نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، ص ۳۸۲-۳۶۵

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.2, Summer 2019, p. 365-382

بررسی و مطالعه جریان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظام‌های تولید محصولات زراعی و باغی (مطالعه موردی: دشت شریف‌آباد)

جواد وفابخش[1]* و آرش محمدزاده[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۱۲

وفابخش،ج.، و محمدزاده، آ. ۱۳۹۸. بررسی و مطالعه جریان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظام‌های تولید محصولات زراعی و باغی (مطالعه موردی: دشت شریف‌آباد). بوم شناسی کشاورزی، ۱۱(۲): ۳۸۲-۳۶۵.

چکیده

استفاده بهینه از منابع و نهاده‌ها یکی از اولین و اساسی‌ترین اهداف کشاورزی پایدار به شمار می‌رود. در پژوهش حاضر، جریان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در محصولات زراعی (اعم از یکساله و چندساله) و باغی عمده دشت شریف‌آباد استان قم شامل گندم (*Triticum aestivum* L.)، جو (*Hordeum vulgare* L.)، کلزا (*Brassica napus* L.)، یونجه (*Medicago sativa* L.)، ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.)، پنبه (*Gossypium hirsutum* L.)، انار (*Punica granatum* L.)، انگور (*Vitis vinifera* L.) و پسته (*Pistacia vera* L.) مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور، اطلاعات مورد نیاز تحقیق با استفاده از پرسشنامه و مصاحبه حضوری با ۱۸۳ کشاورز منطقه در سال ۱۳۹۷ به دست آمد. شاخص‌های انرژی ورودی، انرژی خروجی، انرژی خالص، انرژی مخصوص، کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، اشکال مختلف انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی محاسبه گردید. نتایج نشان داد که در بین محصولات مورد مطالعه، بیشترین انرژی در فرایند تولید محصولات یونجه، انار و انگور به ترتیب با ۹۴۹۰۶، ۷۹۶۹۶ و ۷۸۹۸۴ مگاژول در هکتار بوده و بیشترین انرژی خروجی نیز به ترتیب متعلق به محصولات یونجه (۲۱۸۵۶۷ مگاژول در هکتار)، ذرت علوفه‌ای (۱۷۱۸۱۰ مگاژول در هکتار) و گندم (۱۲۳۴۳۰ مگاژول در هکتار) بود. بیشترین کارایی مصرف انرژی مربوط به محصولات جو (۲/۹)، ذرت علوفه‌ای (۲/۸) و گندم (۲/۶) بوده و کمترین آن به ترتیب برای محصولات پسته (۰/۳۴)، انار (۰/۴۸) و پنبه (۰/۹) محاسبه گردید. محصولات پسته (۷۲/۷ مگاژول بر کیلوگرم)، پنبه (۲۷/۱ مگاژول بر کیلوگرم) و کلزا (۲۰/۷ مگاژول بر کیلوگرم) به ازای تولید هر کیلوگرم محصول انرژی بیشتری نسبت به سایر محصولات مورد استفاده قرار دادند و کمترین آن مربوط به محصولات ذرت علوفه‌ای (۱/۵ مگاژول بر کیلوگرم)، انار (۵ مگاژول بر کیلوگرم) و یونجه (۶/۸ مگاژول بر کیلوگرم) بود. نتایج نشان داد که در نظام تولید محصولات مورد مطالعه، سهم انرژی مستقیم (شامل نیروی انسانی، سوخت دیزلی، آب آبیاری و الکتریسیته) بیش از انرژی غیرمستقیم (شامل بذر، کودهای شیمیایی، کود حیوانی، آفت‌کش‌ها و ماشین‌آلات) و سهم انرژی های تجدیدناپذیر (الکتریسیته، کودهای شیمیایی، سوخت دیزلی، آفت‌کش‌ها و ماشین‌آلات) بیش از انرژی تجدیدپذیر (نیروی انسانی، بذر، آب آبیاری و کود دامی) بود. کشت‌بوم‌های یونجه (معادل ۱۲۲۹۴کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار)، انار (معادل ۱۰۴۸۴کیلوگرم CO_2 در هکتار) و انگور (معادل ۱۰۰۸۵ کیلوگرم CO_2 در هکتار) به ترتیب بیشترین مقدار پتانسیل گرمایش جهانی را داشته و کمترین آن متعلق به محصولات 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. نتایج نشان داد که در بیشتر محصولات، الکتریسیته، گازوئیل و نیتروژن بیشترین سهم را در انرژی ورودی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ایفا می‌کنند. بنابراین، مدیریت بهینه آبیاری برای افزایش کارایی مصرف آب و استفاده از عملیات زراعی مناسب مانند کشت کود سبز یا قرار دادن محصولات لگوم برای افزایش حاصلخیزی خاک به جای استفاده از کودهای شیمیایی می‌تواند به افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کند.

واژه‌های کلیدی: انرژی مستقیم، تجزیه و تحلیل بوم‌نظام، شاخص‌های انرژی، پتانسیل گرمایش جهانی

مقدمه

امروزه تامین امنیت غذایی برای جمعیت فزاینده جهان با حفظ منابع پایه زمین و آب و با حداقل اثرات محیطزیستی به یکی از چالش‌های اساسی در کشاورزی پایدار تبدیل شده است (Mohammadzadeh et al., 2017). یکی از مهمترین موضوعاتی که در این رابطه مورد توجه محققین قرار گرفته است، مدیریت بهینه مصرف انرژی در بوم‌نظام‌های کشاورزی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های کشاورزی است. به طور کلی، مباحث مربوط به موازنه انرژی از زمانی که بحران جهانی آن بشر را از محدود بودن منابع انرژی فسیلی آگاه ساخت، آغاز گردید و در نتیجه آن تلاش‌ها برای برنامه‌ریزی دقیق مصرف و برآورد مصرف آن در بخش‌های مختلف بیشتر شد (Platis et al., 2019). طبق گزارش فائو، مصرف انرژی در بوم‌نظام‌های زراعی منجر به افزایش بهره‌وری تولید و رشد اقتصادی مناطق روستایی شده است اما توسعه کشاورزی صنعتی به ویژه نظام‌های کشاورزی فشرده که وابستگی زیادی به کودها، سموم شیمیایی و سایر نهاده‌های پرانرژی مانند سوخت‌های فسیلی، الکتریسیته، و ماشین‌آلات دارند، تولید گازهای گلخانه‌ای را افزایش داده است (Li et al., 2016). در مقیاس جهانی، حدود پنج درصد از کل انرژی در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد و حدود ۱۱ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز مربوط به این بخش می‌باشد (Smith et al., 2014) که عمدتاً ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، سموم و کودهای کشاورزی، الکتریسیته و عملیات خاک‌ورزی می‌باشد (Camargo et al., 2013). همچنین، الگوی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در بوم‌نظام‌های کشاورزی می‌تواند تحت تأثیر عواملی نظیر نوع نظام زراعی، الگوی کشت، سطح فناوری، جمعیت شاغل در کشاورزی، دانش کشاورزان، نوع و مقدار مصرف کودهای شیمیایی و میزان عملکرد محصول قرار گیرد (Mohammadzadeh et al., 2017). یکی از رویکردهای مناسب در جهت افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش اثر ردپای محیط زیستی انرژی‌های ورودی، ارزیابی و آگاهی از جریان انرژی در نظام‌های تولید محصولات کشاورزی می‌باشد. این که چه عواملی، چگونه و به چه میزان بیشترین تاثیر را بر کارایی و بهره‌وری انرژی دارند و در کنار بررسی امکان جایگزینی آن ها با سایر عوامل، با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و فنی با مدیریت مناسب عملیات زراعی الگوی مصرف انرژی در مسیر تولیدات محصول به صورت بهینه صورت بگیرد (Rajaby et al., 2012). محققین مختلف، شاخص‌های انرژی (Beheshti Tabar et al., 2010; Mousavi-Avval et al., 2011a; Azizi & Heidari, 2013; Sahabi et al., 2013; Mondani et al., 2015; Sahabi et al., 2016) و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (Tzilivakis et al., 2005; Khoshnevisan et al., 2013; Yousefi et al., 2016) در نظام‌های تولید بسیاری از محصولات زراعی و باغبانی را در مناطق مختلف مورد بررسی قرار داده‌اند. بررسی این مطالعات نشان می‌دهد که شاخص‌های انرژی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در فرایند تولید محصولات کشاورزی در مناطق مختلف بسیار متفاوت است اما در بیشتر این مطالعات، الکتریسیته مورد نیاز موتور پمپ‌های آب، کودهای شیمیایی به خصوص کود نیتروژن و سوخت‌های فسیلی به ویژه گازوئیل بیشترین سهم را در انرژی ورودی نظام تولید محصولات زراعی و باغی داشته و منشاء اصلی انتشار گازهای هستند. همچنین، شاخص‌های انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت تاثیر عوامل مختلفی نظیر نوع نظام زراعی (پرنهاده یا کم‌نهاده، سنتی یا نوین، ارگانیک یا مرسوم و غیره)، نوع و میزان مکانیزه بوده عملیات تولید محصول، میزان آبیاری محصول و نوع منبع تأمین کننده نیروی پمپاژ آب، اندازه مزارع، پتانسیل بوم‌شناختی منطقه، دانش کشاورزان و غیره قرار می‌گیرد. در بیشتر مطالعات انجام گرفته، تنها یک یا چند محصول مورد مطالعه قرار گرفته است، بنابراین این امکان وجود ندارد که محصولات یک منطقه از نظر شاخص‌های کارایی مصرف انرژی با یکدیگر مورد مقایسه قرار بگیرند. بدین منظور در مطالعه حاضر شاخص‌های انرژی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای محصولات زراعی و باغی عمده دشت شریف‌آباد استان قم مورد مطالعه قرار گرفت.

۱- استادیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
۲- دانش‌آموخته دکتری گروه اگرواکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

Doi:10.22067/jag.v11i2.81742
(*- نویسنده مسئول: Email: javad@yahoo.com)

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و جمع‌آوری اطلاعات

طبق تقسیم‌بندی انجام گرفته توسط وزارت نیرو، دشت شریف‌آباد مساحتی حدود ۴۴۱۰۰ هکتار دارد که ۱۵۳۰۰ هکتار آن را کوه و ۲۸۸۰۰ هکتار آن را دشت در بر می‌گیرد. دشت شریف آباد از شمال و شرق به دشت مسیله، از جنوب به دشت قم و از غرب به دشت ساوه محدود می‌گردد. به طور میانگین، میزان بارش در کوه‌های محدوده مطالعاتی به حدود ۱۳۳میلی‌متر و در دشت به حدود ۱۲۵ میلیمتر می رسد. همچنین، میانگین دما در دشت شریف آباد حدود ۱۸/۵ درجه سانتی گراد می‌باشد (Ministry of Energy, 2013) . سطح محصولات زراعی و باغی آبی در دشت شریف آباد حدود ۹۸۰۰ هکتار است که محصولات جو، یونجه و پسته بیشترین سطح را به خود اختصاص می‌دهند. اطلاعات مورد نیاز تحقیق شامل عملیات زراعی (نوع و دفعات عملیات در آماده‌سازی زمین، آبیاری، مبارزه با آفات و برداشت)، نوع و میزان نهاده‌های مصرفی (شامل کودهای شیمیایی و آلی، سموم شیمیایی، بذر، سوخت مصرفی) و میزان عملکرد محصول (عملکرد دانه و کاه برای گندم (*Triticum aestivum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.)، عملکرد دانه برای کلزا (*Brassica napus* L.)، عملکرد علوفه برای یونجه (*Medicago sativa* L.) و ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.)، بذر و الیاف برای پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) و میوه برای درختان شامل انار (*Punica granatum* L.)، انگور (*Vitis vinifera* L.) و پسته (*Pistacia vera* L.)) با استفاده از پرسشنامه و مصاحبه حضوری با ۱۸۳ کشاورز منطقه مورد مطالعه به دست آمد. داده‌های مربوط به عملکرد و مصرف نهاده‌ها در گیاهان چندساله یونجه و درختان میوه به صورت میانگین عمر اقتصادی محصول در زمین محاسبه گردید. تعداد پرسشنامه‌ها به روش نمونه‌گیری تصادفی ساده مطابق معادله (۱) محاسبه گردید (Ghasemi Mobtaker et al., 2010b):

$$n = \frac{N(s \times t)^2}{(N-1)d^2 + (s \times t)^2} \qquad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، N: اندازه جامعه آماری یا تعداد کشاورزان، t: ضریب اطمینان قابل قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر از جدول t استیودنت به دست می‌آید، s^2: برآورد واریانس متغیر مورد مطالعه در جامعه، d: دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله اطمینان) و n: حجم نمونه است.

محاسبه شاخص‌های مربوط به انرژی

برای محاسبه شاخص‌های انرژی در محصولات مورد مطالعه، انرژی نهاده‌های مصرفی شامل بذر، کود، آفت‌کش‌ها، ماشین‌آلات، آب، نیروی انسانی و غیره که طی عملیات زراعی مورد استفاده قرار می‌گیرند به همراه عملکرد محصول مطابق معادل انرژی آن‌ها که در جدول ۱ نشان داده شده است، محاسبه گردید. به منظور قابل مقایسه شدن شاخص‌های مورد بررسی، تمامی ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم تولید محصولات چندساله به صورت میانگین سالانه بیان شده است.

شاخص‌های انرژی طبق فرمول‌های ۲ تا ۴ محاسبه گردید (Pimentel, 1980; Herrhz et al., 1995; Hatirli et al., 2006):

$$\text{کارایی مصرف انرژی} = \frac{\text{انرژی خروجی (مگاژول در هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)}} \qquad \text{معادله (۲)}$$

$$\text{بهره‌وری انرژی} = \frac{\text{عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)}} \qquad \text{معادله (۳)}$$

$$\text{انرژی خالص (مگاژول در هکتار)} = \text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)} - \text{انرژی خروجی} \qquad \text{معادله (۴)}$$

$$\text{انرژی مخصوص} = \frac{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)}}{\text{عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)}} \qquad \text{معادله (۵)}$$

انرژی‌های ورودی در سیستم‌های زراعی را می‌توان به دو شکل مستقیم و غیرمستقیم یا تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم‌بندی کرد. بر اساس این تقسیم‌بندی‌ها، انرژی مستقیم شامل نیروی انسانی، سوخت دیزلی، آب آبیاری و الکتریسیته و انرژی غیرمستقیم شامل بذر، کودهای شیمیایی، کود حیوانی، آفت‌کش‌ها و ماشین‌آلات می‌باشد (Yilmaz et al., 2005). همچنین، نیروی انسانی، بذر، آب آبیاری و کود دامی به عنوان انرژی تجدیدپذیر و الکتریسیته، کودهای شیمیایی، سوخت دیزلی، آفت‌کش‌ها و ماشین‌آلات جزو انرژی تجدیدناپذیر به شمار می‌روند (Yilmaz et al., 2005). در مطالعه حاضر، انرژی ورودی برای محصولات مورد مطالعه طبق دسته‌بندی‌های مذکور محاسبه گردید.

محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌واسطه نهاده‌های شیمیایی مطابق ضرایب انتشار CO_2، N_2O و CH_4 در هر یک از نهاده‌ها که در جدول ۲ نشان داده شده است، محاسبه گردید. سپس، پتانسیل گرمایش جهانی در یک هکتار بر اساس میزان انتشار هر یک از گازهای گلخانه‌ای و ضریب اثر آن‌ها برای یک دوره ۱۰۰ ساله که برای CO_2 برابر ۱، برای N_2O برابر ۳۱۰ و برای CH_4 برابر ۲۱ بود محاسبه گردید (IPCC, 1995). در نهایت، پتانسیل گرمایش جهانی گازهای گلخانه‌ای انتشار یافته برای یک هکتار محصولات مورد مطالعه بر اساس معادل CO_2 بیان گردید.

برای محاسبه شاخص‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۶ استفاده گردید.

جدول ۱- معادل انرژی ورودی و خروجی در نظام‌های تولید محصولات مورد مطالعه

Table 1- Energy equivalents of input and output in studied crop production systems

الف) ورودی a) Inputs	واحد Unit	انرژی معادل Energy equivalents (MJ.unit^{-1})	منبع Reference
نیروی انسانی Human labour	hr	1.96	De et al. (2001)
ماشین‌آلات Machinery	hr	62.7	Mandal et al. (2002)
گازوئیل Diesel	l	47.8	Kitani (1999)
بنزین Gasoline	l	46.3	Kitani (1999)
نیتروژن Nitrogen	kg	66.14	Hatirli et al. (2006)
فسفر (P_2O_5) Phosphorus (P_2O_5)	kg	12.44	Hatirli et al. (2006)
پتاسیم (K_2O) Potassium (K_2O)	kg	11.15	Hatirli et al. (2006)
سولفور Sulphur	kg	1.12	Nagy (1999)
کلسیم Calcium	kg	8.8	Pimentel (1980)
علفکش‌ها Herbicides	l	85	Kitani (1999)
حشره‌کش‌ها Insecticides	l	229	Kitani (1999)
قارچ‌کش‌ها Fungicides	l	115	Kitani (1999)
الکتریسیته Electricity	KWh	12	Kitani (1999)
آب آبیاری Irrigation water	m^3	1.02	Acaroglu (1998)
بذر یونجه Alfalfa seed	kg	28.1	Tsatsarelis & Koundouras (1994)
بذر ذرت علوفه‌ای Silage corn seed	kg	15.7	Canakci et al. (2005)
بذر گندم Wheat seed	kg	15.7	Mohammadzadeh et al. (2017)
بذر جو Barley seed	kg	14.7	Mohammadzadeh et al. (2017)
بذر کلزا Canola seed	kg	3.6	Mohammadzadeh et al. (2017)
بذر پنبه Cotton seed	kg	18	Pishgar-Komleh et al. (2012b)

ادامه جدول ۱- معادل انرژی ورودی و خروجی در نظام‌های تولید محصولات مورد مطالعه

Continue of Table 1- Energy equivalents of input and output in studied crop production systems

ب) خروجی b) Outputs	واحد Unit	انرژی معادل Energy equivalents ($MJ.unit^{-1}$)	منبع Reference
یونجه Alfalfa	kg	15.8	Tsatsarelis & Koundouras (1994)
ذرت علوفه‌ای Silage corn	kg	4.14	Mohammadi et al. (2014)
دانه گندم Wheat grain	kg	14.7	Mohammadzadeh et al. (2017)
دانه جو Barley grain	kg	14.7	Mohammadzadeh et al. (2017)
کاه گندم و جو Straw of wheat and barley	kg	12.5	Mohammadzadeh et al. (2017)
دانه کلزا Canola grain	kg	27.6	Mohammadzadeh et al. (2017)
الیاف پنبه Lint	kg	15.5	Pishgar-Komleh et al. (2012b)
بذر پنبه Cotton seed	kg	18	Pishgar-Komleh et al. (2012b)
انگور Grape	kg	11.80	Karimi and Moghaddam (2018)
انار Pomegranate	kg	2.4	Houshyar et al. (2017)
پسته Pistachio	kg	24.88	Külekçi & Aksoy (2013)

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

Table 2- Gaseous emissions (g) per unit of input

ورودی Input	CH_4	N_2O	CO_2	منبع Reference
گازوئیل Diesel (L)	5.20	0.70	3560	Kramer et al. (1999)
بنزین Gasoline (L)	*	*	2320	Koga & Tajima (2011)
نیتروژن Nitrogen (kg)	3.70	0.03	3100	Snyder et al. (2009)
فسفر Phosphate (kg)	1.80	0.02	1000	Snyder et al. (2009)
پتاسیم Potassium (kg)	1.00	0.01	700	Snyder et al. (2009)
الکتریسیته Electricity (kwh)	0.02	8.82	61.20	Tzilivakis et al. (2005)
علفکش Herbicide (kg)	*	*	6300	Lal (2004)
حشره‌کش Insecticide (kg)	*	*	5100	Lal (2004)
قارچ‌کش Fungicide (kg)	*	*	3900	Lal (2004)
معادل CO_2 CO_2 equivalence factor	21	30	1	IPCC (1995)

نتایج و بحث

شاخص‌های انرژی

مقادیر ورودی، خروجی و انرژی معادل آن‌ها در بوم‌نظام‌های زراعی مورد مطالعه در جدول‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است.

مقایسه محصولات مورد مطالعه از نظر اجزای انرژی ورودی نشان می‌دهد که محصولات انار (۷۲۰ ساعت در هکتار معادل ۱۴۱۱ مگاژول در هکتار)، انگور (۶۴۰ ساعت در هکتار معادل ۱۲۵۴مگاژول در هکتار)، پسته (۶۰۰ ساعت در هکتار معادل ۱۱۷۶ مگاژول در هکتار) و پنبه (۴۰۰ ساعت در هکتار معادل ۷۸۴ مگاژول در هکتار) نسبت به سایر محصولات به نیروی انسانی بیشتری نیاز دارند و کمترین نیروی انسانی در نظام تولید جو (۸۷ ساعت در هکتار معادل ۱۷۰ مگاژول در هکتار) و کلزا (۱۱۰ ساعت در هکتار معادل ۲۱۶ مگاژول در هکتار) مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار نیروی انسانی به کار رفته برای تولید محصولات کشاورزی مختلف می‌تواند تحت تاثیر عواملی نظیر نوع محصول، ضریب مکانیزاسیون، نوع عملیات زراعی، اندازه مزارع و غیره قرار بگیرد (Mohammadzadeh et al., 2017). در مطالعه حاضر، دستی بودن عملیات برداشت محصولات باغی شامل انار، انگور، پسته و پنبه مهمترین عاملی است که سبب می‌شود سهم نیروی انسانی در انرژی ورودی بیشتر باشد اما در محصولاتی که بخش زیادی از عملیات زراعی توسط ماشین‌آلات انجام می‌شود نظیر جو و کلزا ، نیاز به نیروی انسانی کمتر می‌باشد. مطالعات مشابه انجام شده نیز نشان می‌دهد که میزان انرژی معادل نیروی انسانی در پنبه (به ترتیب ۹۸۲/۲ و ۸۶۷/۷ مگاژول در هکتار در داراب و گرگان) (Kazemi et al., 2018)، انار (۲۲۱۵/۹ مگاژول در هکتار) (Houshyar et al., 2017) و انگور (۲۴۰۴ مگاژول در هکتار) (Rajabi Hamedani et al., 2011) بیشتر از کلزا (۱۵۴/۸ مگاژول در هکتار) (Mousavi-Avval et al., 2011b) و جو (۱۶۳/۲ مگاژول در هکتار) (Ghasemi Mobtaker et al., 2010b) می‌باشد.

نتایج نشان می‌دهد که تعداد ساعات کار ماشین‌آلات در فرایند تولید محصولات مورد مطالعه بین ۶ ساعت تا ۱۷ ساعت در هکتار می‌باشد که کمترین و بیشترین آن به ترتیب مربوط به محصولات جو و یونجه می‌باشد (جدول ۳). بالا بودن ساعات کار ماشین‌آلات در محصول یونجه به این دلیل است که برداشت محصول در این گیاه به صورت مکانیزه و چندین نوبت در سال می‌باشد در حالی که عملیات برداشت مکانیزه در سایر محصولات یکبار در سال انجام می‌شود و این موضوع سبب کاهش سهم ماشین‌آلات از کل انرژی ورودی در تولید محصول می‌گردد. مطالعات انجام گرفته در کشور نشان می‌دهد که سهم ماشین‌آلات در تولید محصولات یونجه (Asgharipour et al., 2016; Mohammadzadeh et al., 2018)، پنبه (Kazemi et al., 2018)، جو (Ghasemi Mobtaker et al., 2010b) و گندم (Khoshnevisan et al., 2013) معمولاً کمتر از ۵ درصد کل انرژی ورودی می‌باشد.

سوخت‌های فسیلی به ویژه سوخت گازوئیل مهمترین منبع تأمین انرژی مورد نیاز ماشین‌آلات کشاورزی و بخشی از موتور پمپ‌های آب برای پمپاژ آب آبیاری از چاه‌ها می‌باشد. بنابراین، حجم گازوئیل مصرفی در فرایند تولید محصولات کشاورزی به طور مستقیم تحت تأثیر ساعات کار ماشین‌آلات، نوع ماشین‌آلات مورد استفاده و نیز در صورت دیزلی بودن موتور پمپ‌های آب به میزان آبیاری محصول بستگی دارد. در بین محصولات مورد مطالعه در این پژوهش، کمترین و بیشترین مصرف گازوئیل در تولید محصولات انار و یونجه اتفاق می‌افتد. همانطور که پیشتر نیز گفته شد، تعداد ساعات کار ماشین‌آلات و به تبع آن گازوئیل مصرفی در تولید یونجه به دلیل نوع عملیات زراعی این محصول بیشتر از سایر محصولات می‌باشد که این موضوع سبب بالا بودن میزان انرژی مصرفی ناشی از مصرف گازوئیل در تولید یونجه می‌شود (۱۴/۲ درصد از کل انرژی ورودی معادل ۱۳۴۶۰ مگاژول در هکتار). رجبی و همکاران (Rajabi et al., 2012) با ارزیابی مصرف سوخت در مزارع تولید گندم در گرگان گزارش کردند که بیشترین مصرف گازوئیل در تولید محصول در مرحله آماده سازی بستر کاشت و آبیاری محصول صورت می‌گیرد.

انرژی الکتریکی در بخش کشاورزی عمدتاً برای بکار انداختن موتور پمپ‌های چاه‌های کشاورزی، گرم کردن و روشنایی گلخانه‌ها و مراکز پرورش دام و طیور استفاده می‌شود. مطالعات موجود نشان می‌دهد که در طی سال‌های گذشته سیاست تغییر سوخت پمپ‌های آبیاری در مزارع کشاورزی از گازوئیل به منبع برق موجب شده است تا از مصرف سوخت گازوئیل در بخش کشاورزی کاسته شده و نیروی

الکتریسیته روند صعودی داشته باشد (Boshrabadi & Naghavi, 2011).

نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که در بین محصولات مورد مطالعه، یونجه، انار و انگور به ترتیب با ۳۸۱۶ کیلووات ساعت در هکتار (۴۵۷۹۲ مگاژول در هکتار معادل ۴۸/۳ درصد انرژی ورودی)، ۳۵۰۰ کیلووات ساعت در هکتار (۴۲۰۰۰ مگاژول در هکتار معادل ۵۲/۷ درصد انرژی ورودی) و ۳۳۰۰ کیلووات ساعت در هکتار (۳۹۶۰۰ مگاژول در هکتار معادل ۵۰/۱ درصد انرژی ورودی) بیشترین انرژی ناشی از مصرف الکتریسیته را به خود اختصاص می‌دهند و کمترین آن با ۱۰۵۴ کیلووات ساعت در هکتار (۱۲۶۵۱ مگاژول در هکتار معادل ۳۱/۹ درصد انرژی ورودی) متعلق به محصول جو می‌باشد. در مطالعات مشابه انجام گرفته، سهم انرژی الکتریسیته مصرفی از کل انرژی ورودی در تولید محصول یونجه بین ۲۴/۳ الی ۷۷/۳ درصد (Ghasemi Mobtaker et al., 2010a; Yousefi & Mohammadi, 2011; Asgharipour et al., 2016)، در انگور ۲۳/۹ درصد (Rasouli et al., 2014) و در جو ۱۱/۰۷ درصد (Ghasemi Mobtaker et al., 2010b) گزارش شده است.

در بین ورودی‌های بوم‌نظام‌های مورد مطالعه، سموم شیمیایی کمترین سهم از کل انرژی ورودی را دارا بوده و سهم قارچ‌کش‌ها کمتر از حشره‌کش‌ها و علفکش‌ها محاسبه گردید. گزارش بهشتی تبار و همکاران (Beheshti Tabar et al., 2010) نیز مؤید این مطلب است که سهم آفت‌کش‌ها از کل انرژی ورودی در تولید محصولات زراعی کمتر از سایر ورودی‌ها می‌باشد.

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، در میانگین کل محصولات، کود نیتروژن (۱۵/۲ درصد) بعد از الکتریسیته (۴۱/۸ درصد) و آب آبیاری (۱۸/۸ درصد) بیشترین سهم از کل انرژی ورودی را به خود اختصاص می‌دهد. مقایسه محصولات مورد مطالعه نشان می‌دهد که سهم نیتروژن از کل انرژی ورودی در محصول کلزا با ۲۴/۳ درصد بیشترین و در محصول انار با ۶/۳ درصد کمترین مقدار را دارا می‌باشد. سایر محققین سهم نیتروژن از انرژی ورودی را برای ذرت سیلویی ۲۲/۶ درصد (Pishgar Komleh et al., 2011)، سیب‌زمینی ۴۰ درصد (Pishgar-Komleh et al., 2012a)، کلزا ۶۲/۷۹ درصد (Unakitan et al., 2010)، گوجه‌فرنگی ۴۱/۱۹ درصد (Jadidi et al., 2012)، یونجه ۱۰/۵۸ درصد (Ghasemi Mobtaker et al., 2012)، جو ۲۲/۳ درصد (Ghasemi Mobtaker et al., 2010b) و زعفران ۲۵/۸۹ درصد (Sahabi et al., 2016) گزارش کردند. همچنین، مطالعات انجام گرفته نشان می‌دهد که در تولید محصولات زراعی، سهم کودهای نیتروژنی از انرژی ورودی بیش از کودهای فسفر، پتاسیم و گوگرد است (Ghasemi Mobtaker et al., 2010b; Zangeneh et al., 2010; Mousavi-Avval et al., 2011a).

در بین محصولات مورد مطالعه، بیشترین مصرف آب در تولید محصولات انار (۲۱۰۰۰ متر مکعب در هکتار معادل ۲۱۴۲۰ مگاژول در هکتار)، انگور (۱۹۸۰۰ متر مکعب در هکتار معادل ۲۰۱۹۶ مگاژول در هکتار) و یونجه (۱۹۰۸۰ متر مکعب در هکتار معادل ۱۹۴۶۲ مگاژول در هکتار) و کمترین آن در تولید جو (۵۲۷۱ متر مکعب در هکتار معادل ۵۳۷۷ مگاژول در هکتار) و گندم (۵۴۰۰ متر مکعب در هکتار معادل ۵۵۰۸ مگاژول در هکتار) صورت می‌گیرد. میزان آب آبیاری مورد استفاده برای هر محصول تحت تاثیر عواملی نظیر نیاز آبی خالص گیاه، خصوصیات خاک، روش‌های آبیاری و غیره قرار دارد. بنابراین، مدیریت بهینه تأمین آب محصول که بتواند حجم آب مصرفی گیاه را کاهش دهد، می‌تواند علاوه بر کاهش انرژی ورودی بواسطه کاهش آب مصرفی با کاهش نیروی الکتریسیته مصرفی برای پمپاژ آب آبیاری از چاه‌ها تا حد زیادی انرژی ورودی در تولید محصول را کاهش دهد. در تحقیقات مشابه صورت گرفته، میزان آب آبیاری و درصد آن از کل انرژی ورودی برای گندم ۵۸۵۰ متر مکعب در هکتار با ۳/۲ درصد (Yousefi et al., 2016)، برای ذرت علوفه‌ای ۶۳۷۲ مترمکعب با ۹/۲ درصد (Pishgar Komleh et al., 2011)، برای جو ۴۶۷۴ متر مکعب با ۱۹ درصد (Ghasemi Mobtaker et al., 2010b) و برای کلزا ۴۹۳۴ متر مکعب با ۱۵/۵ درصد (Mohammadzadeh et al., 2017) گزارش شده است.

بذر مصرفی بیشترین سهم از انرژی ورودی را در محصولات جو (۱۰/۵ درصد) و گندم (۹ درصد) به خود اختصاص می‌دهد و بیشترین سهم کود دامی از انرژی ورودی نیز مربوط به محصولات پسته (۶/۲ درصد)، انگور (۴/۶ درصد) و انار (۳/۸ درصد) می‌باشد.

جدول ۳- مقادیر ورودی و خروجی در نظام‌های تولید محصولات مورد مطالعه

Table 3- Inputs and outputs in studied crop production systems

الف) ورودی a)Inputs	واحد Unit	مقدار در واحد سطح Quantity per unit area (unit per ha)								
		گندم Wheat	جو Barley	کلزا Canola	یونجه Alfalfa	ذرت علوفه‌ای Corn silage	پنبه Cotton	انگور Grape	انار Pomegranate	پسته Pistachio
نیروی انسانی Human labour	hr	125	87	110	245	152	400	640	720	600
ماشین‌آلات Machinery	hr	7	6	12	17	13	14.4	11	9	11
گازوئیل Diesel	l	245	146.4	150	281	146.7	165.5	100	85	105
نیتروژن Nitrogen	kg	146.8	129.7	142	127	182	161	94.1	76	70.5
فسفر (P_2O_5) Phosphate (P_2O_5)	kg	72.5	69.4	69	68	71	99.6	74.2	45	53.6
پتاسیم (K_2O) Potassium (K_2O)	kg	22.6	12.2	78.7	55	52	75.1	68.5	90	62.4
گوگرد Sulphur	kg	0	0	7	0	0	0	8	0	16
کلسیم Calcium	kg	0	0	0	0.5	0	2	0	0.2	8.8
کود دامی Farmyard manure	kg	0	0	0	6000	0	0	12000	10000	9000
علفکش‌ها Herbicides	L	0.6	0.3	1.2	0.23	1	0.5	4.9	3.2	1
حشره‌کش‌ها Insecticides	L	1.4	1.2	1.8	2.63	1.3	3.1	2	1.65	0.8
قارچ‌کش‌ها Fungicides	L	0	0	0	0	0	0.2	0.6	0	0.2
الکتریسیته Electricity	KWh	1080	1054	1110	3816	2220	2340	3300	3500	1620
آب آبیاری Irrigation water	m^3	5400	5271	5550	19080	11100	12240	19800	21000	8100
بذر Seed	kg	265	283	12.1	84	44.3	83.8	-	-	-
ب) خروجی b) Outputs										
دانه گندم Wheat grain	kg	4400	-	-	-	-	-	-	-	-
کاه گندم Wheat Straw	kg	4700	-	-	-	-	-	-	-	-
دانه جو Barley grain	kg	-	4143	-	-	-	-	-	-	-
کاه جو Barley Straw	kg	-	4300	-	-	-	-	-	-	-
دانه کلزا Canola grain	kg	-	-	1877	-	-	-	-	-	-
یونجه Alfalfa	kg	-	-	-	13833	-	-	-	-	-
ذرت علوفه‌ای Corn silage	kg	-	-	-	-	41500	-	-	-	-
الیاف پنبه Lint	kg	-	-	-	-	-	1030	-	-	-
بذر پنبه Cotton seed	kg	-	-	-	-	-	2400	-	-	-
انگور Grape	kg	-	-	-	-	-	-	6600	-	-
انار Pomegranate	kg	-	-	-	-	-	-	-	16000	-
پسته Pistachio	kg	-	-	-	-	-	-	-	-	600

جدول ۳ شاخص‌های انرژی را در سیستم‌های تولید محصولات مورد مطالعه نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، در بین محصولات، یونجه، انار و انگور به ترتیب با ۹۴۹۰۶، ۷۹۶۹۶ و ۷۸۹۸۴ مگاژول در هکتار بیشترین و محصولات کلزا، جو و پسته به ترتیب با ۳۸۸۲۱، ۳۹۵۹۹ و ۴۳۶۵۲ مگاژول در هکتار کمترین انرژی وردی را به خود اختصاص می‌دهند.

همانطور که قبلاً بیان شد، بالا بودن مصرف الکتریسیته که در نتیجه مصرف زیاد آب آبیاری در محصولات یونجه، انار و انگور است موجب شده است تا انرژی ورودی آن‌ها در مقایسه با سایر محصولات قابل توجه باشد. مقایسه محصولات مورد مطالعه از نظر شاخص انرژی خروجی نشان می‌دهد که بیشترین میزان این شاخص به ترتیب متعلق به محصولات یونجه (۲۱۸۵۶۷ مگاژول در هکتار)، ذرت علوفه‌ای (۱۷۱۸۱۰ مگاژول در هکتار) و گندم (۱۲۳۴۳۰ مگاژول در هکتار) بوده و کمترین آن مربوط به محصولات پسته (۱۴۹۲۸ مگاژول در هکتار) و انار (۳۸۴۰۰ مگاژول در هکتار) می‌باشد. بالا بودن میزان انرژی خروجی در یک محصول را می‌توان به میزان زیست‌توده تولید شده و انرژی هر واحد از زیست‌توده آن نسبت داد.

در تحقیقات مشابه انجام گرفته، میزان انرژی خروجی برای گندم ۱۰۳۷۰۰ مگاژول در هکتار (Mohammadi et al., 2014)، کلزا ۸۵۵۵۶/۹ مگاژول در هکتار (Unakitan et al., 2010)، جو ۷۱۵۲۵/۳ مگاژول در هکتار (Ghasemi Mobtaker et al., 2010b)، ذرت سیلویی ۱۴۸۳۸۰ مگاژول در هکتار (Pishgar Komleh et al., 2011)، یونجه ۱۱۵۹۷۱ مگاژول در هکتار (Tsatsarelis & Koundouras, 1994)، انگور ۵۸۶۲۲ مگاژول در هکتار (Rasouli et al., 2014)، انار ۴۱۵۳۹ مگاژول در هکتار (Houshyar et al., 2017) و پسته ۵۱۹۳۰ مگاژول در هکتار (Mohammadi & Mehry, 2015) گزارش شده است.

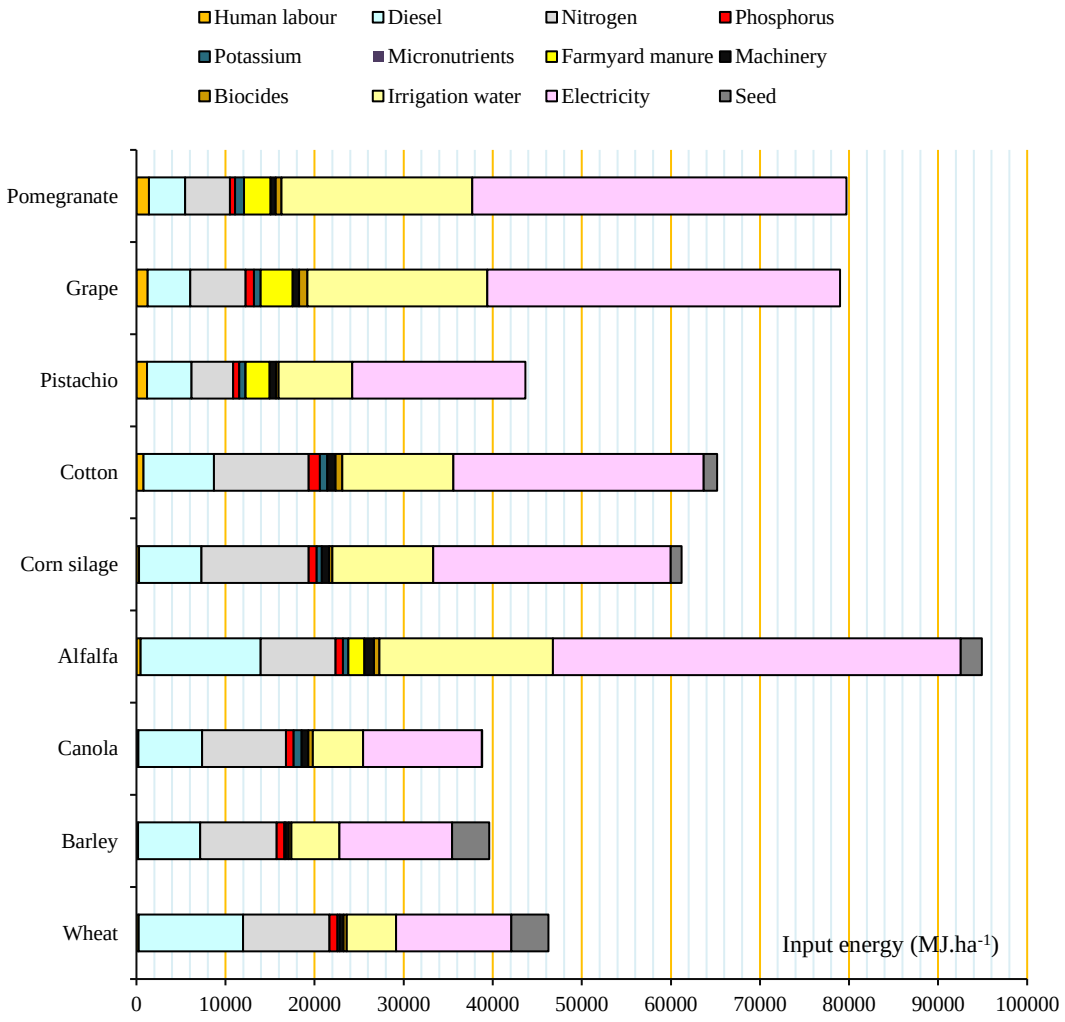
نتایج به دست آمده در مورد انرژی خالص محصولات مورد مطالعه نشان می‌دهد که انرژی ورودی در محصولات باغبانی شامل انگور، انار، پسته و محصول زراعی پنبه بیشتر از انرژی خروجی بوده و در نتیجه بیلان انرژی در این محصولات منفی می‌باشد. این نتیجه با یافته‌های هوشیار و همکاران در مورد انار (Houshyar et al., 2017) و محمدی و مهری در مورد پسته (Mohammadi & Mehry, 2015) که انرژی خالص را برای این محصولات مقدار منفی گزارش کرده‌اند مطابقت دارد. به همین ترتیب، بیشترین کارایی مصرف انرژی که نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی را نشان می‌دهد مربوط به محصولات جو (۲/۹)، ذرت علوفه‌ای (۲/۸) و گندم (۲/۶) و کمترین آن به ترتیب مربوط به محصولات پسته (۰/۳۴)، انار (۰/۴۸) و پنبه (۰/۹) می‌باشد. مقایسه محصولات از نظر شاخص انرژی مخصوص نشان می‌دهد که محصولات پسته (۷۲/۷ مگاژول بر کیلوگرم)، پنبه (۲۷/۱ مگاژول بر کیلوگرم) و کلزا (۲۰/۷ مگاژول بر کیلوگرم) به ازای تولید هر کیلوگرم محصول انرژی بیشتری نسبت به سایر محصولات مورد استفاده قرار می‌دهند و کمترین آن مربوط به محصولات ذرت علوفه‌ای (۱/۵ مگاژول بر کیلوگرم)، انار (۵ مگاژول بر کیلوگرم) و یونجه (۶/۸ مگاژول بر کیلوگرم) می‌باشد. بر این اساس، بیشترین بهره‌وری انرژی مربوط به محصولات ذرت علوفه‌ای، انار و یونجه به ترتیب با ۰/۶۷، ۰/۲۰ و ۰/۱۵ کیلوگرم محصول به ازای هر مگاژول انرژی خواهد بود.

بررسی شکل‌های مختلف انرژی ورودی نشان داد که در نظام تولید محصولات مورد مطالعه، سهم انرژی مستقیم بیش از انرژی غیرمستقیم و سهم انرژی تجدیدناپذیر بیش از انرژی تجدیدپذیر بود. این نتیجه با یافته‌های محققین دیگر نیز مطابقت دارد (Ghasemi Mobtaker et al., 2010b; Zangeneh et al., 2010; Azizi & Heidari, 2013; Khoshnevisan et al., 2013). محدود بودن انرژی‌های تجدیدناپذیر از یکسو و مشکلات محیط زیستی ناشی از مصرف این شکل از انرژی، ضرورت کاهش استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر و جایگزینی آن‌ها با منابع انرژی تجدیدپذیر را چندین برابر می‌کند. جایگزینی کودهای شیمیایی با کودهای دامی، کود سبز، کودهای زیستی؛ استفاده از سیستم‌های بدون خاک‌ورزی یا کم‌خاک‌ورزی؛ مدیریت مصرف آب که با مصرف الکتریسیته یا سوخت‌های فسیلی برای پمپاژ آب آبیاری در ارتباط می‌باشد از جمله مواردی است که می‌تواند در فرایند تولید محصولات زراعی به کاهش سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر از کل انرژی ورودی کمک کند.

جدول ٤- شاخص‌های انرژی در نظام تولید محصولات مورد مطالعه

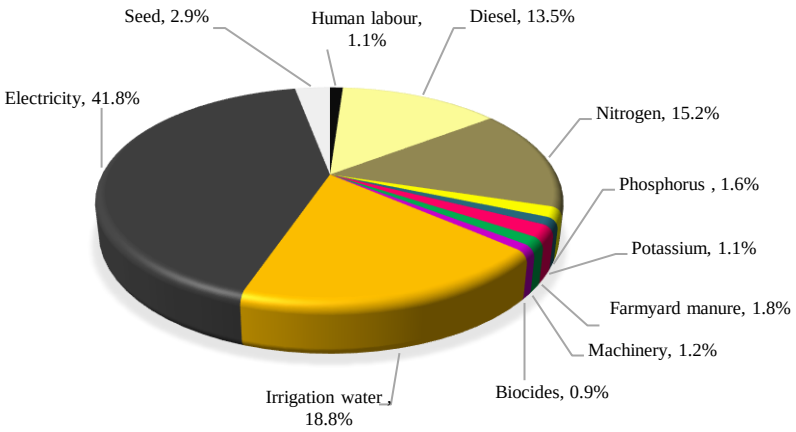
Table 4- Energy indicators in studied production systems

شاخص‌های انرژی Energy indicators	واحد Unit	گندم Wheat	جو Barley	کلزا Canola	یونجه Alfalfa	ذرت علوفه‌ای Corn silage	پنبه Cotton	انگور Grape	انار Pomegranate	پسته Pistachio
انرژی ورودی Input energy	$MJ.ha^{-1}$	46258	39599	38821	94906	61217	65178	78984	79696	43652
انرژی خروجی Output energy	$MJ.ha^{-1}$	123430	114650	51809	218567	171810	59165	77880	38400	14928
انرژی خالص Net energy	$MJ.ha^{-1}$	77172	75051	12988	123661	110593	-6013	-1104	-41296	-28724
کارایی مصرف انرژی Energy use efficiency	-	2.67	2.9	1.3	2.3	2.8	0.9	1.0	0.48	0.34
انرژی مخصوص Specific energy	$MJ.kg^{-1}$	10.5	9.6	20.7	6.8	1.5	27.1	12	5	72.7
بهره‌وری انرژی Energy productivity	$kg.MJ^{-1}$	0.095	0.105	0.048	0.15	0.678	0.036	0.083	0.201	0.014
اشکال انرژی Forms of energy										
انرژی مستقیم Direct energy	$MJ.ha^{-1}$	30424 (65.8%)	25198 (63.6%)	26359 (67.9%)	79194 (83.5%)	45271 (73.9%)	49260 (75.6%)	65830 (83.3%)	68894 (76.4%)	33897 (77.6%)
انرژی غیر مستقیم Indirect energy	$MJ.ha^{-1}$	15834 (34.2%)	14401 (36.4%)	12463 (32.1%)	15711 (16.5%)	15946 (26.1%)	15919 (24.4%)	13154 (16.7%)	10802 (13.6%)	9755 (22.4%)
انرژی تجدیدپذیر Renewable energy	$MJ.ha^{-1}$	9914 (21.4%)	9708 (24.5%)	5920 (15.2%)	22302 (23.5%)	12866 (21%)	14776 (22.7%)	21450 (27.2%)	25831 (32.4%)	9438 (21.6%)
انرژی تجدید ناپذیر Non-renewable energy	$MJ.ha^{-1}$	36345 (78.6%)	29891 (75.5%)	32901 (84.8%)	72603 (76.5%)	48351 (79%)	50402 (77.3%)	57534 (72.8%)	53865 (67.6%)	34214 (78.4%)



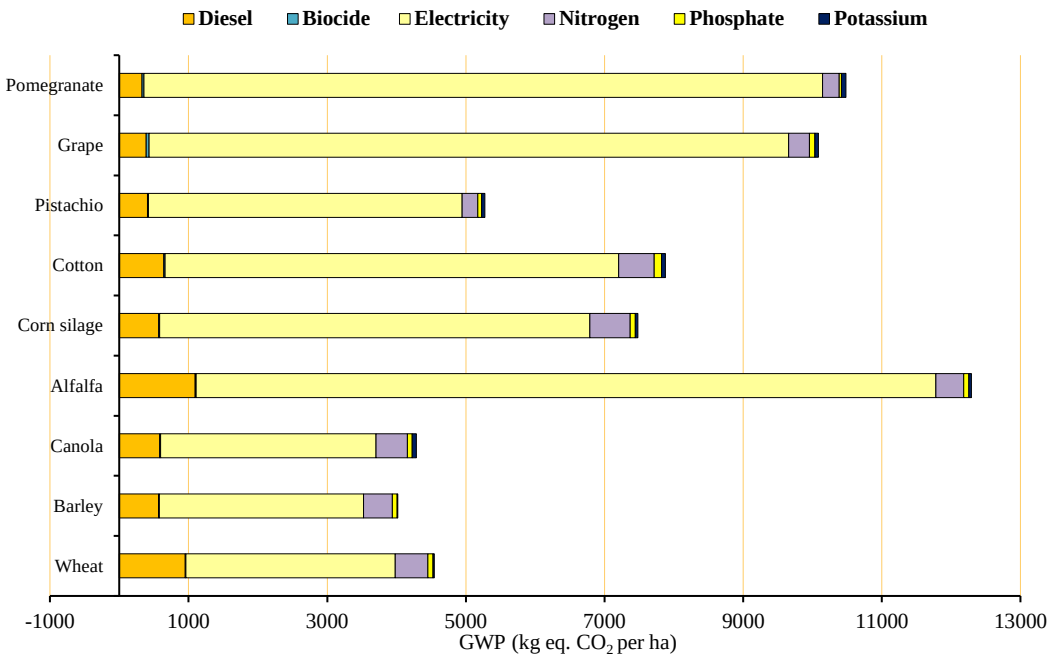
شکل ۱- سهم ورودی‌های مختلف در کل انرژی ورودی در تولید محصولات زراعی و باغی در دشت شریف آباد

Fig. 1- The proportion of different inputs of total input energy for crops and horticultural plants in Sharif Abad plain



شکل ۲- سهم ورودی‌های مختلف انرژی ورودی در تولید محصولات زراعی و باغی در دشت شریف آباد

Fig. 2- The proportion of different inputs of total input energy for crops and horticultural plants in Sharif Abad plain



شکل ۳- سهم ورودی‌های مختلف در پتانسیل گرمایش جهانی در تولید محصولات زراعی و باغی در دشت شریف آباد

Fig. 3- The share of different input of global warming potential for crops and horticultural plants in Sharif Abad plain

پتانسیل گرمایش جهانی

شکل ۳ پتانسیل گرمایش جهانی محصولات مورد مطالعه و نیز سهم ورودی‌های مختلف را در آن نشان می‌دهد. مقایسه محصولات نشان می‌دهد که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از آن بیشترین مقدار را به ترتیب در کشت‌بوم‌های یونجه (معادل ۱۲۲۹۴کیلوگرم CO_2 در هکتار)، انار (معادل ۱۰۴۸۴کیلوگرم CO_2 در هکتار) و انگور (معادل ۱۰۰۸۵ کیلوگرم CO_2 در هکتار) دارد و کمترین آن متعلق به محصولات 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) می‌باشد. مقایسه سهم ورودی‌های مختلف از کل پتانسیل گرمایش جهانی محصولات نشان می‌دهد که در اکثر محصولات مورد مطالعه، مصرف نیروی الکتریسیته، گازوئیل و کود نیتروژن بیشترین نقش را در انتشار گازهای گلخانه‌ای ایفا می‌کنند به طوری که در دو محصول انار و انگور، بیش از ۹۰ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف الکتریسیته می‌باشد که این میزان در محصولات پنبه، ذرت علوفه‌ای و پسته بیش از ۸۰ درصد می‌باشد. همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، نیروی الکتریسیته برای پمپاژ آب از چاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین، در محصولات با نیاز آبی بالا نظیر یونجه، انار و انگور که با دفعات بیشتری آبیاری می‌شوند، انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از الکتریسیته به بیشترین مقدار خود می‌رسد. همچنین، در محصولاتی که مصرف کودهای شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژنی بیشتر است، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بسیار قابل توجه است. بر این اساس، تولید محصولاتی که هم نیاز آبی بالایی دارند و هم کودهای شیمیایی بیشتری در مقایسه با سایر محصولات در تولید آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، بیشترین تاثیر را در انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی خواهند داشت. بنابراین، مدیریت و بهینه سازی آبیاری برای افزایش کارایی مصرف آب و استفاده از عملیات زراعی مناسب برای افزایش حاصلخیزی خاک به جای استفاده از کودهای شیمیایی تا حدی زیادی می تواند میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را در تولید محصولات زراعی کاهش دهد. در تحقیقی که محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2014) طی آن پتانسیل گرمایش جهانی برخی محصولات زراعی شمال ایران مورد بررسی قرار دادند، این میزان را برای گندم ۱۱۷۱/۱ کیلوگرم CO_2 در هکتار، برای جو ۱۱۰۵/۷ کیلوگرم CO_2 در هکتار، برای کلزا ۱۰۶۳/۵ کیلوگرم CO_2 در هکتار،

برای ذرت علوفه‌ای ۲۸۸۲/۲ کیلوگرم CO_2 در هکتار، برای سویا ۱۷۹۱/۴ کیلوگرم CO_2 در هکتار، و برای برنج ۶۰۹۴/۱ کیلوگرم CO_2 در هکتار گزارش کردند. در تحقیقات مشابه صورت گرفته، این مقدار برای کلزا ۲۰۲۸ کیلوگرم CO_2 در هکتار (Soltani et al., 2014)، برای انار بین ۴۲۹۹ تا ۸۲۶۹ کیلوگرم CO_2 در هکتار (Houshyar et al., 2017) و برای پسته ۵۱۰۰ کیلوگرم CO_2 در هکتار (Bartzas & Komnitsas, 2017) گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در بین محصولات مورد مطالعه، بیشترین انرژی در فرایند تولید محصولات یونجه، انار و انگور مورد استفاده قرار گرفته و بیشترین انرژی خروجی نیز به ترتیب متعلق به محصولات یونجه، ذرت علوفه‌ای و گندم بود. انرژی ورودی در محصولات انگور، انار، پسته و پنبه بیشتر از انرژی خروجی آن محصولات بوده و در نتیجه بیلان انرژی در این محصولات منفی بود. بیشترین کارایی مصرف انرژی مربوط به محصولات جو، ذرت علوفه‌ای و گندم و کمترین آن به ترتیب مربوط به محصولات پسته ، انار و پنبه بود. محصولات پسته، پنبه و کلزا به ازای تولید هر کیلوگرم محصول انرژی بیشتری نسبت به سایر محصولات مورد استفاده قرار دادند و کمترین آن مربوط به محصولات ذرت علوفه‌ای، انار و یونجه بود. نتایج نشان داد که در نظام تولید محصولات مورد مطالعه، سهم انرژی مستقیم بیش از انرژی غیرمستقیم و سهم انرژی تجدیدناپذیر بیش از انرژی تجدیدپذیر بود. کشت‌بوم‌های یونجه، انار و انگور به ترتیب بیشترین مقدار پتانسیل گرمایش جهانی را داشته و کمترین آن متعلق به محصولات جو، کلزا و گندم بود. مقایسه سهم ورودی‌های مختلف از کل پتانسیل گرمایش جهانی محصولات نشان داد که در اکثر محصولات مورد مطالعه، مصرف نیروی الکتریسیته، گازوئیل و کود نیتروژن بیشترین نقش را در انتشار گازهای گلخانه‌ای ایفا می‌کنند. بنابراین، تولید محصولاتی که نیاز آبی بالایی داشته و کود شیمیایی بیشتری در مقایسه با سایر محصولات در تولید آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، بیشترین تاثیر را در مصرف انرژی و گرمایش جهانی خواهند داشت. بنابراین، مدیریت و بهینه‌سازی آبیاری برای افزایش کارایی مصرف آب و استفاده از عملیات زراعی مناسب برای افزایش حاصلخیزی خاک به جای استفاده از کودهای شیمیایی تا حد زیادی می‌تواند به افزایش بهره‌وری مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کند.

منابع

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

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

Azizi, K., and Heidari, S. 2013. A comparative study on energy balance and economical indices in irrigated and dry land barley production systems. International Journal of Environmental Science and Technology 10: 1019-1028.

Bartzas, G., and Komnitsas, K. 2017. Life cycle analysis of pistachio production in Greece. Science of the Total Environment 595: 13-24.

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

Boshrabadi, H., and Naghavi, S. 2011. Estimating energy demand in agricultural sector of Iran. Journal of Agricultural Economics Research 3: 147-162.

Camargo, G.G., Ryan, M.R., and Richard, T.L. 2013. Energy use and greenhouse gas emissions from crop production using the farm energy analysis tool. BioScience 63: 263-273.

Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I., and Ozmerzi, A. 2005. Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya Region, Turkey. Energy Conversion and Management 46: 655-666.

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

Ghasemi Mobtaker, H., Akram, A., and Keyhani, A. 2010a. Investigation of energy consumption of perennial Alfalfa production-Case study: Hamedan province. Journal of Food, Agriculture and Environment 8: 379-381.

Ghasemi Mobtaker, H., Akram, A., and Keyhani, A. 2012. Energy use and sensitivity analysis of energy inputs for alfalfa production in Iran. Energy for Sustainable Development 16: 84-89.

Ghasemi Mobtaker, H., Keyhani, A., Mohammadi, A., Rafiee, S., and Akram, A. 2010b. Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan province of Iran. Agriculture, Ecosystems and Environment 137: 367-372.

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

Herrhz, J.L., Girth, V.S., and Cerisola, C. 1995. Long-term energy use and economic evaluation of three tillage systems for cereal and legume production in central Spain. Soil and Tillage Research 35: 183-198.

Houshyar, E., Mahmoodi-Eshkaftaki, M., and Azadi, H. 2017. Impacts of technological change on energy use efficiency and GHG mitigation of pomegranate: Application of dynamic data envelopment analysis models. Journal of Cleaner Production 162: 1180-1191.

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

Jadidi, M., Sabouhi Sabouni, M., Homayounifar, M., and Mohammadi, A. 2012. Assessment of energy use pattern for tomato production in Iran: A case study from the Marand region. Research in Agricultural Engineering 58: 50-56.

Karimi, M., and Moghaddam, H. 2018. On-farm energy flow in grape orchards. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 17: 191-194.

Kazemi, H., Shokrgozar, M., Kamkar, B., and Soltani, A. 2018. Analysis of cotton production by energy indicators in two different climatic regions. Journal of Cleaner Production 190: 729-736.

Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M., and 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.

Kitani, O. 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineering. American Society of Agricultural Engineers, United States of America.

Koga, N., and 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., and Nonhebel, S. 1999. Total greenhouse gas emissions related to the Dutch crop production system. Agriculture, Ecosystems and Environment 72: 9-16.

Külekçi, M., and Aksoy, A. 2013. Input–output energy analysis in pistachio production of Turkey. Environmental Progress and Sustainable Energy 32: 128-133.

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

Li, T., Baležentis, T., Makutėnienė, D., Streimikiene, D., and Kriščiukaitienė, I. 2016. Energy-related CO_2 emission in European Union agriculture: Driving forces and possibilities for reduction. Applied Energy 180: 682-694.

Mandal, K., Saha, K., Ghosh, P., Hati, K., and Bandyopadhyay, K. 2002. Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. Biomass and Bioenergy 23: 337-345.

Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Keyhani, A., Mousavi-Avval, S.H., and Nonhebel, S. 2014. Energy use efficiency and greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews 30: 724-733.

Mohammadi, H., and Mehry, M. 2015. An analysis of improving energy use with data envelopment analysis in horticultural products in Yazd province: Case study Pistahio. Energy Economics Review 11: 113-134.

Mohammadzadeh, A., Damghani, A.M., Vafabakhsh, J., and Deihimfard, R. 2017. Assessing energy efficiencies, economy, and global warming potential (GWP) effects of major crop production systems in Iran: a case study in East Azerbaijan province. Environmental Science and Pollution Research 24: 16971-16984.

Mohammadzadeh, A., Mahdavi Damghani, A., Vafabakhsh, J., and 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 with English Summary)

Mondani, F., Khoramivafa, M., Aleagha, S., and Ghobadi, R. 2015. Assessment of energy flow in irrigated and dry-land wheat farms under different climatic conditions in Kermanshah province. Journal of Agroecology 5: 75-88. (In Persian with English Summary)

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

Mousavi-Avval, S.H., Rafiee, S., Jafari, A., and Mohammadi, A. 2011b. Improving energy use efficiency of canola production using data envelopment analysis (DEA) approach. Energy 36: 2765-2772.

Nagy, C.N. 1999. Energy coefficients for agriculture inputs in western Canada. Canadian Agricultural Energy End-Use Data Analysis Centre (CAEEDAC). University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.

Pimentel, D. 1980. Handbook of energy utilization in agriculture. CRC Press, Boca Raton, FL.

Pishgar-Komleh, S., Ghahderijani, M., and Sefeedpari, P. 2012a. Energy consumption and CO_2 emissions analysis of potato production based on different farm size levels in Iran. Journal of Cleaner production 33: 183-191.

Pishgar-Komleh, S., Sefeedpari, P., and Ghahderijani, M. 2012b. Exploring energy consumption and CO_2 emission of cotton production in Iran. Journal of Renewable and Sustainable Energy 4: 033115.

Pishgar Komleh, S., Keyhani, A., Rafiee, S., and 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.

Platis, D.P., Anagnostopoulos, C.D., Tsaboula, A.D., Menexes, G.C., Kalburtji, K.L., and Mamolos, A.P. 2019. Energy Analysis, and Carbon and Water Footprint for Environmentally Friendly Farming Practices in Agroecosystems and Agroforestry. Sustainability 11: 1664.

Rajabi Hamedani, S., Keyhani, A., and Alimardani, R. 2011. Energy use patterns and econometric models of grape production in Hamadan province of Iran. Energy 36: 6345-6351.

Rajabi, M.H., Soltani, A., Vahidnia, B., Zeinali, E., and Soltani, E. 2012. Evaluation of fuel consumption in wheat fields in Gorgan. Environmental Science 9: 143-164.

Rajaby, M.H., Soltani, A., Zeinali , E., and Soltani, E. 2012. Evaluation of energy use in wheat production in Gorgan. Journalof of Plant Production 19: 143-172. (In Persian with English Summary)

Rasouli, M., Namdari, M., and Mousavi-Avval, S.H. 2014. Modeling and analysis of energy efficiency in grape production of Iran. Journalof Agricultural Technology 10: 517-532.

Sahabi, H., Feizi, H., and Amirmoradi, S. 2013. Which crop production system is more efficient in energy use: wheat or barley? Environment, development and sustainability 15: 711-721.

Sahabi, H., Feizi, H., and Karbasi, A. 2016. Is saffron more energy and economic efficient than wheat in crop rotation systems in northeast Iran? Sustainable Production and Consumption 5: 29-35.

Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E., Haberl, H., Harper, R., House, J., and Jafari, M. 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.

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

Soltani, A., Maleki, M., and 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.

Tsatsarelis, C., and Koundouras, D. 1994. Energetics of baled alfalfa hay production in northern Greece. Agriculture, Ecosystems and Environment 49: 123-130.

Tzilivakis, J., Warner, D., May, M., Lewis, K., and 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.

Unakitan, G., Hurma, H., and Yilmaz, F. 2010. An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey. Energy 35: 3623-3627.

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

Yousefi, M., Damghani, A.M., and 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.

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

Zangeneh, M., Omid, M., and Akram, A. 2010. A comparative study on energy use and cost analysis of potato production under different farming technologies in Hamadan province of Iran. Energy 35: 2927-2933.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.2, Summer 2019, p. 365-382

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، ص. ۳۸۲-۳۶۵

Energy Flow and GHG Emissions in Major Field and Horticultural Crop Production Systems (Case Study: Sharif Abad Plain)

J.Vafabakhsh[1*] and A. Mohammadzadeh[2]

Submitted: 26-06-2019
Accepted: 03-08-2019

Vafabakhsh, J., and 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.

Introduction

Energy use patterns and Green House Gas (GHG) emissions from agro-ecosystems vary depending on the farming system; cropping pattern; crop season; the level of technology; the size of the population engaged in agriculture; nature and amount of chemical fertilizer; harvesting and threshing operations; and ultimately yield levels. Worldwide, about 5% of the total energy is used in agriculture section that is directly linked to GHGs emissions. According to reports, agricultural GHG emissions account for 10–12% of all anthropogenic GHG emissions. Therefore, efficient use of energy in farming systems is one of the most important implications for decreasing GHG emissions and mitigating global warming. A good understanding of energy flow and GHG emissions in agricultural production systems will help to optimize crop management practices thereby reducing the environmental footprints of energy inputs and promoting sustainable agriculture. This paper describes the energy use patterns and global warming potential for major crop production systems in Sharif Abad plain located in Qom province, Iran.

Materials and methods

The study area relates to the Sharif Abad plain, located in the Qom province in north-central Iran. The data were collected through face-to-face interviews with 183 farmers in the year 2018. A questionnaire form was designed to collect the required information related to various input uses (electricity, biocides, fertilizers, etc.), operation times, crop yields, etc. The selection of producers was based on cropping patterns and the fact that the farmers should be representative of the selected crops. The simple random sampling method was used to determine the survey volume. The studied field crops and horticultural crops were wheat (*Triticum aestivum. L.*), barley (*Hordeum vulgare L.*), alfalfa (*Medicago sativa L.*), corn silage (*Zea mays L.*), cotton (*Gossypium hirsutum L.*), canola (*Brassica napus L.*), pistachio (*Pistacia vera L.*), pomegranate (*Punica granatum L.*) and grape (*Vitis vinifera L.*). In the present study, input and output values for perennial crops (alfalfa, pistachio, pomegranate, and grape) are represented as averages of the crop production cycle.

Results and discussion

Results showed that, in terms of total energy input, alfalfa (94,906 MJ.ha^{-1}), pomegranate (79,696 Mj.ha^{-1}), and grape (78,984 MJ.ha^{-1}) production systems were more energy-intensive than other crops. Among the studied crops, the highest values of output energy were related to alfalfa (218,567 MJ.ha^{-1}), corn silage (171,810 MJ.ha^{-1}) and wheat (123,430 MJ.ha^{-1}) production systems, respectively. Also, it was observed that the highest values of energy use efficiency and specific energy were related to barley (2.9) and cotton (72.7 MJ.kg^{-1}), respectively. Among all the studied crops, the highest values of global warming potential were calculated to be 12,294 kg CO_2eq. ha^{-1} for the alfalfa production system followed by the pomegranate (10,484 kg CO_2eq. ha^{-1}) and grape (10,085 kg CO_2eq. ha^{-1}) production systems. In the

1-Seed and Plant Improvement Research Department, Khorasan-Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
2-Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, University of Shahid Beheshti, G.C., Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: vjavad@yahoo.com)
Doi:10.22067/jag.v11i2.81742

average of all crops, electric power accounted for the greatest GHG emissions, followed by diesel and nitrogen fertilizer. The proportion of direct energy (human labor, diesel fuel, water for irrigation, and electricity) in the studied crops was greater than the indirect form (seed, chemical fertilizer, manure, pesticides, and machinery). Also, the amount of non-renewable energy (electricity, chemical fertilizer, diesel fuel, pesticides, and machinery) in all the investigated crops was higher than of the renewable form (human labor, seed, water for irrigation and manure).

Conclusion

It can be inferred from the present study that in all of studied crops, notable part of energy used and GHG emissions were related to electric power. In the study area, entire electrical power is consumed in irrigation practices. Therefore, optimal management of water and nitrogen in crop production systems are the ways that should be considered to improve energy performance and decrease the GHG emissions. Also, management of plant nutrients by renewable resources like farmyard manure and green manures would increase rate of renewable energy.

Keywords: Agroecosystem analysis, Energy efficiency, Global warming, Sharif Abad plain