به میزان ۲۰۹۷۹۵/۹ و ۱۵۹۲۱۵/۹ مگاژول در هکتار به‌دست آمد و همچنین در ذرت نیز بیشترین و کمترین میزان از انرژی خالص به‌ترتیب در ساوجبلاغ و اشتهارد به میزان ۲۰۴۷۹۰ و ۱۳۷۶۱۷/۳ مگاژول در هکتار به‌دست آمد (جدول ۴). گزارش شده است که کل انرژی ورودی برای یونجه و ذرت به‌ترتیب ۴۸۱۵۱ و ۳۵۵۵۷ مگاژول در هکتار به‌دست آمد. همچنین میزان انرژی خروجی برای یونجه و ذرت علوفه‌ای به‌ترتیب ۴۳۲۹۲۰ و ۲۱۷۳۵۰ مگاژول در هکتار و میزان انرژی خالص به‌ترتیب برای یونجه و ذرت علوفه‌ای ۳۸۴۷۶۸ و ۱۸۱۷۹۲ مگاژول در هکتار بود (Mohammadzadeh *et al*., 2018). در پژوهش دیگری که روی ذرت علوفه‌ای انجام شد میزان انرژی ورودی، خروجی و خالص به‌ترتیب برابر با ۶۸۹۲۸، ۱۴۸۳۸۰ و ۷۹۴۵۲ مگاژول در هکتار گزارش شده است (Pishgar Komleh *et al*., 2011). در بررسی میزان انرژی ورودی و خروجی در تولید گندم گزارش شده است که میزان انرژی ورودی و خروجی به‌ترتیب ۳۱۵۰۰ و ۴۴۶۰۰ مگاژول در هکتار بود (Ghahderijani *et al*., 2013). در تولید یونجه به علت اینکه چندین بار برداشت در طول یک‌سال انجام می شود برخلاف ذرت که فقط یک بار برداشت انجام می‌گیرد، میزان نهاده‌های مورد استفاده مؤثر در انرژی ورودی بیشتر از ذرت می‌باشد. سوخت مصرفی، ساعت کار ماشین‌آلات و نیروی انسانی از جمله مواردی هستند که در برداشت‌های متعدد یونجه مورد استفاده قرار می‌گیرند و همچنین میزان استفاده از کودهای شیمیایی و دامی و مصرف آب بیشتر در یونجه نسبت به ذرت از دیگر عواملی می‌باشد که سبب شده است برای تولید یک هکتار یونجه در مقایسه با تولید یک هکتار ذرت به انرژی بالاتری نیاز باشد.

مقایسه شاخص‌های انرژی یونجه و ذرت نشان داد که بیشترین کارایی مصرف انرژی در یونجه به میزان ۴/۳۸ در شهرستان ساوجبلاغ به‌دست آمد و در ذرت بیشترین کارایی مصرف انرژی به میزان ۶/۸ در شهرستان‌های کرج، ساوجبلاغ و نظرآباد به‌دست آمد. همان‌طور که نتایج این مطالعه و سایر مطالعات نشان داد سوخت‌های فسیلی، کودهای شیمیایی، آب مصرفی و الکتریسیته نقش قابل توجهی در میزان انرژی ورودی دارند. لذا با افزایش میزان بهره‌وری در این موارد و همچنین سایر مواردی که در میزان انرژی ورودی برای تولید محصول نقش دارند، می‌توان انرژی ورودی کل را کاهش داد که این امر به افزایش انرژی خالص و همچنین پایداری تولید کمک فراوانی خواهد کرد. لذا سیاستگذاران بخش کشاورزی باید به این نکات توجه داشته باشند که در برنامه‌ریزی‌های تولید جهت‌دهی به تولید محصولات کشاورزی باید به گونه‌ای باشد که به سمت کاهش انرژی ورودی و افزایش انرژی خالص باشد.

بیشترین میزان انرژی مخصوص در یونجه در اشتهارد به مقدار چهار مگاژول در هکتار به‌دست آمد و در ذرت در سایر شهرستان‌ها بجز اشتهارد تفاوتی وجود نداشت. در مورد بهره‌وری انرژی بیشترین مقدار در یونجه و برابر با ۰/۲۷ مگاژول در هکتار در کرج و ساوجبلاغ به‌دست آمد و در ذرت بجز شهرستان اشتهارد در مابقی موارد برابر و معادل ۱/۶ مگاژول در هکتار بود (جدول ۴). گزارش شده است که در کشت یونجه و ذرت علوفه‌ای کارایی مصرف انرژی و انرژی مخصوص به‌ترتیب برای یونجه (نه و ۱۵/۸ مگاژول در هکتار) و برای ذرت (۶/۱ و ۴/۱ مگاژول در هکتار) بود (Mohammadzadeh *et al*., 2018). مقایسه اشکال انرژی در یونجه و ذرت علوفه‌ای در شهرستان‌های استان البرز نشان می‌دهد که در تمامی موارد سهم انرژی مستقیم و انرژی تجدیدناپذیر بیش از انرژی مستقیم و تجدیدپذیر می‌باشد؛ به‌طوری‌که بالاترین میزان انرژی مستقیم در تولید یونجه در فردیس به میزان ۳۹۰۸۰/۸ مگاژول در هکتار بود که معادل ۶۵ درصد از کل انرژی ورودی می‌باشد. در مورد انرژی تجدیدناپذیر نیز بیشترین ورودی در شهرستان ساوجبلاغ در یونجه به میزان ۸۱ درصد از کل انرژی ورودی بود (جدول ۴). درکشت ذرت بیشترین انرژی مستقیم و انرژی تجدیدناپذیر به‌ترتیب به مقدار ۲۲۷۲۰/۴ مگاژول در هکتار معادل ۶۴/۳ درصد و ۲۶۵۰۷ مگاژول در هکتار

معادل ۷۵ درصد از انرژی ورودی کل در شهرستان فردیس به‌دست آمد (جدول ۴). در پژوهشی روی ذرت و سورگوم نشان داده شد که به دلیل مصرف بالاتر سوخت در سورگوم میزان انرژی مستقیم در سورگوم ۱۶ درصد بالاتر از انرژی غیر مستقیم می‌باشد (Feyzbakhsh & Alizadeh, 2018). در مطالعات متعددی گزارش شده است که سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر بیش از انرژی تجدیدپذیر است (Feyzbakhsh & Soltani, 2013; Khoshnevisan *et al*., 2013). هرچه سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر از کل انرژی ورودی در محصولات زراعی کمتر باشد می‌تواند به کاهش اثرات زیست‌محیطی کمک کند؛ بنابراین، کاهش استفاده از کودهای شیمیایی یا جایگزینی آن‌ها با کودهای دامی و مدیریت مصرف آبیاری با مدرن‌کردن سیستم‌های آبیاری یا ارتقاء عملکرد پمپ‌های آب که منجر به کاهش مصرف سوخت و الکتریسیته شود؛ می‌تواند در کاهش میزان انرژی‌های تجدیدناپذیر مؤثر واقع شود.

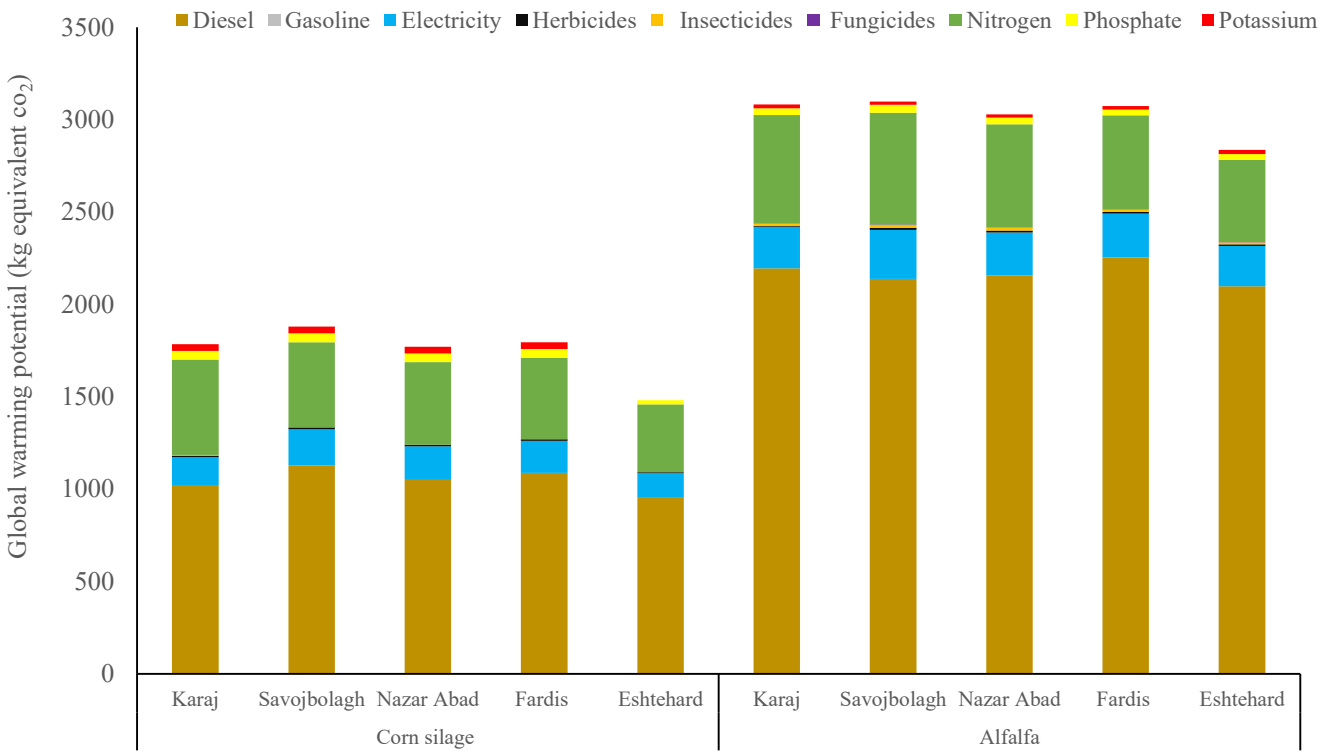
۳-۱. گازهای گلخانه‌ای

بررسی پتانسیل گرمایش جهانی تولید یونجه و ذرت علوفه‌ای در شهرستان‌های استان البرز نشان داد که بالاترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشت یونجه در شهرستان ساوجبلاغ به میزان ۳۰۹۷/۶ کیلوگرم CO_2 در هکتار بود و کمترین میزان انتشار در اشتهارد به میزان ۲۸۳۵/۷ کیلوگرم CO_2 در هکتار بود (شکل ۳). در کشت ذرت در مقایسه با کشت یونجه بالاترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان ۱۸۷۹/۷ کیلوگرم CO_2 در شهرستان ساوجبلاغ و کمترین میزان انتشار نیز همانند کشت یونجه در اشتهارد به مقدار ۱۴۸۱/۸ کیلوگرم CO_2 در هکتار به‌دست آمد (شکل ۳).

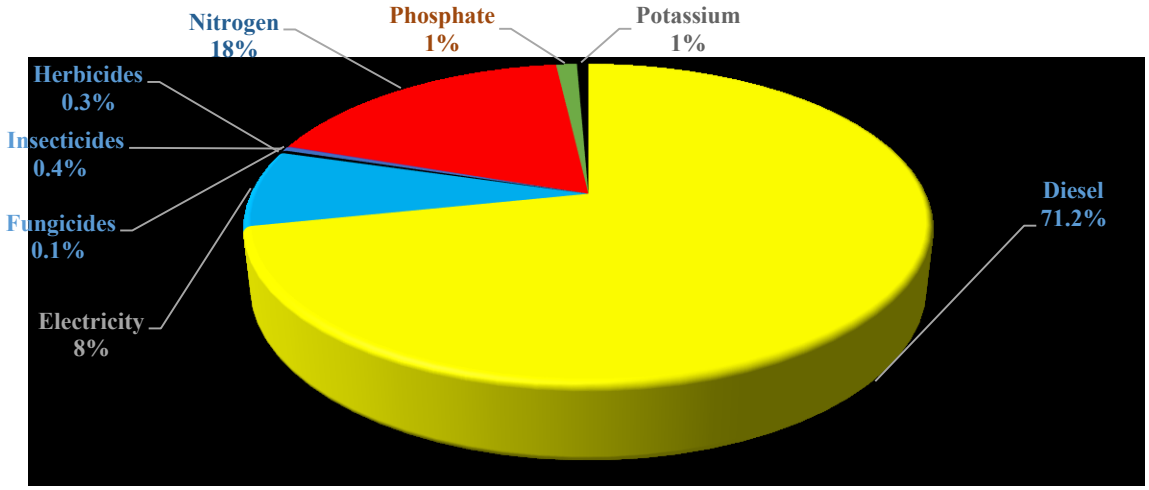
در بین عوامل مؤثر در انتشار گازهای گلخانه‌ای سه عامل گازوئیل، الکتریسیته و کود نیتروژن بیشترین سهم را دارند؛ به‌طوری‌که در کشت یونجه به صورت میانگین در شهرستان‌های استان البرز گازوئیل، کود نیتروژن و الکتریسیته به‌ترتیب ۷۱/۲، ۱۸ و هشت درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای را انجام می‌دهند (شکل ۴) و همانند یونجه در کشت ذرت نیز این مقدار برای گازوئیل، کود نیتروژن و الکتریسیته به‌ترتیب ۶۰، ۲۶ و ۱۰ درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای بود (شکل ۵). پتانسیل گرمایش جهانی برای یونجه ۳۶۸۳، ذرت ۲۸۸۲، سویا ۱۷۹۱، گندم ۱۱۷۱، سورگوم ۱۷۲۹ کیلوگرم CO_2 در هکتار گزارش شده است (Mohammadi *et al*., 2014; Mohammadzadeh *et al*., 2018; Feyzbakhsh & Alizadeh, 2018). نتایج این مطالعه نشان داد که در تولید هر دو محصول ذرت علوفه‌ای و یونجه سه عامل گازوئیل، کود شیمیایی و الکتریسیته بیش از ۹۰ درصد در انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی نقش دارند. گازوییل سوخت مورد نیاز اکثر ماشین‌آلات در کاشت، داشت و برداشت محصولات علوفه‌ای بود، همچنین این سوخت در برخی از مزارع جهت استحصال آب استفاده می‌شود، از طرفی مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی به‌خصوص نیتروژن، بدون در نظر گرفتن آسیب‌های آن در بلندمدت نیز سبب انتشار گازهای گلخانه‌ای و آسیب‌های جبران‌ناپذیر به محیط زیست شده است. امروزه با توسعه تکنولوژی می‌توان با تغییر نوع سوخت مصرفی مثلا از گازوئیل به اتانول و یا هر نوع سوخت زیستی دیگر یا تغییر روش‌های خاک‌ورزی و استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی که موجب کاهش استفاده از ادوات کشاورزی می شود و همچنین به‌روز کردن سیستم‌های آبیاری که با کاهش میزان مصرف آب سبب کاهش مصرف سوخت و الکتریسیته جهت استحصال آب می‌شود و در نهایت باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شده و همچنین استفاده از کودهای دامی و جایگزینی آن‌ها با کودهای شیمیایی، استفاده از کودهای سبز و همچنین قرار دادن لگوم‌ها در تناوب کشت جهت کاهش استفاده از کودهای شیمیایی می‌تواند بخش زیادی از انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش داده و از مخاطرات و آسیب‌های زیستی حاصل از آن‌ها جلوگیری کرد.

جدول ٤. شاخص‌ها و اشکال مختلف انرژی در ذرت علوفه‌ای و یونجه در شهرستان‌های استان البرز.

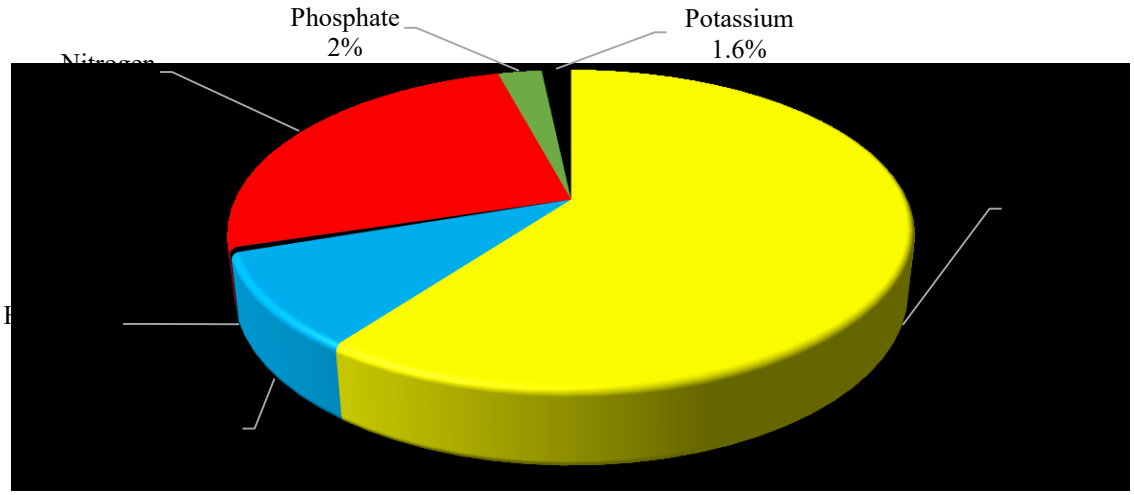
Indicator	Unit	Plant type	Karaj	Savojbolagh	Nazar Abad	Fardis	Eshtehard
Inputs energy	$Mj.ha^{-1}$	Forage corn	34307	35330	33648.5	33885.6	27982.7
		Alfalfa	59281.2	61964.1	59177.2	59966.1	54084.1
Output energy	$Mj.ha^{-1}$	Forage corn	233910	240120	227700	225630	165600
		Alfalfa	257540	271760	249640	244900	213300
Net energy	$Mj.ha^{-1}$	Forage corn	199603	204790	194051.6	191744.4	137617.3
		Alfalfa	198258.7	209795.9	190462.7	184933.8	159215.9
Energy use efficiency	-	Forage corn	6.8	6.8	6.8	6.7	5.9
		Alfalfa	4.34	4.38	4.21	4.08	3.94
Specific energy	$Mj.kg^{-1}$	Forage corn	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7
		Alfalfa	3.63	3.6	3.74	3.86	4
Energy productivity	$Kg.mj^{-1}$	Forage corn	1.6	1.6	1.6	1.6	1.4
		Alfalfa	0.27	0.27	0.26	0.25	0.24
Forms of energy							
Direct energy	$Mj.ha^{-1}$	Forage corn	20645.4 (60%)	22720.4 (64.3%)	21339.6 (63.4%)	21840.4 (64.5%)	18610.7 (66.5%)
		Alfalfa	37868.3 (64%)	37700 (60.85%)	37026.2 (62.56%)	39080.8 (65%)	35403.8 (65.46%)
Indirect energy	$Mj.ha^{-1}$	Forage corn	13641.9 (40%)	12590 (35.7%)	12289.3 (36.6%)	12025.6 (35.5%)	9372 (33.5%)
		Alfalfa	21412.9 (36%)	24264 (39.15%)	22151 (37.44%)	20885.3 (35%)	18680.3 (34.54%)
Renewable energy	$Mj.ha^{-1}$	Forage corn	8163.9 (24%)	8803.4 (25%)	8391.5 (25%)	8418.9 (24.85%)	6983.1 (24.95%)
		Alfalfa	11165.8 (19%)	11815.5 (19%)	10906.2 (18.42%)	11826.1 (19.8%)	9836 (18.18%)
Non-renewable energy	$Mj.ha^{-1}$	Forage corn	26123.4 (76%)	26507 (75%)	25237.4 (75%)	25447.1 (75.15%)	20999.6 (75.05%)
		Alfalfa	48115.4 (81%)	50148.5 (81%)	48271 (81.58%)	48140 (80.2%)	44248.1 (81.82%)



شکل ۳. سهم ورودی‌های مختلف ذرت علوفه‌ای و یونجه در تولید گرمایش جهانی در شهرستان‌های استان البرز.



شکل ٤. میانگین درصد ورودی‌های مختلف در کشت یونجه در شهرستان‌های استان البرز در تولید گرمایش جهانی.



شکل ۵. میانگین درصد ورودی‌های مختلف در کشت ذرت در شهرستان‌های استان البرز در تولید گرمایش جهانی.

۳-۲. شاخص‌های اقتصادی

بررسی شاخص‌های اقتصادی ذرت علوفه‌ای و یونجه در شهرستان‌های استان البرز نشان دادکه بالاترین میزان ارزش ناخالص تولیدی در یونجه در شهرستان ساوجبلاغ به میزان ۱۲۸۹/۹۱۰ میلیون ریال در هکتار به‌دست آمد؛ درحالی‌که در ذرت علوفه‌ای بالاترین میزان ارزش ناخالص تولیدی به مقدار ۱۱۵۹/۹۵۰ میلیون ریال در هکتار در ساوجبلاغ بود (جدول ۵). در مقایسه هزینه‌های تولید این دو گیاه نیز مشخص شد که بالاترین و کمترین هزینه‌های تولید یونجه به‌ترتیب در شهرستان‌های ساوجبلاغ و اشتهارد به میزان ۴۴۰/۳۲۵ و ۳۴۸/۵۵۵ میلیون ریال در هکتار بود؛ درحالی‌که در ذرت بالاترین هزینه تولید به میزان ۴۰۵/۵۵۵ میلیون ریال در هکتار در ساوجبلاغ بود. بالاترین سود خالص در یونجه به مقدار ۸۵۴/۱۴۵ میلیون ریال در هکتار در شهرستان ساوجبلاغ به‌دست آمد که نسبت به درآمد ۷۵۴/۳۹۵ میلیون ریالی ذرت در ساوجبلاغ ۱۲ درصد درآمد بیشتری ایجاد کرده است. در رابطه با شاخص نسبت سود به هزینه در یونجه بالاترین مقدار به میزان ۲/۹۷ در کرج و در ذرت ۲/۹۱ به‌دست آمد.

همچنین، میزان بهره‌وری اقتصادی در یونجه در بیشترین مقدار ۳۹/۶۶ کیلوگرم بر میلیون ریال در کرج به‌دست آمد که در مقایسه با بهره‌وری اقتصادی ذرت به میزان ۱۵۴/۰۳ کیلوگرم بر میلیون ریال در کرج کمتر می‌باشد. این به معنای آن است که در مقابل هزینه‌ای ثابت میزان تولید محصول در ذرت بیشتر از یونجه می‌باشد؛ البته که باید به این نکته توجه کرد که به دلیل قیمت بالاتر یونجه در مقایسه با ذرت چنانچه کشاورزی بتواند با روش‌های نوین عملکرد بالاتری از یونجه دریافت کند می‌تواند سود خالص بالاتری از یونجه نسبت به ذرت به‌دست آورد. این در حالی است که عملیات زراعی یونجه شامل آماده‌سازی و کاشت در مقایسه با ذرت در طول چند سال فقط یک بار انجام شده و باتوجه‌به ویژگی‌های گیاه یونجه آسیب‌های حاصل از کشت آن مانند فرسایش خاک نیز می‌تواند کمتر باشد. در مطالعه‌ای که روی یونجه انجام گرفت، هزینه تولید، درآمد خالص، نسبت سود به هزینه و بهره‌وری اقتصادی به‌ترتیب ۱۴۴۶ دلار در هکتار، ۱۵۲۷ دلار در هکتار، دو و ۱۰/۱ کیلوگرم بر دلار به‌دست آمد (Ghaderpour *et al.*, 2016). همچنین در مطالعه روی ذرت و یونجه نشان داده شد که ارزش ناخالص تولیدی به‌ترتیب ۳۱۵۰ و ۶۴۴۷ دلار در هکتار بود. سود خالص در ذرت ۲۰۶۱ دلار در هکتار و در یونجه ۴۱۹۳ دلار در هکتار بود. نسبت سود به هزینه در ذرت و یونجه به‌ترتیب ۲/۹ و ۲/۸ به‌دست آمد و شاخص بهره‌وری اقتصادی در ذرت و یونجه به‌ترتیب ۴۲/۲ و ۱۲/۲ کیلوگرم بر دلار بود (Mohammadzadeh *et al.*, 2018).

جدول ۵. تجزیه و تحلیل اقتصادی تولید ذرت علوفه‌ای و یونجه در شهرستان‌های استان البرز.

Indicator	Unit	Plant type	Karaj	Savojbolagh	Nazar Abad	Fardis	Eshtehard
Gross production value	MRial[1].ha^{-1}	Forage corn	۱۰۶۹/۹۷۵	۱۱۵۹/۹۵۰	۱۰۹۹/۸۱۵	۱۰۳۵/۴۰۵	۷۸۸/۰۲۵
		Alfalfa	۱۲۲۲/۳۶۵	۱۲۸۹/۹۱۰	۱۱۸۴/۷۴۵	۱۱۶۲/۲۳۰	۱۰۱۲/۳۲۰
Total cost of production	MRial.ha^{-1}	Forage corn	۳۶۶/۷۹۵	۴۰۵/۵۵۵	۳۷۸/۱۹۵	۳۸۱/۹	۲۹۴/۴۰۵
		Alfalfa	۴۱۰/۹۷	۴۴۰/۳۲۵	۳۹۹/۵۷	۳۹۷/۰۰۵	۳۴۸/۵۵۵
Net return	MRial.ha^{-1}	Forage corn	۷۱۰/۵۰۵	۷۵۴/۳۹۵	۷۲۱/۶۲۰	۶۵۳/۵۰۵	۴۸۵/۳۵۵
		Alfalfa	۸۱۹/۹۴۵	۸۵۴/۱۴۵	۷۸۵/۱۷۵	۷۶۵/۲۲۵	۶۶۳/۷۶۵
Benefit to cost ratio	-	Forage corn	۲/۹۱	۲/۸۵	۲/۹	۲/۷۱	۲/۶۷
		Alfalfa	۲/۹۷	۲/۹۲	۲/۹۶	۲/۹۲	۲/۹
Economic productivity	Kg.MRial	Forage corn	۱۵۴/۰۳	۱۴۳/۰۱	۱۴۵/۴۲	۱۴۲/۷	۱۳۵/۸۶
		Alfalfa	۳۹/۶۶	۳۹/۰۶	۳۹/۵۴	۳۹/۰۴	۳۸/۷۳

[1]: MRial - میلیون ریال

۴. نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که انرژی ورودی و انرژی در یونجه در تمامی شهرستان‌ها بیشتر از ذرت علوفه‌ای بود و در انرژی خالص در برخی شهرستان‌ها ذرت علوفه‌ای بر یونجه برتری داشت. همچنین در مقایسه انرژی مستقیم و غیر مستقیم مشاهده شد که در هر دو گیاه، سهم انرژی مستقیم بیشتر بود و انرژی تجدیدناپذیر نیز در هر دو بیشتر از انرژی تجدیدپذیر بود. در هر دو گیاه از مجموع کل انرژی ورودی سه عامل گازوئیل، کود شیمیایی نیتروژن و آب آبیاری بیشترین سهم را به خود اختصاص دادند. بررسی پتانسیل گرمایش جهانی نیز نشان داد که کشت یونجه نسبت به کشت ذرت علوفه‌ای پتانسیل گرمایش بیشتری داشته و در هر دو گازوئیل، الکتریسیته و کود نیتروژن سهم بیشتری در گرمایش جهانی داشتند. در مقایسه شاخص‌های اقتصادی نیز دیده شد که بالاترین ارزش ناخالص تولیدی، هزینه و سود خالص در یونجه به‌دست آمد و باتوجه‌به عملکرد بالاتر ذرت نسبت به یونجه و تفاوت کم هزینه تولید این دو محصول، بهره‌وری اقتصادی در ذرت بالاتر از یونجه بود. لذا، باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه باید به این نکته توجه کرد که ارزش هر یک از شاخص‌های ذکرشده در این مطالعه بستگی به شرایط هر منطقه متفاوت می‌باشد. بنابراین برای داشتن کشاورزی پایدار در هر منطقه باید کارشناسان و سیاستگذاران در طراحی الگوی کشت آن منطقه بر اساس ویژگی‌های خاص آن منطقه از شاخص‌های متفاوتی استفاده کنند. به‌طور کلی و براساس نتایج حاصل از مطالعه حاضر سوخت نقش مهمی در میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و اثرات نامطلوب آن بر محیط زیست دارد. بنابراین توصیه می‌شود با استفاده از روش‌های نوین و استفاده از اداوت به‌روز نسبت به کاهش مصرف این عامل اقدام کرده و در آن صورت با کشت یونجه در مقایسه با ذرت به‌دلیل ویژگی‌های مطلوب این گیاه هم سود خالص بیشتری نصیب کشاورز شده و هم اینکه میزان فرسایش خاک به‌دلیل عملیات آماده‌سازی کمتر یونجه در طول چند سال نسبت به ذرت کمتر شود.

۵. منابع

Aghaalikhani, M., Kazemi, H., & Habibzadeh, F. (2013). Energy use pattern in rice production: A case study from Mazandaran province, Iran. *Energy Conversation Management*, *69*, 157-162

Amanloo, A., & Ghasemi Mobtaker, H. (2013). Energy balance and sensitivity analysis of inputsfor forage maize production in Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, *5*(4), 377-384.

Asgharipour, M.R., Mousavinik, S.M., & Enayat, F.F. (2016). Evaluation of energy input and greenhouse gases emissions from alfalfa production in the Sistan region, Iran. *Energy Reports*, *2*, 135-140.

Beheshti Tabar, I., Keyhani, A., & Rafiee, S. (2010). Energy balance in Iran's agronomy (1990–2006). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *14*, 849-855.

Erdal, G., Esengun, K., Erdal, H., & Gunduz, O. (2007). Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*, *32*, 35–41.

Feyzbakhsh M.T., & Soltani, A. (2013). Energy flow and global warming potential of corn farm. *The Journal of Crop Production*, *6*(2), 89-107.

Feyzbakhsh, M.T., Dorri, M.A., & Rezvantalab, N. (2019). Evaluation of energy indices and its impact on global warming potential for potato production: A case study, Golestan province. *Journal of Agroecology*, *11*(1), 53–68. (In Persian).

Feyzbakhsh, M.T., & Soltani, A. (2013). Energy flow and global warming potential of corn farm (Gorgan city). *Electronic Journal of Crop Production*, *6*(2), 89-107. (In Persian).

Feyzbakhsh, S., & Alizadeh, P. (2018). Comparison of silage corn (*Zea mays* L.) and forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.) production in terms of energy consumption and global warming potential in Golestan region. *Journal of Agroecology*, *10*(1), 218-233.

Food and Agriculture Organization. (2018). Food and Agriculture Organization (FAO) The 10 Elements of Agroecology Guiding the Transition to Sustainable Food and Agricultural Systems; FAO: Rome, Italy.

Ghahderijani, M., Komleh, S.H.P., Keyhani, A., & Sefeedpari, P. (2013). Energy analysis and life cycle assessment of wheat production in Iran. *African Journal of Agricultural Research*, *8*(18), 1929-1939.

Houshyar, E., Azadi, H., Almassi, M., Davoodi, M.J.S., & Witlox, F. (2012). Sustainable and efficient energy consumption of corn production in Southwest Iran: Combination of multi-fuzzy and DEA modeling. *Energy*, *44*(1), 672-681.

IPCC. (1995). Climate change, the science of climate change. In: Houghton JT, Meira Filho LG, Callander BA, Harris N ,Kattenberg A, Maskell K (eds) Intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press.

Javadi, H., & Esfahan, S.M.J. (2023). Energy flow and greenhouse gases emission of crop production systems in South Khorasan province. *Journal of Environmental Science and Technology*, *24*(10), 1-17.

Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M., & Movahedi, M. (2013). Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy*, *52*, 333-338.

Koga, N., & Tajima, R. (2011). Assessing energy efficiencies and greenhouse gas emissions under bioethanol-oriented paddy rice production in Northern Japan. *Journal of Environmental Management*, *92*, 967-973.

Kramer, K.J., Moll, H.C., & Nonhebel, S. (1999). Total greenhouse gas emissions related to the Dutch crop production system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *72*, 9-16.

Lal, R. (2004). Carbon emission from farm operations. *Environment International*, *30*, 981-990.

Mahlayeye, M., Darvishzadeh, R., & Nelson, A. (2022). Cropping patterns of annual crops: A remote sensing review. *Remote Sens*, *14*, 2404. https:// doi.org/10.3390/rs14102404.

Mardani Najafabadi, M., Ziaee, S., Nikouei, A., & Ahmadpour Borazjani, M. (2019). Mathematical programming model (MMP) for optimization of regional cropping patterns decisions: A case study. *Agricultural Systems*, *173*, 218–232.

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. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *30*, 724-733.

Mohammadzadeh, A., Abdolmajid Mahdavi Damghani, J.V., & Reza Deihimfard, R. (2017). Assessing environmental impacts of major vegetable crop production systems of East Azerbaijan province in Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, DOI: 10.1080/03650340.2017.1405260.

Mohammadzadeh, A., Mahdavi Damghani, A., Vafabakhsh, J., & Deihimfard, R. (2018). Ecological economic efficiency for alfalfa (*Medicago sativa* L.) and corn silage (*Zea mays* L.) production systems: Maragheh Bonab plain, East Azerbaijan province. *Journal of Agroecology*, *10*(3), 875-895.

Mousavi-Avval, S.H., Rafiee, S., Jafari, A., & Mohammadi, A. (2011). Energy flow modeling and sensitivity analysis of inputs for canola production in Iran. *Journal of Cleaner Production*, *19*, 1464-1470.

Nabavi-Pelesaraei, A., Pakravan-Charvadeh, M.R., & Ghasemi-Mobtaker, H. (2022). Predicting output energy and greenhouse gas emissions in peanut production: A case study in Astaneh-Ashrafiyeh county of Guilan province. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, *53*(1), 145–168. (In Persian).

Nikkhah, A., Emadi, B., Shabanian, F., & Hamzeh-Kalkenari, H. (2014). Energy sensitivity analysis and greenhouse gas emissions for tea production in Guilan province. *Journal of Agroecology*, *6*, 622-633. (In Persian).

Pahlavan, R., Omid, M., Rafiee, S., & Mousavi-Avval, S.H. (2012). Optimization of energy consumption for rose production in Iran. *Energy for Sustainable Development*, *16*, 236-241.

Pishgar Komleh, S., Keyhani, A., Rafiee, S., & Sefeedpary, P. (2011). Energy use and economic analysis of corn silage production under three cultivated area levels in Tehran province of Iran. *Energy*, *36*, 3335-3341.

Rajaby, M.H., Soltani, A., Zeinali, E., & Soltani, E. (2012). Evaluation of energy use in wheat production in Gorgan. *Journal of Plant Production Researches*, *19*, 143-171. (In Persian).

Safa, M., Samarasinghe, S., & Mohssen, M. (2011). A field study of energy consumption in wheat production in Canterbury, New Zealand. *Energy Conversion and Management*, *52*(7), 2526-32.

Sefeedpari, P., Rafiee, S., Komleh, S.H.P., & Ghahderijani, M. (2012). A source-wise and operation-wise energy use analysis for corn silage production, a case study of Tehran province, Iran. *International Journal of Sustainable Built Environment*, *1*(2), 158-166.

Snyder, C., Bruulsema, T., Jensen, T., & Fixen, P. (2009). Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *133*, 247-266.

Soltani, A., Maleki, M., & Zeinali, E. (2014). Optimal crop management can reduce energy use and greenhouse gases emissions in rainfed canola production. *International Journal of Plant Production*, *8*, 587-604.

Tzilivakis, J., Warner, D., May, M., Lewis, K., & Jaggard, K. (2005). An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agricultural Systems*, *85*, 101-119.

Vafabakhsh, J., & Mohammadzadeh, A. (2019). Energy flow and GHG emissions in major field and horticultural crop production systems (Case study: Sharif Abad plain). *Journal of Agroecology*, *11*(2), 365-382.

Yousefi, M., & Mohammadi, A. (2011). Economical analysis and energy use efficiency in alfalfa production systems in Iran. *Scientific Research and Essays*, *6*, 2332-2336.

Yousefi, M., Damghani, A.M., & Khoramivafa, M. (2016). Comparison greenhouse gas (GHG) emissions and global warming potential (GWP) effect of energy use in different wheat agroecosystems in Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, *23*, 7390-7397.