University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

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

Study of Energy Flow and Emission of Greenhouse Gases in Wheat and Barley Ecosystems: A Case Study of Tehran Province

Seyed Ali Khalili[1] | Hosein Moghaddam[2]✉ | MohammadReza Jahansuz[3] | Arash Mohammadzadeh[4]| Hamed Rafiee[5]

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: s.alikhalili@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: hmoghadam@ut.ac.ir
3. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: jahansuz@ut.ac.ir
4. Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran.
5. Department of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Economics and Development, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: hamedrafiee@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: November 04, 2023
Received in revised form: December 31, 2023
Accepted: January 06, 2024
Published online: June 21, 2024

Keywords:
Electricity,
energy index,
farms,
global warming potential,
input energy.

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the quantity of energy input, compare the energy flow and the quantity of greenhouse gas emissions between wheat and barley ecosystems, in the cities of Tehran province. The needed information was collected by questionnaire method from farmers in Tehran province cities. Then, energy indices, different forms of energy and global warming potential were calculated. The results showed that the highest input energy in the production process of wheat and barley belonged to Islamshahr city with 86159 and 76793.9 MJ ha^{-1}, respectively. In addition, the most direct energy, renewable energy and non-renewable energy belonged to wheat and barley farms in Islamshahr and Rabat Karim cities. Wheat and barley farms in Tehran had the most indirect energy. On the other hand, the lowest quantity of different forms of energy in the wheat and barley ecosystems belonged to the rainfed farms of Tehran province located in cold regions. In general, in wheat and barley ecosystems of Tehran province, the share of direct energy was more than indirect energy and the share of non-renewable energy was more than renewable energy. The quantity of greenhouse gas emissions in wheat and barley farms in the western cities of the province, including Islamshahr equivalent to 10474.5 and 10081 kg eq. CO_2 per ha respectively. Therefore, by taking into account the climatic conditions of the region and managing the consumption of production inputs, it is possible to increase the efficiency of energy consumption and reduce the emission of greenhouse gases in Tehran province.

Cite this article: Khalili, S.A., Moghaddam, H., Jahansuz, M.R., Mohammadzadeh, A., & Rafiee, H. (2024). Study of energy flow and emission of greenhouse gases in wheat and barley ecosystems: A case study of Tehran province. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *55*(2), 153-167. DOI: 10.22059/ijfcs.2024.367594.655039.

© The Authors.
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2024.367594.655039.

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

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

مطالعه جریان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در بوم‌نظام‌های گندم و جو: مطالعه موردی استان تهران

سید علی خلیلی[۱] | حسین مقدم[۲]✉ | محمدرضا جهانسوز[۳] | آرش محمدزاده[۴] | حامد رفیعی[۵]

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: s.alikhalili@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه:hmoghadam@ut.ac.ir

۳. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: jahansuz@ut.ac.ir

۴. موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران.

۵. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: hamedrafiee@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱

کلیدواژه‌ها:
اراضی زراعی،
الکتریسیته،
انرژی ورودی،
پتانسیل گرمایش جهانی،
شاخص انرژی.

چکیده

هدف از این مطالعه، بررسی میزان انرژی ورودی، مقایسه جریان انرژی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای میان بوم‌نظام‌های محصولات زراعی گندم و جو شهرستان‌های استان تهران بود. اطلاعات مورد نیاز به روش پرسشنامه از کشاورزان در شهرستان‌های استان تهران جمع‌آوری شد. سپس، شاخص‌های انرژی، اشکال مختلف انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی محاسبه شد. بر اساس نتایج، بیشترین انرژی ورودی در فرآیند تولید گندم و جو به‌ترتیب با ۸۶۱۵۹ و ۷۶۷۹۳/۹ مگاژول در هکتار به شهرستان اسلامشهر تعلق داشت. همچنین، بیشترین انرژی مستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در مزارع گندم و جو شهرستان‌های اسلامشهر و رباط‌کریم بود. مزارع گندم و جو شهرستان تهران بیشترین انرژی غیر مستقیم را به خود اختصاص دادند. از سوی دیگر، کمترین میزان اشکال مختلف انرژی در بوم‌نظام‌های گندم و جو متعلق به مزارع دیم استان تهران واقع در مناطق سردسیری بود. به‌طور کلی، در بوم‌نظام‌های گندم و جو شهرستان‌های استان تهران سهم انرژی مستقیم بیش از انرژی غیر مستقیم و انرژی تجدیدناپذیر بیش از انرژی تجدیدپذیر بود. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در مزارع گندم و جو شهرستان‌های غربی استان از جمله اسلامشهر به‌ترتیب معادل ۱۰۴۷۴/۵ و ۱۰۰۸۱ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن در هکتار بود. بنابراین با در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی منطقه و مدیریت مصرف نهاده‌های تولید می‌توان به افزایش بهره‌وری مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در استان تهران دست یافت.

استناد: خلیلی، س.ع.، مقدم، ح.، جهانسوز، م.ر.، محمدزاده، آ.، و رفیعی، ح. (۱۴۰۳). مطالعه جریان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در بوم نظام‌های گندم و جو: مطالعه موردی استان تهران. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۵(۲)، ۱۵۳-۱۶۷.
Doi: 10.22059/ijfcs.2024.367594.655039

© نویسندگان

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

بشر در طول تاریخ، جهت تامین نیازهای اولیه غذایی خود، همواره مجبور به صرف انرژی‌های مختلف بوده است (Erdal *et al.*, 2007). در سال‌های اخیر، یکی از دغدغه‌های اساسی پیش روی فعالان بخش کشاورزی، افزایش مصرف انرژی به واسطه رشد روزافزون جمعیت و متعاقبا افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی می‌باشد (Javadi & Esfahani, 2023). افزایش جمعیت، تغییرات اقلیمی و کمبود منابع آب و زمین سبب ایجاد مخاطره در امنیت غذایی می‌شود (Tian *et al.*, 2021). بر اساس گزارش مشترک سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO)، صندوق بین‌المللی توسعه کشاورزی (IFAD)، برنامه جهانی غذای سازمان ملل (WFP) و سایر نهادهای ذی‌ربط، حدود ۸۲۸ میلیون نفر در سال ۲۰۲۱ تحت تاثیر گرسنگی قرار گرفتند.

این گزارش پیش‌بینی کرده حدود ۶۷۰ میلیون نفر (هشت درصد از جمعیت جهان) همچنان در سال ۲۰۳۰ با گرسنگی روبرو خواهند بود. با توجه به بررسی سناریوهای مختلف از جمله ادامه بی‌ثباتی و جنگ در اوکراین، از سوی دیگر اعمال سیاست‌های محدودکننده به برخی کشورها همچون تحریم اقتصادی ایران، چگونگی تامین غذا در کشورهای مختلف نگران‌کننده است (Unicef, 2022). گندم (*Triticum aestivum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) به‌واسطه قرار گرفتن در جیره غذایی انسان و دام مهمترین محصولات مهم استراتژیک موثر بر امنیت غذایی در سراسر جهان و به‌ویژه در کشور ایران به شمار می‌آیند. بر اساس آمار فائو، تولید محصول استراتژیک گندم در سال ۲۰۱۹ در ایران ۱۶/۸ میلیون تن بود. نسبت وابستگی به واردات غلات در ایران در سال ۲۰۱۵، ۳۵/۷ درصد بوده که این میزان در سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸، (۳۶/۱ درصد) افزایش یافته است (FAO, 2021). بر اساس آمارهای وزارت جهاد کشاورزی، گندم با ۴۹/۴۶ درصد مهمترین محصول تولیدی کشور می‌باشد (Bayat *et al.*, 2023; Hadi *et al.*, 2017; Nasrabadi *et al.*, 2015). جو پس از گندم، با سطح کشت بیش از ۱۶۶۰ هکتار و تولید ۳۸۰۰ هزار تُن عمده‌ترین محصول زراعی در کشور می‌باشد. این محصول به‌واسطه سازگاری اکولوژیک در عمده نقاط کشور ایران مورد کاشت قرار می‌گیرد (Ahmadi *et al.*, 2021). طبق اعلام مرکز آمار ایران در سال ۱۴۰۲ سهم استان تهران از مساحت اراضی زراعی آبی کشور ۱/۷۸ درصد (رتبه ۲۰) می‌باشد؛ اما از جنبه میزان تولید محصولات زراعی سهم چهار درصدی داشته و در رتبه هفتم کشور قرار دارد. این آمار نشان می‌دهد بهره‌برداران بخش کشاورزی استان نسبت به سایر استان‌های کشور در افزایش بهره‌وری تولید موفق بوده‌اند. با این حال اراضی کشاورزی استان تهران با بهره‌گیری از شرایط آب‌وهوایی متنوع، از پتانسیل عملکرد بالایی برخوردار بوده که این موضوع اهمیت نحوه مدیریت صحیح نهاده‌های تولید را بیش‌ازپیش نشان می‌دهد. یکی از راهکارهای اصلی تامین و حفظ امنیت غذایی، مدیریت مصرف انرژی در فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد (Platis *et al.*, 2019). بر اساس پیش‌بینی‌های انجام‌شده، جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ میلادی به ۹/۳ میلیارد نفر خواهد رسید (Heng *et al.*, 2009). لذا، تامین نیازهای غذایی ناشی از افزایش جمعیت منجر به افزایش مصرف نهاده‌های شیمیایی و منابع انرژی از جمله سوخت‌های فسیلی، الکتریسیته، کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها می‌شود (Mohammadzadeh *et al.*, 2017). افزایش مصرف این منابع سبب افزایش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و متعاقبا مخاطرات زیست‌محیطی مختلف می‌شود (Yousefi *et al.*, 2016). یکی از عوامل موثر بر افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی انرژی‌های ورودی، شناسایی عوامل موثر بر کارایی و بهره‌وری انرژی و در عین حال یافتن جایگزین با در نظر داشتن جوانب اقتصادی و فنی می‌باشد (Vafabakhsh *et al.*, 2019). بر اساس گزارش فائو، در سال ۲۰۱۹ میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در زمین‌های کشاورزی ایران، ۴۷/۲ میلیون تن CO_2 انتشاریافته می‌باشد (FAO, 2021).

مطالعات متعددی در ایران با رویکرد جریان انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و تولید محصولات گندم و جو تاکنون انجام شده است (Heidarisoltanabadi, 2023, Kazemi *et al.*, 2015; Mohammadzadeh *et al.*, 2017, Alipour *et al.*, 2012, Omid-Mehr, 2015; Javadi & Esfahani, 2023; Vafabakhsh & Mohammadzadeh, 2019; Khodarezaie *et al.*, 2022; Bayat *et al.*, 2023, Khodaei Joghan *et al.*, 2021). بر اساس سامانه اطلاعات آماری استان تهران، استان تهران با وسعتی حدود ۱۳۸۴۲ کیلومتر مربع و جمعیتی بالغ بر ۱۳ میلیون نفر بین ۳۴ تا ۳۶/۵ درجه عرض شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجه طول شرقی واقع شده است. این استان در نیمه شمالی ایران قرار دارد. از نظر پستی و بلندی استان تهران در دامنه جنوبی البرز مرکزی قرار دارد. در نواحی مختلف استان تهران به علت موقعیت ویژه جغرافیایی، آب و هوای متفاوتی شکل گرفته است. وجود رشته‌کوه‌های البرز در شمال استان موجب تعدیل آب و هوای استان تهران شده؛ اما از سوی دیگر به دلیل مجاورت با مناطق خشک و کویری استان‌های

قزوین، قم و سمنان، تاثیرات حرارتی نامطلوبی بر اقلیم استان داشته است. بادهای مرطوب و باران‌زای غربی نیز از دیگر عوامل تاثیرگذار بر اقلیم استان می‌باشد. بر اساس آمار سازمان جهاد کشاورزی استان تهران در سال ۱۴۰۰، مجموع سطح زیر کشت گندم و جو به‌ترتیب ۴۴۱۹۵/۲ و ۲۸۷۰۹/۵ هکتار می‌باشد. به‌طور کلی، محصولات زراعی مورد کشت در استان تهران شامل گندم، جو، کلزا، ذرت، نباتات علوفه‌ای، سبزی و صیفی‌جات می‌باشد که دو گیاه زراعی گندم و جو با توجه به اهمیت استراتژیکی در این استان دارای سهم اراضی قابل توجهی نسبت به سایر محصولات زراعی می‌باشند.

در این مطالعه، به محاسبه و مقایسه شاخص‌های انرژی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای دو محصول زراعی گندم و جو در شهرستان‌های استان تهران پرداخته شده است.

۲. روش‌شناسی پژوهش

جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز این مطالعه برای محصولات گندم و جو شامل نوع و میزان نهاده‌های مصرفی (آب، الکتریسیته، کودهای شیمیایی و آلی زیستی، سموم شیمیایی، سوخت مصرفی) و میزان عملکرد محصول (عملکرد دانه و کاه) به روش پرسشنامه و انجام مصاحبه حضوری با ۳۰۰ کشاورز در شهرستان‌های استان تهران شامل شهرستان‌های تهران، اسلامشهر، پاکدشت، دماوند، رباط کریم، ری، شهریار، فیروزکوه، ملارد و ورامین انجام شد. همچنین اطلاعات شهرستان‌های پردیس، بهارستان، قدس، قرچک و پیشوا به‌ترتیب با توجه به اینکه زمانی بخشی از شهرستان‌های تهران، رباط کریم، شهریار و ورامین بوده و از نظر کلیه جوانب دارای موقعیت نسبتا یکسانی با شهرستان‌های مزبور می‌باشد نیز در میان اطلاعات شهرستان‌های مرجع منظور شد. شهرستان شمیرانات نیز فاقد سطح زیر کشت زراعی می‌باشد. پس از جمع‌آوری داده‌ها، اطلاعات مربوط به هر شهرستان دسته‌بندی شد. سپس، شاخص‌های انرژی شامل کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی مخصوص و انرژی خالص (به‌ترتیب رابطه ۱ تا ۴) بر اساس انرژی نهاده‌های مصرفی طی عملیات زراعی شامل بذر، کود، آفت‌کش‌ها، ماشین‌های کشاورزی، آب و نیروی انسانی به همراه عملکرد محصول مطابق معادل انرژی آن‌ها (جدول ۱)، از طریق نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۶ محاسبه شد (Vafabakhsh & Mohammadzadeh, 2019).

$$\text{Energy use efficiency}=\frac{Energy\ Output\ (MJ\ ha^{-1})}{Energy\ Input\ (MJ\ ha^{-1})} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$\text{Energy use productivity}=\frac{Product\ Output\ (Kg\ ha^{-1})}{Energy\ Input\ (MJ\ ha^{-1})} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

$$\text{Specific energy}=\frac{Energy\ Input\ (MJ\ ha^{-1})}{Product\ Output\ (Kg\ ha^{-1})} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

$$\text{Net energy} = Energy\ Output\ (MJ\ ha^{-1}) - Energy\ Input\ (MJ\ ha^{-1}) \quad \text{(رابطه ۴)}$$

اشکال مختلف انرژی شامل انرژی مستقیم (نیروی انسانی، سوخت دیزلی، آب آبیاری و الکتریسیته)، انرژی غیر مستقیم (بذر، کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و ماشین‌های کشاورزی)، انرژی تجدیدپذیر (نیروی انسانی، بذر، آب آبیاری) و انرژی تجدیدناپذیر (الکتریسیته، کودهای شیمیایی، سوخت دیزلی، آفت‌کش‌ها و ماشین‌های کشاورزی) می‌باشد که بر اساس اطلاعات جمع‌آوری‌شده از طریق جمع انرژی‌های مذکور به‌دست آمد (Yilmaz *et al.*, 2005). میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌واسطه مصرف نهاده‌های شیمیایی بر اساس ضرایب دی‌اکسید کربن (CO_2)، متان (CH_4) و نتیروز اکسید (N_2O) در جدول ۲ محاسبه شد (Vafabakhsh & Mohammadzadeh, 2019).

جدول ۱. معادل انرژی ورودی و خروجی در بوم نظام‌های گندم و جو.

Inputs	Unit	Energy equivalents ($MJ.unit^{-1}$)	Reference	Inputs	Unit	Energy equivalents ($MJ.unit^{-1}$)	Reference
Human labour	hr	1.96	De *et al.* (2001)	Herbicides	l	85	Kitani *et al.* (1999)
Machinery	hr	62.7	Mandal *et al.* (2002)	Insecticides	l	229	Kitani *et al.* (1999)
Diesel	l	47.8	Kitani *et al.* (1999)	Fungicides	l	115	Kitani *et al.* (1999)
Gasoline	l	46.3	Kitani *et al.* (1999)	Electricity	KWh	12	Kitani *et al.* (1999)
Nitrogen	kg	66.14	Hatirli *et al.* (2006)	Irrigation water	m3	1.02	Acaroglu *et al.* (1998)
Phosphorus (P_2O_5)	kg	12.44	Hatirli *et al.* (2006)	Wheat seed	kg	15.7	Mohammadzadeh *et al.* (2017)
Potassium (K_2O)	kg	11.15	Hatirli *et al.* (2006)	Barley seed	kg	14.7	Mohammadzadeh *et al.* (2017)
Straw of wheat and barley	kg	12.5	Mohammadzadeh *et al.* (2017)	Wheat and Barley grain	kg	14.7	Mohammadzadeh *et al.* (2017)

جدول ۲. انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای مصرف هر واحد نهاده ورودی

Input	CH_4	N_2O	CO_2	Reference	Input	CH_4	N_2O	CO_2	Reference
Diesel (L)	5.20	0.7	3560	Kramer *et al.* (1999)	Electricity (kwh)	0.02	8.82	61.20	Tzilivakis *et al.* (2005)
Gasoline (L)	*	*	2320	Koga & Tajima (2011)	Herbicide (kg)	*	*	6300	Lal (2004)
Nitrogen (kg)	3.70	0.03	3100	Snyder *et al.* (2009)	Insecticide (kg)	*	*	5100	Lal (2004)
Phosphate (kg)	1.80	0.02	1000	Snyder *et al.* (2009)	Fungicide (kg)	*	*	3900	Lal (2004)
Potassium (kg)	1.00	0.01	700	Snyder *et al.* (2009)	equivalence factor $_{CO2}$	21	30	1	IPCC (1995)

۳. نتایج پژوهش و بحث

مقادیر ورودی و خروجی به همراه انرژی معادل آن در بوم‌نظام‌های گندم و جو شهرستان‌های استان تهران در جدول ۳ نشان داده شده است. بر اساس نتایج، نیروی انسانی مورد نیاز در بوم‌نظام‌های گندم و جو در مناطق مختلف استان تهران متغیر بود. کمترین و بیشترین نیروی انسانی به کار گرفته‌شده در کشت‌بوم‌های گندم به‌ترتیب در اراضی دیم شهرستان فیروزکوه با ۴۸ ساعت در هکتار (معادل ۹۴/۱ مگاژول در هکتار انرژی) و اراضی شهرستان اسلامشهر با ۳۰۰ ساعت در هکتار (معادل ۵۸۸ مگاژول در هکتار انرژی) مشاهده شد. از میان مزارع گندم آبی استان تهران اراضی شهرستان ری از کمترین نیروی انسانی مورد نیاز برخوردار بود. همچنین، از لحاظ نیروی انسانی مورد نیاز اراضی دیم شهرستان فیروزکوه و دماوند به‌ترتیب با ۴۰ و ۷۰ ساعت معادل ۹۴/۱ و ۱۴۹ مگاژول انرژی نیروی کار کمترین و شهرستان‌های تهران و پاکدشت با ۲۵۰ ساعت معادل ۴۹۰ مگاژول در هکتار انرژی نیروی کار، بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند. نتایج سایر تحقیقات نیز تایید می‌کند که یکی از دلایل اصلی کاهش نیروی انسانی مورد نیاز برای تولید گندم در اراضی دیم کاهش عملیات خاک‌ورزی، تعدیل کنترل آفات و بیماری‌ها و حذف عملیات آبیاری مزارع می‌باشد (Kazemi *et al.*, 2016). مقدار نیروی انسانی به‌کاررفته برای تولید محصولات کشاورزی مختلف تحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله نوع محصول، اندازه مزارع، نوع عملیات زراعی، ضریب مکانیزاسیون و سایر موارد می‌باشد (Mohamadzadeh *et al.*, 2017).

در بوم‌نظام گندم، میزان ساعت کار ماشین‌های کشاورزی در اراضی دیم شهرستان فیروزکوه، دماوند و اراضی آبی ری ۱۵ ساعت و اراضی آبی شهرستان شهریار ۱۶ ساعت بود و بیشترین مقدار آن در اراضی آبی به شهرستان تهران با ۴۸ ساعت در هکتار معادل ۳۰۰۹/۶ مگاژول در هکتار تعلق داشت. یکی از دلایل اصلی افزایش ساعت کار ماشین‌های کشاورزی در شهرستان تهران خرد بودن و پراکندگی اراضی می‌باشد. در بوم‌نظام جو، بیشترین ساعت کار ماشین‌های کشاورزی در اراضی شهرستان تهران با ۴۸ ساعت و کمترین میزان آن در اراضی دیم شهرستان‌های فیروزکوه و دماوند با ۱۲ و ۱۵ ساعت معادل ۷۵۲/۴ و ۱۰۰۳/۲ مگاژول در هکتار مشاهده شد. در میان اراضی آبی، شهرستان‌های ری و ورامین با ۱۲ و ۱۴ ساعت معادل ۷۵۲/۴ و ۸۷۷/۸ مگاژول در هکتار عملیات کشاورزی کمتری نسبت به سایر شهرستان‌ها داشتند. کمترین میزان مصرف سوخت به اراضی جو دیم و آبی شهرستان‌های دماوند و فیروز کوه مربوط بود. به‌طور کلی، خرد و پراکنده‌بودن اراضی شهرستان تهران و یکپارچگی اراضی شهرستان‌های ری و ورامین، نسبت به سایر عوامل دخیل در عملیات کاشت، داشت و برداشت می‌تواند علت افزایش و کاهش ساعت کار ماشین‌های کشاورزی در منطقه باشد. بر اساس نتایج، مصرف سوخت در اراضی گندم شهرستان‌های تهران، اسلامشهر و ورامین به یک میزان بوده (۳۰۰ لیتر در هکتار معادل ۱۴۳۴۰ مگاژول در هکتار)، از سوی دیگر اراضی شهرستان‌های ملارد، شهریار و رباط کریم از شهرستان‌های غرب استان تهران نیز با ۳۲۰ لیتر در هکتار (معادل ۱۵۲۹۶ مگاژول در هکتار) بیشترین میزان مصرف سوخت را داشتند. کمترین میزان مصرف سوخت نیز به‌ترتیب متعلق به اراضی دیم شهرستان‌های فیروزکوه (۷۵ لیتر معادل ۳۵۸۵ مگاژول در هکتار) و دماوند (۸۰ لیتر معادل ۳۸۲۴ مگاژول در هکتار) می‌باشد. مصرف سوخت در اراضی آبی جو شهرستان‌های پاکدشت (۱۰۰ لیتر معادل ۴۷۸۰ مگاژول در هکتار) کمترین مقدار و در شهرستان ملارد با ۳۲۰ لیتر (معادل ۱۶۷۳۰ مگاژول در هکتار) بیشترین میزان را به خود اختصاص داد.

بیشترین میزان مصرف نیتروژن در بوم‌نظام گندم در شهرستان‌های اسلامشهر، تهران، رباط‌کریم و ری با ۳۰۰ کیلوگرم معادل ۱۳۲۲۸ مگاژول در هکتار انرژی مشاهده شد و کمترین میزان آن به مزارع دیم شهرستان‌های فیروزکوه و دماوند به‌ترتیب با ۷۵ و ۱۴۶/۳ کیلوگرم معادل ۴۲۹۹/۱ و ۹۹۲۱ مگاژول در هکتار مربوط بود. همچنین، از مزارع آبی استان تهران، شهرستان ملارد کمترین میزان مصرف نیتروژن (۱۷۵ کیلوگرم) را در بوم‌نظام گندم داشت؛ اما بیشترین میزان ورودی انرژی برای مصرف نیتروژن در مزارع جو به شهرستان ورامین با ۲۰۸/۶ کیلوگرم در هکتار معادل ۱۳۷۹۶/۸ مگاژول انرژی در هکتار متعلق بود. در اراضی تولید جو، مقایسه میزان انرژی ورودی انواع کودهای شیمیایی در استان تهران نشان داد شهرستان شهریار در مجموع با ۱۵۵۸۷ مگاژول در هکتار انرژی، بیشترین میزان مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم را به خود اختصاص داد. اراضی دیم شهرستان فیروزکوه کمترین میزان مصرف کودهای شیمیایی یا به‌عبارتی کمترین انرژی ورودی (مجموعا ۵۰۱۹/۷ مگاژول در هکتار) برای تولید جو را داشت.

میزان آب مصرفی درکشت‌بوم‌های گندم و جو استان مورد ارزیابی قرار گرفت. شهرستان‌های اسلامشهر و پاکدشت بیشترین میزان آب مصرفی (۷۶۹۰/۸ مگاژول در هکتار) را به خود اختصاص داد. کمترین میزان در اراضی فاریاب شهرستان فیروزکوه مشاهده شد.

در مزارع گندم، بیشترین میزان برق مصرفی چاه‌ها در شهرستان اسلامشهر به میزان ۲۹۰۵ کیلووات ساعت معادل ۳۴۸۵۹/۷ مگاژول انرژی در هکتار محاسبه شد. پس از آن شهرستان‌های شهریار و رباط کریم به‌ترتیب با ۲۹۷۷۱/۶و ۲۲۲۵۹/۶ مگاژول انرژی در هکتار میزان انرژی الکتریسته بیشتری نسبت به سایر شهرستان‌ها صرف کرد. کشت‌بوم‌های جو نیز همانند اراضی گندم استان از همین الگو تبعیت کرد. یکی از دلایل افزایش انرژی الکتریسیته در مناطق غربی استان تهران برقی‌بودن اکثر چاه‌های کشاورزی، همچنین نوع سیستم آبیاری می‌باشد. در این میان راه‌اندازی ایستگاه‌های پمپاژ در کانال‌های فرعی آب‌رسانی نقاط غربی استان از جمله رباط‌کریم و اسلامشهر در میزان برق مصرفی برای تولید محصولات زراعی بی‌تاثیر نیست.

بیشترین میزان بذر مصرفی برای تولید گندم به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار معادل ۳۹۲۵ مگاژول در هکتار انرژی از میان شهرستان‌های نیمه غربی استان تهران به شهرستان رباط‌کریم و از شهرستان‌های واقع در شرق استان، به شهرستان فیروزکوه مربوط بود. این میزان می‌تواند به دلیل در دسترس‌بودن آب در این شهرستان‌ها باشد. شهرستان فیروزکوه از نظر شرایط اقلیمی جزء مناطق پر آب استان محسوب می‌شود. شهرستان رباط‌کریم نیز به دلیل بهره‌مندی از کانال آب‌رسانی محمدیه، ازآب قابل

اطمینان برای تولید گیاهان زراعی برخوردار است. این مطالعه نشان داد در اراضی آبی و دیم شهرستان فیروزکوه و دماوند نسبت به سایر شهرستان‌های استان کمترین میزان بذر مصرفی جو را داشتند. بیشترین میزان بذر مصرفی نیز متعلق به شهرستان رباط کریم با ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار معادل ۳۲۳۴ مگاژول در هکتار انرژی بود. از سویی کاهش در میزان بذر مصرفی جو در اراضی شرقی استان می‌تواند به‌دلیل تفاوت در نوع رقم و شرایط جوی منطقه باشد. بیشترین مقادیر خروجی انرژی در خصوص عملکرد دانه به مزارع گندم شهرستان ورامین و ری به‌ترتیب با ۶۰۱۴ کیلوگرم معادل ۸۸۴۰۶ مگاژول انرژی و ۵۷۵۵ کیلوگرم معادل ۸۴۵۹۹ مگاژول انرژی تعلق داشت. به‌همین‌ترتیب بیشترین میزان تولید کاه گندم نیز متعلق به اراضی این شهرستان‌ها بوده است. برآورد مقدار انرژی خروجی در بوم‌نظام جو نشان داد بیشترین عملکرد دانه جو با ۴۹۰۸ کیلوگرم در هکتار معادل ۷۲۱۴۷/۶ مگاژول در هکتار انرژی در اراضی شهرستان ورامین به دست آمد. غیر از اراضی دیم که به طور طبیعی میزان عملکرد محصول پایینی دارند، در اراضی آبی نیز شهرستان فیروزکوه با ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار معادل ۲۹۴۰۰ مگاژول انرژی در هکتار، کمترین میزان عملکرد محصول را به خود اختصاص داد.

شاخص‌های انرژی و اشکال انرژی در بوم‌نظام تولید گندم و جو شهرستان‌های استان تهران به‌ترتیب در جدول ۴ و ۵ نشـان داده شده است. محاسبه انرژی‌های ورودی نشان داد بیشترین و کمترین انرژی ورودی در بوم‌نظام گندم و جو به‌ترتیب برای شهرستان اسلامشهر و فیروزکوه بوده است. از سوی دیگر، بیشترین انرژی خروجی در بوم‌نظام‌های گندم متعلق به اراضی شهرستان ورامین و ری به‌ترتیب ۱۴۸۵۴۳ و ۱۴۲۱۴۸/۵ مگاژول در هکتار و در کشت‌بوم‌های جو مربوط به اراضی شهرستان‌های ورامین و شهریار به‌ترتیب ۷۲۱۴۷/۶ و ۶۲۵۹۲/۶ مگاژول در هکتار بود. کمترین میزان انرژی خروجی به اراضی دیم گندم و جو شهرستان فیروزکوه و دماوند تعلق داشت. محاسبه نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی در بوم‌نظام‌های گندم و جو شهرستان‌های استان تهران نشان داد بیشترین کارآیی مصرف انرژی در مزارع آبی گندم شهرستان ملارد و فیروزکوه بود. همچنین مزارع شهرستان‌های دماوند و ورامین بیشترین کارآیی مصرف را در بوم‌نظام جو داشتند (جدول ۴). مطالعه وضعیت انرژی خالص در کشت‌بوم‌های گندم و جو نشان داد بیلان مصرف انرژی تنها در مزارع جو آبی شهرستان‌های اسلامشهر و شهریار و و دیمزارهای جو شهرستان دماوند منفی است. به‌عبارتی، انرژی ورودی محصول جو در این شهرستان‌ها بیش از انرژی خروجی بوده است. از سوی دیگر، بیشترین انرژی خالص در اراضی گندم و جو شهرستان ورامین به‌ترتیب ۹۱۷۱۱/۲ و ۲۵۱۹۱/۹ مگاژول در هکتار بوده است. در مزارع گندم آبی شهرستان اسلامشهر و جو دیم شهرستان دماوند به ازای تولید هر کیلوگرم محصول، انرژی بیشتری نسبت به سایر شهرستان ها استفاده شده است.

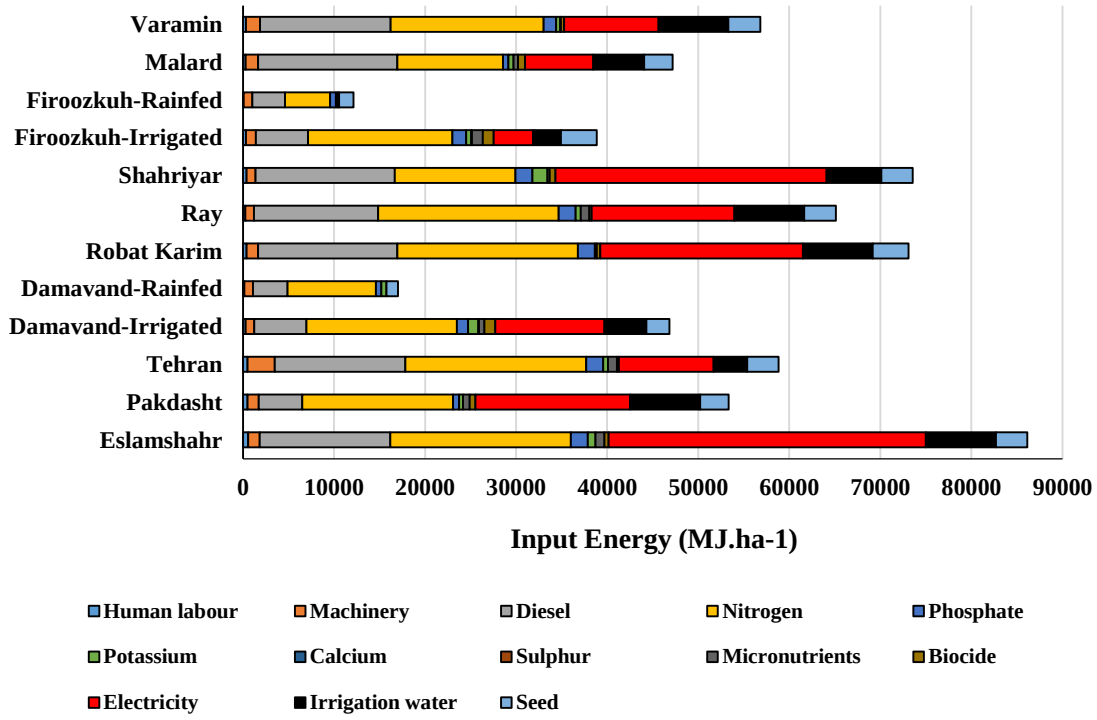
بررسی اشکال مختلف انرژی در مزارع گندم و جو نشان داد در هر دو محصول مزارع شهرستان اسلامشهر بیشترین انرژی مستقیم و مزارع شهرستان تهران بیشترین انرژی غیر مستقیم را به خود اختصاص داد. بیشترین انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر به‌ترتیب در مزارع گندم شهرستان رباط‌کریم (۱۲۰۰۶/۸ مگاژول در هکتار) و شهرستان اسلامشهر (۷۴۴۲۶ مگاژول در هکتار) بود. در مجموع کمترین انرژی مستقیم، غیر مستقیم و تجدیدناپذیر در مزارع دیم گندم و جو شهرستان فیروزکوه مشاهده شد. همچنین کمترین انرژی تجدیدپذیر استان متعلق به مزارع دیم شهرستان دماوند بود. به‌طور کلی، درکشت‌بوم‌های گندم و جو استان تهران سهم انرژی‌های مستقیم (از جمله انرژی مصرفی نیروی انسانی، سوخت، آب مصرفی و الکتریسته)، بیش از انرژی غیر مستقیم (شامل میزان بذر، کود دامی، مکانیزاسیون، کنترل‌کننده‌های زیستی و کودهای شیمیایی) می‌باشد (شکل ۱ و ۲).

جدول ۳. مقادیر ورودی و خروجی در بوم‌نظام‌های گندم و جو شهرستان‌های استان تهران.

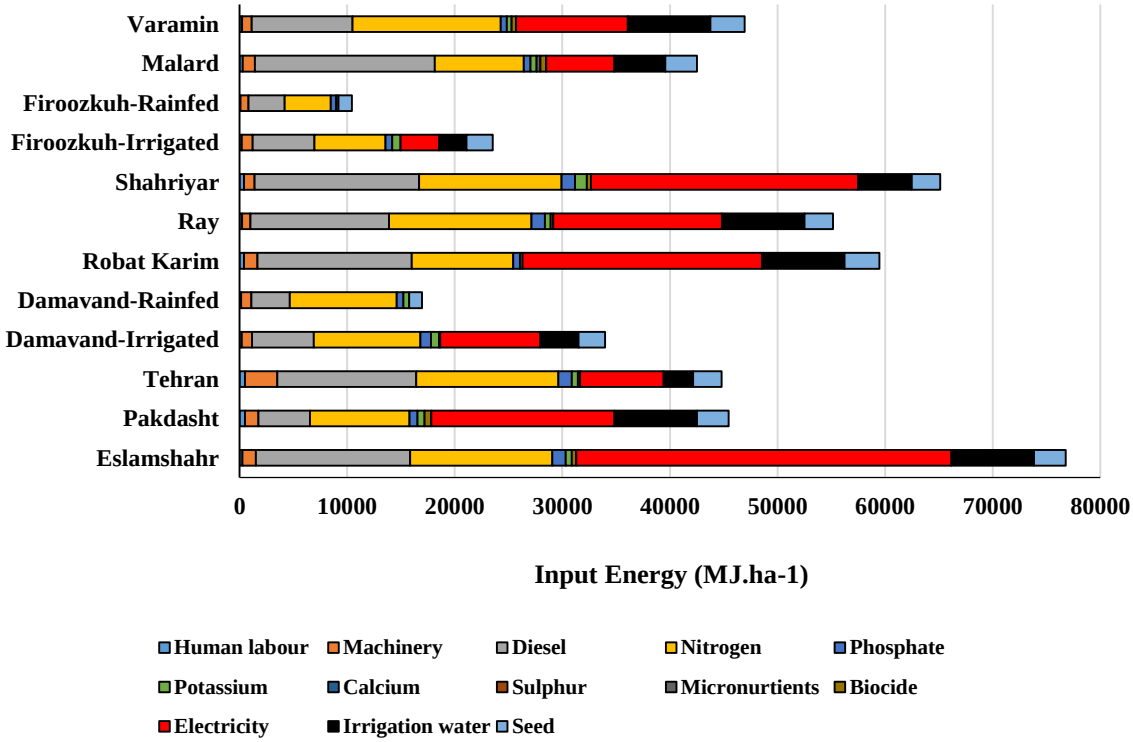
Inputs	Unit	Product	Eslamshahr	Pakdasht	Tehran	Damavand-Irrigated	Damavand-Rainfed	Robat Karim	Ray	Shahriyar	Firoozkuh-Irrigated	Firoozkuh-Rainfed	Malard	Varamin	Mean±SE
Human labour	hr	Wheat	300	250	250	144	76	200	136	200	170	48	150	164	174±72.2
		Barley	128	250	250	107	73	200	120	200	105	40	145	120	144.8±66.8
Machinery	hr	Wheat	20	20	48	15	15	20	15	16	17	15	22	25	20.66±9.2
		Barley	20	20	48	15	15	20	12	16	16	12	18	14	18.8±9.6
Diesel	L	Wheat	300	100	300	120	80	320	285	320	120	75	320	300	220±108.1
		Barley	300	100	270	120	75	300	270	320	120	70	350	196	207.6±105
Nitrogen	kg	Wheat	300	250	300	250	146.3	300	300	200	240	75	175	254.1	232.5±71.3
		Barley	200	140	200	150	150	143	200	200	100	65	125	208.6	156.8±46.1
Phosphate (P_2O_5)	kg	Wheat	150	54	150	100	50	150	150	150	120	50	50	109.6	107±44.7
		Barley	100	60	100	77.8	50	50	100	100	50	40	50	45.4	68.6±24.9
Potassium (K_2O)	kg	Wheat	75	40	50	100	50	20	50	150	50	20	50	16	55.9±37.8
		Barley	50	60	50	66.7	50	20	50	100	70	20	50	16	50.2±23.8
Calcium	kg	Wheat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Barley	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sulphur	kg	Wheat	0	0	0	50	0	0	0	0	70	0	0	0	10±23.7
		Barley	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Herbicides	L	Wheat	2	2	2	4	0	1.5	2	2	4	1.5	5	1.5	2.3±1.3
		Barley	1	2	2	1.6	0	0	2	2	0	0	3	1.5	1.2±1
Micronutrients	kg	Wheat	8	6	8	5	0	0	8	2	12	0	4	0.5	4.4±4
		Barley	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0.25±0.9
Insecticides	L	Wheat	1	2	0	3	0	1	0	2	3	0	1	1	1.2±1.1
		Barley	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0.5±0.7
Fungicides	L	Wheat	0.6	0	0.5	0.5	0	0	0.5	0	1.5	0	1	0	0.4±0.5
		Barley	1	0	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0	0.5	0.5	0.25±0.3

ادامه جدول ۳. مقادیر ورودی و خروجی در بوم‌نظام‌های گندم و جو شهرستان‌های استان تهران.

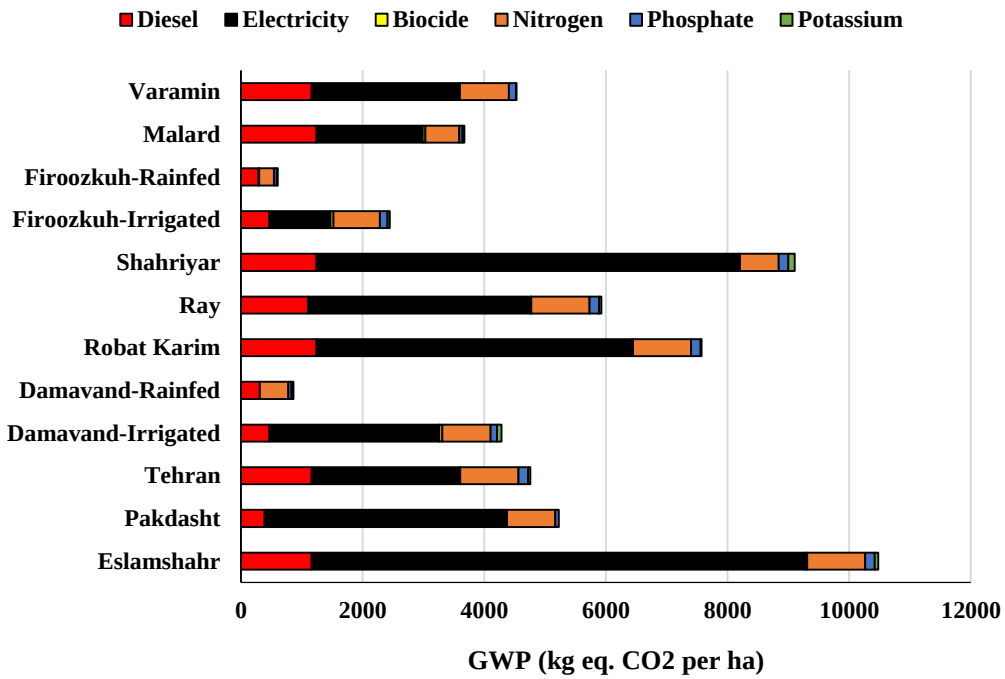
Inputs	Unit	Product	Eslamshahr	Pakdasht	Tehran	Damavand-Irrigated	Damavand-Rainfed	Robat Karim	Ray	Shahriyar	Firoozkuh-Irrigated	Firoozkuh-Rainfed	Malard	Varamin	Mean±SE
Electricity	KWh	Wheat	2905	1416.2	867.7	1000.7	0	1855	1306.4	2481	359.9	0	624.1	864.5	1140±913.1
		Barley	2905	1416.2	646	775.2	0	1855	1306.4	2066.4	298.1	0	528.5	864	1055.1±886.1
Irrigation water	m^3	Wheat	7540	7540	3603	4508	0	7539	7539	5889	3018	0	5492	7539	5017.2±2850.7
		Barley	7540	7540	2682	3492	0	7539	7539	4905	2500	0	4650	7539	4660.5±2937
Seed	kg	Wheat	220	200	220	160	80.4	250	220	220	250	100	200	223.5	195.3±54.6
		Barley	200	200	180	166.7	80	220	180	180	165	85	200	217.1	172.8±45.7
Outputs															
Grain	kg	Wheat	5000	4834	5205	4333.2	896.3	5521	5755	5209	4183	1000	5539	6014	4457.4±1724
Straw	kg	Wheat	2500	3500	4200	4000	1078	4416	4604	4167	4000	1050	4431	4811	3563.1±1310.8
Grain	kg	Barley	4000	3641	4000	4000	800	4105	4000	4258	2000	796	3710	4908	3351.5±1367.6
Straw	kg	Barley	1750	2400	2500	3200	960	3284	3800	3406	2200	875	3600	3925	2658.3±1054.2



شکل ۱. سهم ورودی‌های مختلف در کل انرژی ورودی در بوم‌نظام گندم در شهرستان‌های استان تهران.



شکل ۲. سهم ورودی‌های مختلف در کل انرژی ورودی در بوم‌نظام جو در شهرستان‌های استان تهران.



شکل ۳. سهم ورودی‌های مختلف در پتانسیل گرمایش جهانی در بوم‌نظام‌های گندم در شهرستان‌های استان تهران.

جدول ٤. شاخص‌های انرژی در بوم‌نظام‌های گندم و جو شهرستان‌های استان تهران.

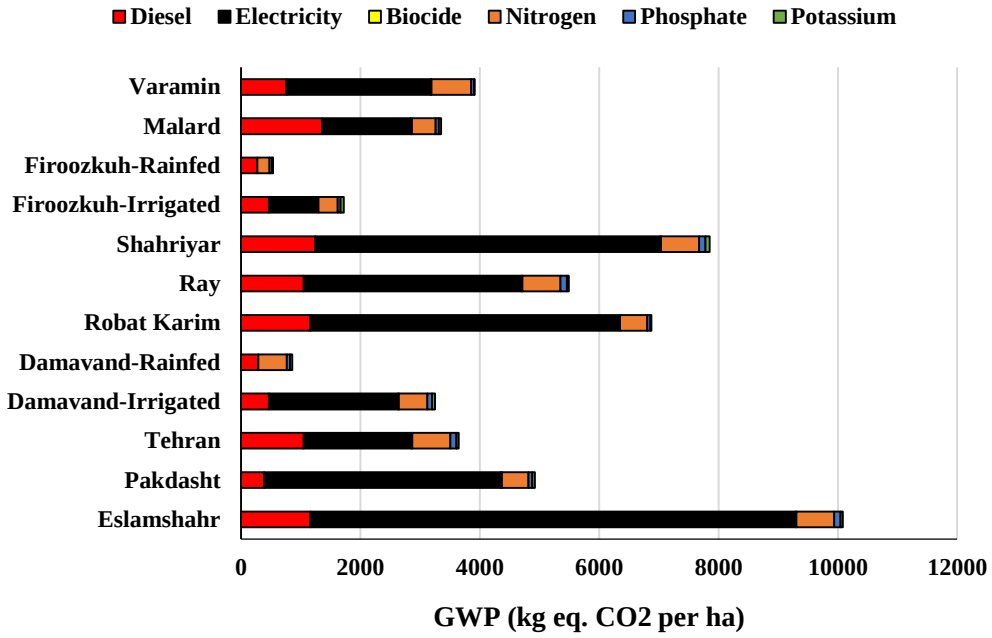
	Product	Input Energy ($MJ.ha^{-1}$)	Output Energy ($MJ.ha^{-1}$)	Net Energy ($MJ.ha^{-1}$)	Energy use Efficiency	Specific Energy ($MJ.kg^{-1}$)	Energy productivity ($kg.MJ^{-1}$)
Eslamshahr	Wheat	86159	104750	18591.2	1.21	17.23	0.06
	Barley	76793.9	58800	-17993.9	0.8	19.2	0.1
Pakdasht	Wheat	53350	114809.8	61459.8	2.15	11.03	0.09
	Barley	45452.2	53522.7	8070.5	1.2	12.5	0.1
Tehran	Wheat	58835	129013.5	70178.9	2.19	11.3	0.09
	Barley	44796.6	58800	14003.4	1.3	11.2	0.1
Damavand Irrigated–	Wheat	46827	113698	68871	2.42	10.8	0.09
	Barley	33966.2	58800	24833.8	1.7	8.5	0.1
Damavand–Rainfed	Wheat	17032	26650.6	9619.1	1.56	19	0.05
	Barley	16945.1	11760	-5185.1	0.7	21.2	0
Robat Karim	Wheat	73104	136358.7	63254.8	1.86	13.24	0.07
	Barley	59472.4	60343.5	871.1	1	14.5	0.1
Ray	Wheat	65104	142148.5	77044.7	2.18	11.31	0.09
	Barley	55163.3	58800	3636.7	1.1	13.8	0.1
Shahriyar	Wheat	73558	128659.8	55101.7	1.75	14.12	0.07
	Barley	65122.6	62592.6	-2530	1	15.3	0.1
Firoozkuh–Irrigated	Wheat	38859	111490.1	72631.1	2.86	9.29	0.1
	Barley	23513.8	29400	5886.2	1.3	11.8	0.1
Firoozkuh - Rainfed	Wheat	12123	27825	15702.4	2.29	12.12	0.08
	Barley	10446	11701.2	1255.2	1.1	13.1	0.1
Malard	Wheat	47203	136810.8	89607.4	2.9	8.5	0.11
	Barley	42516.3	54537	12020.7	1.3	11.5	0.1
Varamin	Wheat	56832	148543.3	91711.2	2.61	9.45	0.1
	Barley	46955.7	72147.6	25191.9	1.5	9.6	0.1
Mean±SE	Wheat	52415.5±22061.7	110063.2±40908.7	57814.4±28137.9	2.16±0.5	12.3±3.2	0.08±0.01
	Barley	43428.7±19710.6	49267.05±20103.9	5838.4±12267.1	1.16±0.28	13.51±3.68	0.09±0.03

شکل ۳ و ۴، سهم ورودی‌های مختلف در پتانسیل گرمایش جهانی در بوم‌نظام‌های گندم و جو استان تهران را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، الکتریسیته و نیتروژن مصرفی بیشترین سهم را در انتشار گازهای گلخانه‌ای استان دارند. نتایج حاصل از این تحقیق با مطالعات سایر محققان مطابقت دارد. در این مطالعات بیشترین میزان سهم تولید گازهای گلخانه‌ای به نهاده‌های سوخت دیزل، کود نیتروژن و الکتریسیته تعلق داشت (Mondani *et al.*, 2017; Taheri Rad *et al.*, 2015; Khoshnevisan *et al*., 2013; Javadi & Esfahani, 2023; Mohamadzadeh *et al.*, 2017; Rajabi *et al.*, 2012).

جدول ۵. اشکال انرژی در بوم‌نظام‌های گندم و جو شهرستان‌های استان تهران.

	Product	Direct Energy ($MJ.ha^{-1}$)	Indirect Energy ($MJ.ha^{-1}$)	Renewable Energy ($MJ.ha^{-1}$)	Non-renewable Energy ($MJ.ha^{-1}$)
Eslamshahr	Wheat	57478.5	28680.3	11732.8	74426
	Barley	57141.4	19652.5	10881.7	65912.2
Pakdasht	Wheat	29955.2	23394.8	11320.8	42029.2
	Barley	29955.2	15497	11120.8	34331.4
Tehran	Wheat	28918	29916.6	7619.1	51215.6
	Barley	23884	20912.6	5871.6	38925
Damavand Irrigated-	Wheat	22625.1	24202	7392.4	39434.7
	Barley	18810	15156.1	6222.1	27744.1
Damavand- Rainfed	Wheat	3973	13058.6	1411.2	15620.3
	Barley	3728.1	13217	1319.1	15626
Robat Karim	Wheat	45637.4	27466.5	12006.8	61097.1
	Barley	44681.4	14791	11315.8	48156.6
Ray	Wheat	37256.3	27847.5	11410.3	53693.5
	Barley	36507.9	18655.4	10571	44592.4
Shahriyar	Wheat	51466.4	22091.7	9852.8	63705.3
	Barley	45487.4	19635.2	8041.1	57081.5
Firoozkuh- Irrigated	Wheat	13466.3	25392.7	7336.6	31522.4
	Barley	12068.6	11445.2	5181.3	18332.5
Firoozkuh - Rainfed	Wheat	3679.1	8443.5	1664.1	10458.5
	Barley	3424.4	7021.6	1327.9	9118.1
Malard	Wheat	28681	18522.4	9035.8	38167.5
	Barley	28099.2	14417.1	7967.2	34549.1
Varamin	Wheat	32724.7	24107.4	11520.2	45312
	Barley	27661.8	19293.9	11116.4	35839.3
Mean±SE	Wheat	29655.1±17109	22760.3±6487.8	8525.2±3701.9	43890.2±18826.5
	Barley	27620.8±16668.4	15807.9±4069.6	7578±3668.2	35850.7±16765.8

بررسی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد مناطق غربی استان تهران از جمله شهرستان‌های اسلامشهر، شهریار و رباط‌کریم بیشترین سهم از انتشار گازهای گلخانه‌ای را داشته است. از سوی دیگر، مناطق شرقی استان از جمله مزارع فاریاب و دیمزارهای واقع در شهرستان فیروزکوه و دماوند کمترین سهم را از انتشار گازهای گلخانه‌ای داشتند.



شکل ٤. سهم ورودی‌های مختلف در پتانسیل گرمایش جهانی در بوم‌نظام جو در شهرستان‌های استان تهران.

۴. نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج نشان داد که کشت‌بوم‌های گندم و جو در شهرستان‌های اسلامشهر و رباط‌کریم واقع در غرب استان، بیشترین مصرف نهاده‌های ورودی را به خود اختصاص دادند. پس از آن، در شهرستان‌های واقع در جنوب استان از جمله شهرستان‌های ری، پاکدشت و ورامین نسبت به مناطق شمالی و شرقی استان نهاده‌های ورودی بیشتری برای این محصولات صرف شده است. از سوی دیگر، بیشترین خروجی عملکرد متعلق به مزارع گندم و جو شهرستان ورامین و ری می‌باشد. اما مقایسه میان بوم‌نظام گندم و جو استان تهران نشان داد مجموع انرژی‌های ورودی در مزارع گندم بیش از جو است؛ به‌عبارت دیگر، برای تولید گندم به میزان نهاده‌های بیشتری نسبت به جو نیاز است. اما نسبت انرژی خروجی به ورودی یا همان کارآیی مصرف انرژی در مزارع گندم استان بیش از مزارع جو بود. نتایج این مطالعه نشان داد الکتریسیته و نیتروژن مصرفی بیشترین سهم از انرژی‌های ورودی و انتشار گازهای گلخانه‌ای استان را دارند. افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را می‌توان از طریق مدیریت مصرف منابع و همچنین بهبود حاصلخیزی خاک محقق کرد. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت میزان انرژی‌های ورودی در کشت‌بوم‌های گندم و جو شهرستان‌های استان تهران به دلیل تنوع آب و هوایی، متفاوت بوده؛ به همین دلیل، مدیریت منابع تولید نیازمند شناخت کامل بوم‌نظام‌های زراعی می‌باشد.

۵. منابع

Acaroglu, M. (1998). Energy from biomass, and applications. University of Selcuk, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Turkey. 43 pp.

Ahmadi, K., Ebadzadeh, H.R., Hatami, F., Mohammadnia Afrozi, S., Esfandiaripour, A., & Abbas Taghani, R. (2021). Agricultural statistics for 2019-2020. Ministry of Jahad-e- Agriculture, Planning and Economic Deputy, Information and Communication Technology Center, *1*, 20.

Alipour, A., Afshar, R.K., Nejad, M.K., Behbahani, A.G., & Mohammadi, V. (2014). Evaluation of energy flow in irrigated wheat agro ecosystems. A case study: Shahr-e-Rey City. *Journal of Agriculture Science and Sustainable Production*, *23*, 59-69. (In Persian).

Bayat, F., Sarmadian, F., Jahansuz, M.R., & Sahbani, M. (2023). Estimation of irrigated winter wheat and barley production potential by FAO method. *Journal of Climate Research*, *1402*(53), 21-34. (In Persian).

De, D., Singh, R., & Chandra, H. (2001). Technological impact on energy consumption in rainfed soybean cultivation in Madhya Pradesh. *Applied Energy*, *70*, 193-213.

Erdal, G., Esengün, K., Erdal, H., & Gündüz, O. (2007). Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*, *32*(1), 35-41.

Hatirli, S.A., Ozkan, B., & Fert, C. (2006). Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. *Renewable Energy*, *31*, 427-438.

Hadi, M., Jalili, M., & Heris, A. (2017). Assessing the wheat yield under irrigated and rainfed farming and evaluating the possibility of supplemental irrigation of rainfed by water stored in deficit irrigated farming. *3*(11), 403-411. (In Persian).

FAO. (2021). World food and agriculture - statistical yearbook 2021. Rome.https://doi.org/10.4060/cb4477en.

Heidari Soltanabadi, M. (2023). Determination of energy production function in irrigated wheat of Isfahan province. *Engineering and Energy Management*, *11*(1), 116-127. (In Persian).

Heng, L.K., Hsiao, T., Evett, S., Howell, T., & Steduto, P. (2009). Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. *Agronomy Journal*, *101*(3), 488-498.

Houshyar, E., Zareifard, H.R., Grundmann, P., & Smith, P. (2015). Determining efficiency of energy input for silage corn production: An econometric approach. *Energy*, *93*, 2166-2174.

IPCC. (1995). Climate change, the science of climate change. In: Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A., & Maskell, K. (Eds). Intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press.

Javadi, H., & Esfahani, S.M.J. (2023). Energy flow and greenhouse gases emission of crop production systems in South Khorasan province. (In Persian).

Kazemi, H., Alizadeh, P., & Nehbandani, A. (2016). Assessing energy flow in rainfed and irrigated wheat fields of Shahrekourd township under two tillage systems. *Journal of Agroecology*, *8*(2), 281-295. (In Persian).

Khodarezaie, E., Khoshbakht, K., Veisi, H., & Nazari, M.R. (2022). Study of the energy flow and global warming potential (GWP) of alfalfa and maize silage production with different water supply sources (A case study: Qazvin plain). *Environmental Sciences*. (In Persian).

Kitani, O. (1999). CIGR handbook of agricultural engineering. American Society of Agricultural Engineers, United States of America.

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.

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.

Khodaei, J.A., Taki, M., & Matoorian, H. (2022). Evaluating energy productivity, greenhouse gas emission, global warming potential and sustainability index of wheat and rapeseed agroecosystems in Khorramshahr. 309-324. (In Persian).

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.

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

Mandal, K., Saha, K., Ghosh, P., Hati, K., & Bandyopadhyay, K. (2002). Bioenergy and economic analysis of soybeanbased crop production systems in central India. *Biomass and Bioenergy*, *23*, 337-345.

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*, 875-895. (In Persian).

Mohammadzadeh, A., Mahdavi, D.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. (In Persian).

Mondani, F., Aleagha, S., Khoramivafa, M., & Ghobadi, R. (2017). Evaluation of greenhouse gases emission based on energy consumption in wheat Agroecosystems. *Energy Reports*, *3*, 37-45.

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.

Nasrabadi, T., Arab, E., & Pourasghar, F. (2015). Investigating the proportion of wheat planted area in Iran with wheat yield and water demand by focusing on virtual water approach. *Journal of Environmental Studies*, *41*(3), 529-543. (In Persian).

Omid-Mehr, Z. (2016). Evaluating energy flow and greenhouse gas emissions in rainfed wheat production. *Cereal Research*, *6*(3), 353-366. (In Persian).

Platis, D.P., Anagnostopoulos, C.D., Tsaboula, A.D., Menexes, G.C., Kalburtji, K.L., & Mamolos, A.P. (2019). Energy analysis, and carbon and water footprint for environmentally friendly farming practices in agroecosystems and agroforestry. *Sustainability*, *11*(6), 1664.

Rajabi, M.H., Zeinali, E., & Soltani, E. (2012). Evaluation of energy use in wheat production in Gorgan. *Journal of Plant Production Research*, *19*(3), 143-171. (In Persian).

TaheriRad, A.R., Nikkhah, A., Khojastehpour, M., & Nourozieh, S. (2015). Assessing GHG emissions, and energy and economic analysis of cotton production in the Golestan province. 428-445. (In Persian).

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

Tian, X., Engel, B.A., Qian, H., Hua, E., Sun, S., & Wang, Y. (2021). Will reaching the maximum achievable yield potential meet future global food demand? *Journal of Cleaner Production*, *294*, 126285.

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. (In Persian).

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.

Unicef. (2022). The State of Food Security and Nutrition in the World (SOFI) Report-2022.

Yousefi, M., Mahdavi Damghani, A., & 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. (In Persian).

Yilmaz, I., Akcaoz, H., & Ozkan, B. (2005). An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. *Renewable Energy*, *30*(2), 145-155.