نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 11، شماره 2، تابستان 1398، ص 755-739

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.2, Summer 2019, p. 739-755

مقایسه بهره‌وری انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی در نظام‌های تولید آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) دیم

زین‌العابدین امیدمهر[1*]

تاریخ دریافت: 1394/06/18
تاریخ پذیرش: 1397/02/03

امیدمهر، ز. 1398. مقایسه بهره‌وری انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی در نظام‌های تولید آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) دیم. بوم‌شناسی کشاورزی. 11 (2): 755-739.

چکیده

این مطالعه به‌منظور بررسی جریان انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی مزارع آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) در شهرستان میامی انجام شد. اطلاعات لازم در مورد سه روش کاشت مرسوم، روش کم‌خاک‌ورزی و کاشت مستقیم از طریق مصاحبه حضوری و تکمیل پرسش‌نامه در سال 1389 تهیه شد. پس از جمع‌آوری اطلاعات، پارامترهای مربوط به انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای بر مبنای معادل دی اکسید کربن محاسبه گردید. نتایج نشان داد که میزان انرژی ورودی در سه روش کاشت مرسوم، روش کم‌خاک‌ورزی و کاشت مستقیم به ترتیب برابر 13971، 12117 و 10865 مگاژول بر هکتار بود. در هر سه روش در مقایسه با سایر نهاده‌ها،کود نیتروژن و سوخت مصرفی بیشترین سهم انرژی ورودی را داشتند. بیشترین و کمترین میزان بهره‌وری انرژی به ترتیب مربوط به کشت مستقیم (0/15 کیلوگرم بر مگاژول) و کشت رایج (0/11 کیلوگرم بر مگاژول) بود. کمترین مقدار پتانسیل گرمایش جهانی از روش کاشت مستقیم به میزان 1449 کیلوگرم معادل دی اکسید کربن در هکتار بود. در روش مرسوم و کم‌خاک‌ورزی، پتانسیل گرمایش جهانی حاصل از مصرف سوخت بیشترین مقدار تولید گازهای گلخانه‌ای به ترتیب 43/3 و 36/5 درصد از کل تولید گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص داده است. در روش کاشت مستقیم، پتانسیل گرمایش جهانی حاصل از مصرف کود نیتروژن بیشترین مقدار تولید گازهای گلخانه‌ای (47/3 درصد) را به خود اختصاص داد. با توجه به نتایج بدست آمده مدیریت عملیات زراعی با رویکرد حذف عملیات اضافی (کاهش مصرف سوخت) و مدیریت مصرف کود نیتروژن، به‌منظور افزایش بهره‌وری انرژی،کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای و اثرات زیست‌محیطی ضروری است.

واژه‌های کلیدی: انتشار گازهای گلخانه‌ای، خاک‌ورزی، دی‌اکسید کربن، کشت مستقیم

مقدمه

طی چند دهه اخیر، افزایش گازهای گلخانه‌ای مانند CO_2 باعث به‌وجود آمدن پدیده تغییرات آب‌وهوایی و گرمایش جهانی، سوراخ شدن لایه ازن، ذوب شدن یخ‌های قطبی شده است. اهمیت این موضوع در سطح جهانی و تلاش برای سیاست‌گذاری جهت کنترل گرمایش جهانی و تغییرات آب و هوایی می‌باشد که رشد گازهای گلخانه‌ای سهم بسزایی در این موضوع دارد (Karbasi & Rahimi, 2009).

استفاده کارآمد از انرژی در کشاورزی یکی از شرایط مهم در پیدایش کشاورزی پایدار است، زیرا موجب کاهش آلودگی‌های محیطی می‌گردد. بنابراین شناسایی روش‌هایی برای تولید محصول که بتواند کارایی مصرف انرژی را به حداکثر و تولید گازهای گلخانه‌ای و

1- مربی بخش فنی و مهندسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سمنان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود
(*- نویسنده مسئول: Email: Zshamabadi @ gmail.com)
Doi:10.22067/jag.v11i2.49739

مصرف سوخت‌های فسیلی را به حداقل برساند، باید از اولویت‌های پژوهشی و تحقیقاتی بخش کشاورزی به شمار آید (Alipour et al., 2013). کشاورزی یکی از بخش‌های مهم اقتصادی است که اثرات مهمی بر محیط‌زیست دارد (Nemecek et al. 2008). طبق برآوردهای انجام‌شده 20 درصد از اثر گلخانه‌ای به فعالیت‌های کشاورزی مربوط است (Brentrup et al., 2000).

در سال‌های اخیر، سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی موجب تغییر کربن خاک، انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی محیط‌زیست شده است. استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی موجب پایداری بهره‌وری خاک، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و حفاظت از محیط‌زیست شده است (Al-Kaisi & Yin, 2005). میزان انتشار دی اکسید کربن از خاک به‌واسطه عملیات خاک‌ورزی، به تعداد و شدت خاک‌ورزی بستگی دارد. خاک‌ورزی حفاظتی به‌عنوان یکی از مؤثرترین عملیات کشاورزی برای کاهش انتشار دی اکسید کربن از خاک‌های کشاورزی به اتمسفر در نظر گرفته می‌شود (Kern & Johnson, 1993; Reicosky & Lind strom, 1993; Lal & Kimble, 1997). افزایش دی اکسید کربن در اتمسفر، به‌عنوان عامل اصلی پتانسیل گرمایش جهانی در نظر گرفته می‌شود. انجام عملیات خاک‌ورزی نادرست موجب افت کربن خاک و انتشار آن به‌صورت گاز دی اکسید کربن یا گازهای دیگر به اتمسفر می‌شود (Reicosky et al., 1997). نتایج مطالعات پژوهشی در مزارع ایرلند نشان داد که در اثر استفاده از کشاورزی حفاظتی (خاک‌ورزی حفاظتی)، میزان انتشار گاز دی اکسید کربن به میزان 120 کیلوگرم در هکتار کاهش یافت (Geraghty, 2008).

آمار موجود در ایران نشان می‌دهد که سرانه انتشار CO_2 از 607 کیلوگرم در سال 1346 به 4977/7 کیلوگرم در سال 1382 و 6881/7 کیلوگرم در سال 1386 رسید که بیش از 11 برابر رسیده است (Damam-Keshide et al., 2009). طبق گزارش احدی (Ahadi, 2014) سرانه انتشار CO_2 به 10300 کیلوگرم در سال افزایش یافته‌است. ارزیابی کل سوخت مصرفی در دو سامانه کشت گندم آبی و دیم در شهرستان ساوه نشان داد که مصرف سوخت به ترتیب برابر 98 و 74 لیتر در هکتار برای کشت گندم آبی و دیم است که از این میزان بیشترین سهم سوخت مصرفی در سامانه کشت گندم آبی مربوط به عملیات آبیاری (78/4 درصد) و درکشت گندم دیم، بیشترین سهم مصرف سوخت به عملیات خاک ورزی (59 درصد) اختصاص یافت (Safa & Tabatabaei, 2002).

در آزمایشی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید پنبه در استان گلستان نشان داد که میزان انتشار $kg\ CO_2eq.ha^{-1}$ 1430/2 بود.گازهای گلخانه‌ای نهاده سوخت دیزل برابر 646/2 کیلوگرم معادل دی اکسیدکربن در هکتار بود و با 45/1 درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید پنبه در استان گلستان، بیش‌ترین انتشار گازهای انتشار گازهای گلخانه‌ای را داشت. (Taheri-Rad et al., 2015). ارزیابی شاخص‌های زیست محیطی ذرت توسط خانعلی و همکاران (Khanali et al., 2018) نشان داد که در بخش مزرعه‌ای، بیشترین بارهای محیطی، به ترتیب ناشی از عملیات آبیاری، کود نیتروژن، سوخت دیزل و الکتریسیته مصرفی بوده است. در برداشت با پیکرهاسکر در مقایسه برداشت دستی وکمباین، پتانسیل گرمایش جهانی افزایش می‌یابد. نتایج آزمایشی در استان خراسان در تولید چغندرقند نشان داد، که پتانسیل گرمایش جهانی در روش تولید سنتی، نیمه مکانیزه و مکانیزه به ترتیب 633/8، 529/8 و 302/9 کیلوگرم معادل دی اکسید کربن برآورد شد که این مقدار در مقایسه با سیستم تولید کشور سوئیس به‌عنوان مبنای مقایسه، در روش سنتی 12 برابر و در روش مکانیزه بیش از پنج برابر است (Soltani et al., 2014).

نتایج حاصل از ارزیابی اثرات زیست‌محیطی نیتروژن برای تولید جو در نظام‌های کشت آبی و دیم نشان داد که بالاترین پتانسیل گرمایش جهانی در نظام تولید جو آبی برابر 898/2 کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن به ازای هر تن دانه برای سطح کودی 180-140 نیتروژن در هکتار و برای نظام کشت دیم برابر با 604/7 کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن به ازای هر تن دانه برای سطح کودی 40-30 نیتروژن در هکتار برآورد شد (Mollafilabi et al., 2015). در بررسی بیلان انرژی و انتشار دی اکسید کربن در تولید گندم، نتایج نشان داد که بیشترین میزان انتشار دی اکسید کربن و پتانسیل گرمایش جهانی به دلیل ورودی بیشتر مربوط به مصرف نیتروژن، سوخت و بذر بوده است و روش کشت بهبودیافته (کم نهاده) کمترین پتانسیل گرمایش جهانی را دارا بود (PazoKi-torodi et al., 2018). روش‌های مختلفی برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های مختلف کشاورزی وجود دارد که تعیین پتانسیل گرمایش جهانی یکی از روش‌های ارزیابی اثرات پایداری است. این پژوهش به‌منظور ارزیابی میزان انرژی مصرفی در سه روش مختلف تولید آفتابگردان، برآورد انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف انرژی و سیستم‌های مختلف

خاک‌ورزی و ارائه پیشنهادهایی جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش آلودگی محیط‌زیست در تولید آفتابگردان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در منطقه کالپوش از توابع شهرستان میامی انجام شد. این منطقه از لحاظ شرایط آب و هوایی جزء مناطق معتدل سرد بوده و محصولات گندم (*Triticum aestivum* L.)، آفتابگردان و عدس (*Lens culinaris* L.) در تناوب کاشته می‌شوند. تیمارها مورد بررسی شامل عملیات خاک‌ورزی مرسوم شامل (شخم با گاوآهن برگرداندار+ دیسک+ بذرپاشی+ دیسک)، کم‌خاک‌ورزی (شخم با دستگاه چیزل- پکر+ کاشت با ردیف‌کار) و کاشت مستقیم (کاشت در زمین شخم‌نخورده) می‌باشند. عملیات کاشت در روش مرسوم با استفاده از بذرپاش و پوشاندن بذر توسط دیسک، و در روش کم‌خاک‌ورزی توسط ردیف‌کار انجام شد. اطلاعات مربوط به ادوات و ماشین‌های مورد استفاده در روش‌های مختلف در جدول 1 آورده شده است.

با استفاده از معادله کوکران (معادله 1) تعداد 30 بهره‌بردار برای ارزیابی انتخاب شدند (Snedecor & cochran, 1989).

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

که در آن، n= حجم نمونه (تعداد)، N= حجم جامعه (تعداد)، s= پیش برآورد انحراف معیار جامعه، t= 1/96 (در سطح اطمینان 95%) و d= دقت احتمالی مطلوب (0/5) می‌باشند.

جمع‌آوری داده‌ها از طریق نمونه‌گیری تصادفی و مصاحبه با کشاورزان مختلف (15 بهره‌بردار روش رایج، 10 بهره‌بردار روش کم‌خاک‌ورزی و پنج بهره‌بردار کاشت مستقیم) و تکمیل پرسش‌نامه انجام شد. برخی اطلاعات مربوط به نهاده‌های مختلف (ماشین‌های کشاورزی، بذر، کود، سوخت و سموم) در هر یک از روش‌ها جمع‌آوری

جدول 1- مشخصات ادوات مورد استفاده

Table1- Properties of applied equipments

نام ادوات Name of equipments	نوع عملیات Operation type	مشخصات ادوات Equipments properties	عمق کار Working depth (cm)	عرض کار Working Width (cm)	سرعت عملیات (Km/hr) Operation speed
ادوات روش مرسوم Conventional method equipments					
گاوآهن برگرداندار Moldboard plough	خاک‌ورزی اولیه Primary tillage	سه خیش 3-Bottom	20-25	90	4-6
هرس بشقابی 28 پره Disk harrow	خاک‌ورزی ثانویه Secondary tillage	قطر بشقاب 51 سانتی‌متر Disk diameter=51cm	8-10	224	6-8
بذرپاش سانتریفوژ Centrifugal Seed-broadcaster	کاشت Planting	-	-	-	6-8
ادوات روش کم‌خاک‌ورزی Reduced tillage method equipments					
چیزل پکر Chisel-packer	خاک‌ورزی Tillage	پنج ردیفه 5- row	20-25	175	6-8
دستگاه ردیف‌کار Row planter	کاشت Planting	چهار ردیفه 4- row	4-6	200	6-8
ادوات کاشت مستقیم Direct seeding method equipments					
دستگاه کشت مستقیم سماتو[1] Direct planter	کاشت مستقیم Direct seeding	شش ردیفه 6- row	4-6	300	6-8

1-Semato

راندمان انرژی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی و انرژی خالص از معادلات 2 تا 5 محاسبه شد (Mohammadi & Omid, 2010).

$$E_e = \frac{E_O}{E_I} \quad \text{(معادله 2)}$$

که در آن، Ee= راندمان انرژی، E_O= انرژی خروجی (مگاژول بر هکتار) و E_I= انرژی ورودی (مگاژول برهکتار) می‌باشند.

$$E_p = \frac{Y}{E_I} \quad \text{(معادله 3)}$$

که در آن، E_P= بهره‌وری انـرژی (کیلـوگرم بـر مگـاژول)، Y= عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار) و E_I= انرژی ورودی (مگاژول برهکتار) می‌باشند.

$$E_T = \frac{E_I}{Y} \quad \text{(معادله 4)}$$

که در آن، E_T= شدت انرژی (مگاژول برکیلوگرم)، Y= عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار) و E_I= انرژی ورودی (مگاژول برهکتار) می‌باشند.

$$N_e = E_O - E_I \quad \text{(معادله 5)}$$

که در آن، N_e= انرژی خالص (مگاژول در هکتار)، E_O= انـرژی خروجی (مگاژول بر هکتار) و E_I= انرژی ورودی (مگاژول برهکتار) می‌باشند.

جدول 2- ضرایب معادل انرژی برای ورودی‌ها و خروجی‌ها در نظام تولید آفتابگردان

Table 2- Energy equivalent coefficients of inputs and outputs in sunflower production systems

نهاده Input	معادل انرژی (مگاژول بر واحد) Energy equivalent (MJ. Unit^{-1})	واحد Unit	منبع Reference
ورودی‌ها (الف a- Inputs			
نیروی کارگری Human labor	1.96	ساعت hr	Haj-Seyed-Hadi, 2012
ماشین‌های کشاورزی Agricultural machinery	62.7	ساعت hr	Singh et al., 2007
سوخت Fuel	47.8	لیتر l	Singh et al., 2007
بذر Seed	14.8	کیلوگرم kg	Singh et al., 2007
سموم شیمیایی Toxicants			
علف‌کش Herbicide	238	لیتر l	Mirhaji et al., 2014
آفت‌کش pesticide	199	لیتر l	Namdari et al., 2011
قارچ‌کش‌ها Fungicide	92	لیتر l	Ozkan et al., 2004
کودهای شیمیایی Chemical fertilizers			
نیتروژن Nitrogen	66.14	کیلوگرم kg	Ozkan et al. (2004)
فسفر Phosphate	12.44	کیلوگرم kg	Ozkan et al. (2004)
پتاسیم Potassium	11.15	کیلوگرم kg	Ozkan et al. (2004)
خروجی (ب B-Output			
دانه آفتابگردان Sunflower seed	28.5	کیلوگرم kg	Mehrabi-Boshrabadi & Esmaaeli (2012)

مقدار انرژی در نهاده‌های مصرفی (نیروی کارگری، ماشین‌های کشاورزی، سوخت، بذر، کودها و سموم شیمیایی) از حاصل‌ضرب میزان مصرف آنها در هکتار در معادل انرژی آنها محاسبه گردید. انرژی تولیدی آفتابگردان از حاصل‌ضرب عملکرد در معادل انرژی آن محاسبه شد. سایر محاسبات انرژی برای ورودی و خروجی‌های مورد استفاده در هر روش با استفاده از ضرایب بدست آمده از سایر منابع انجام شد (جدول 2).

پتانسیل گرمایش جهانی(GWP) عبارت از جمع گازهای گلخانه ای تولید شده است که به صورت معادل CO_2 بیان می‌شوند (IPCC, 1996). گازهای گلخانه‌ای عمده عبارت از دی اکسیدکربن (CO_2)، نیترو اکسید (N_2O)، متان (CH_4)، ازن و گازهای دیگر می‌باشند. در بین این گازها دی اکسیدکربن، متان و نیترواکسید به دلیل طول عمر زیاد و میزان تابش امواج فروسرخ از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای هستند، از این‌رو، در گزارش‌های مربوطه به میزان نشر گازهای گلخانه‌ای عمدتاً نشر این گازها را در نظر گرفته می‌شود. برای محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی، دی‌اکسید کربن به عنوان مبنای تعیین میزان تأثیر گازهای گلخانه‌ای بر گرمایش زمین در نظر گرفته شد و پتانسیل گرمایش سایر گازهای گلخانه‌ای بر گرمایش سایر گازها نسبت به این گاز سنجیده شد. ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای نهاده‌های کشاورزی در جدول 3 نشان داده شده است.

جدول 3- ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای نهاده‌های کشاورزی

Table 3- Greenhouse gas emission coefficients of agricultural inputs

ورودی‌ها Inputs	واحد Unit	معادل کیلوگرم دی اکسیدکربن kg CO_2 eq.unit^{-1}	منبع Reference
ماشین‌های کشاورزی Agriculture machinery	مگاژول MJ	0.071	Dyer & Desjardins (2006)
سوخت دیزل Diesel fuel	لیتر l	2.76	Dyer & Desjardins (2006)
کودهای شیمیایی Chemical fertilizers			
نیتروژن Nitrogen	کیلوگرم kg	1.3	Lal (2004)
فسفر Phosphorus	کیلوگرم kg	0.2	Lal (2004)
پتاسیم Potassium	کیلوگرم kg	0.2	Lal (2004)
مواد شیمیایی chemicals	کیلوگرم kg		
قارچ‌کش	کیلوگرم kg	3.9	Lal (2004)
حشره‌کش	کیلوگرم kg	5.1	Lal (2004)
علف‌کش	کیلوگرم kg	6.3	Lal (2004)

مقادیر نهاده‌های مختلف جهت تولید محصول در یک هکتار زمین در هر یک از روش‌های زراعی در جدول 4 نشان شده است. همچنین تفاوت روش‌های مختلف از نظر عملیات زراعی و ورودی نشان داده شده است.

در نهایت، داده‌های مربوط به نهاده‌ها و خروجی‌ها با توجه به معادل‌های انرژی طبق جدول 2 به واحد مگاژول در هکتار تبدیل شدند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از برنامه Excel استفاده شد.

جدول 4- مقادیر ورودی‌های مختلف جهت تولید محصول آفتابگردان در هکتار در روش‌های مختلف

Table 4- Input contributions in sunflower production per hectare in various methods

ورودی Input	واحد Unit	کشت مستقیم Direct seeding	روش کم‌خاک‌ورزی Reduced tillage	روش مرسوم Conventional tillage
سوخت Fuel	لیتر l	60	90	120
نیروی انسانی Human labor	ساعت hr	50	80	130
بذر Seed	کیلوگرم kg	10	10	12
کودها و سموم شیمیایی Fertilizers & Toxicants				
کود نیتروژن Nitrogen	کیلوگرم kg	75	75	75
کود فسفر Phosphate	کیلوگرم kg	30	30	30
پتاسیم Potassium	کیلوگرم kg	50	50	50
علف‌کش Herbicide	لیتر l	3	1.5	-
آفت‌کش pesticide	لیتر l	1	1	1
عملیات زراعی Farming operations				
شخم Plowing	مرتبه Time	-	1	1
دیسک‌زنی Disking	مرتبه Time	-	-	2
لولر Land levering	مرتبه Time	1	1	1
کاشت Sowing	مرتبه Time	1	1	1
پخش کود Fertilizer Application	مرتبه Time	1	1	1
پخش علف‌کش (پیش‌کاشت) Herbicide Application	مرتبه Time	1	-	-
پخش علف‌کش (پس از کاشت) Herbicide Application	مرتبه Time	1	1	-
پخش آفت کش Pesticide Application	مرتبه Time	1	1	1
کود سرک Fertilizer Application	مرتبه Time	1	1	1
برداشت Harvesting	مرتبه Time	1	1	1
حمل و نقل Transport	مرتبه Time	1	1	1

نتایج و بحث

مقادیر انرژی ورودی و سهم هر کدام در روش‌های مختلف در جدول 5 نشان داده شده است. میزان انرژی مربوط به هر کدام از نهاده‌ها از حاصل ضرب مقدار مصرف در معادل انرژی هر نهاده محاسبه شد (جدول 2). نتایج نشان داد که جهت تولید آفتابگردان از لحاظ مجموع انرژی مصرفی، بیشترین و کمترین مقدار به ترتیب به

روش رایج (13971 مگاژول بر هکتار) و کشت مستقیم (10865 مگاژول بر هکتار) اختصاص یافت. انرژی مصرفی بیشتر در روش رایج در مقایسه با روش‌های حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و کاشت مستقیم) مربوط به انجام عملیات اضافی و انرژی‌خواه شخم (مصرف بیشتر سوخت) می‌باشد. نتایج مشابهی توسط پژوهشگران دیگر گزارش شده است (Razzaq et al., 2008; Almassi et al., 2008).

در روش رایج بیشترین مقدار انرژی مصرفی مربوط به سوخت (43/5 درصد) وکود نیتروژن (36/7 درصد) بود. مصرف سوخت بیشتر در روش رایج، بدلیل زیاده‌روی در انجام عملیات خاک‌ورزی و انجام عملیات سنگین و انرژی‌بر شخم می‌باشد. بیشترین مقدار انرژی مصرفی در روش‌های حفاظتی مربوط به کود نیتروژن (44 درصد) و سوخت (32 درصد) بود و کمترین مقدار انرژی مصرفی در روش‌های مختلف به حمل و نقل (0/5 درصد) و سایر عملیات زراعی شامل لولر، کاشت، پخش کود و سم (0/7 درصد) اختصاص یافت. سوخت مصرفی به عنوان یکی از ورودی‌های انرژی برای عملیات آماده‌سازی زمین، عملیات زراعی و حمل و نقل استفاده می‌شود. نتایج این تحقیق نشان دادکه مقدار مصرف سوخت در خاک‌ورزی مرسوم (120 لیتر در هکتار)، حدود 60 درصد بیشتر از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتیً (75 لیتر در هکتار) بود (جدول 4). استفاده زیاد از سوخت‌های فسیلی در کشاورزی، موجب ایجاد گازهای گلخانه‌ای و آلودگی زیست محیطی می‌شود. ضرورت کاهش مصرف سوخت و جایگزینی سوخت‌های فسیلی با مواد سوختی دیگر حتی برای کشورهای صادرکننده هم وجود دارد. نتایج مشابه توسط پژوهشگران دیگر گزارش شده است (Koocheki & Hosseini, 1999). یکی از روش‌های کاهش مصرف سوخت و در نتیجه کاهش آلاینده‌های ناشی از آن بکارگیری سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی است. همزمان با اقداماتی که برای بهبود عملیات مدیریتی کشاورزی انجام می‌شود، در جهت افزایش عملکرد آفتابگردان نیز باید تلاش کرد.

در هر سه روش در مقایسه با سایر نهاده‌ها،کودهای شیمیایی بیشترین سهم انرژی ورودی را داشتند. از کل انرژی ورودی، بیشترین سهم انرژی کودهای شیمیایی (55٪) در روش کشت مستقیم و کمترین سهم (45٪) مربوط به روش مرسوم بود. مصرف زیاد کودهای شیمیایی علاوه بر کاهش کارایی انرژی مصرفی، می‌تواند باعث آلودگی منابع آبی و خاکی شود.

همان‌طور که در جدول3 مشاهده می‌شود اگرچه برای ساخت هر کیلوگرم انواع سموم شیمیایی انرژی فراوانی به مصرف می‌رسد، اما چون حجم مصرفی سموم در زراعت به مراتب کمتر از کود شیمیایی می‌باشد، بیشترین انرژی غیرمستقیم وارد شده به مزرعه ناشی از مصرف کودهای شیمیایی می‌باشد. به نظر می‌رسد با استفاده از انجام آزمون خصوصیات خاک و تعیین مقادیر مناسب کودهای مورد نیاز بر اساس آزمون خاک و نیاز گیاه و با مصرف بهینه کودهای شیمیایی، علاوه بر حفظ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه و کاهش آلودگی‌های محیط میتوان کارایی انرژی را با شرایط موجود افزایش داد. نتایج مشابهی توسط پژوهشگران دیگر گزارش شده است (Adnan et al., 2009; Mrini et al., 2002; Ahmadi-Hamzian & Hassanzadeh qourt-tapeh, 2008). در پژوهش‌های دیگری نیز محققان به این نتیجه رسیدند که بیشترین انرژی مصرفی در تولید غلات مربوط به کود نیتروژن و ماشین‌های کشاورزی می‌باشد (Kazemi et al., 2015; Ghorbani et al., 2011; Alipour et al., 2013; Abdollahpour & Zarei, 2010).

انرژی ورودی مستقیم (سوخت و نیروی انسانی) و غیرمستقیم (انرژی مورد نیاز برای تهیه و تولیدکودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، بذر و ماشین‌های کشاورزی) و سهم هر کدام در روش‌های مختلف در جدول 6 نشان داده شده است.

با توجه به اینکه آب آبیاری، سوخت و نیروی انسانی به ترتیب بیشترین تأثیر را در انرژی مصرفی مستقیم دارند، اما چون مطالعه انرژی آفتابگردان در شرایط دیم می‌باشد، در هر سه سیستم تولید، مصرف سوخت بیشترین مقدار انرژی مصرفی مستقیم را به خود اختصاص داد. چنانچه در جدول 6 ملاحظه می‌شود، روش رایج و کاشت مستقیم به ترتیب بیشترین و کمترین میزان مصرف انرژی سوخت داشتند. مصرف سوخت بیشتر در روش مرسوم نسبت به روش‌های حفاظتی، به دلیل انرژی‌بر بودن عملیات شخم و تعدد عملیات تولید در روش مرسوم می‌باشد. نتایج مشابه نشان داد که استفاده از ماشین‌های کشاورزی در مزارع مکانیزه عامل اصلی افزایش مصرف سوخت و انرژی مصرفی مستقیم می‌باشد (Yosefi et al., 2011).

جدول 5- مقادیر انرژی ورودی آفتابگردان به تفکیک روش زراعی در هر روش بر حسب مگاژول بر هکتار

Table 5- Energy inputs ($MJ.ha^{-1}$) in farming operations for each sunflower production system

ورودی Input	کشت مستقیم Direct seeding		کم‌خاک‌ورزی Reduced tillage		خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage	
	میانگین Mean	درصد از کل Share %	میانگین Mean	درصد از کل Share %	میانگین Mean	درصد از کل Share %
سوخت Fuel	2868	27.1	4302	36.3	5736	43.5
نیروی انسانی Human labor	98	0.9	156.8	1.3	254.8	1.9
بذر Seed	285	2.7	285	2.4	285	2.2
کود نیتروژن N Fertilizer	4960.5	46.8	4960.5	41.9	4960.5	37.6
کود فسفر P Fertilizer	373.2	3.5	373.2	3.1	373.2	2.8
پتاسیم K Fertilizer	557.5	5.3	557.5	4.7	557.5	4.2
علف‌کش Herbicide	714	6.7	357	3.0	375	2/7
آفت‌کش pesticide	199	1.88	199	1.68	199	1.5
شخم Plowing	0	0.0	172.7	1.5	219.8	1.7
دیسک‌زنی Disking	0	0.0	0	0.0	188.4	1.4
لولر Land leveling	94.2	0.9	94.2	0.8	94.2	0.7
کاشت Sowing	94.2	0.9	94.2	0.8	94.2	0.7
پخش کود Fertilizer Application	94.2	0.9	94.2	0.8	94.2	0.7
پخش علف‌کش Herbicide Application	150.72	1.4	94.2	0.8	-	-
پخش آفت کش Pesticide Application	94.2	0.9	94.2	0.8	94.2	0.7
کود سرک Fertilizer Application	94.2	0.9	94.2	0.8	94.2	0.7
برداشت Harvesting	125.6	1.2	125.6	1.1	125.6	1.0
حمل و نقل Transport	62.8	0.6	62.8	0.5	62.8	0.5
کل Total	10865	100.0	12117	100.0	13791	100.0

سوخت، نیروی انسانی و آب آبیاری از عواملی هستند که دربخش انرژی مصرفی مستقیم قرار می‌گیرند. در این پژوهش چون محصول دیم بود، سوخت و نیروی انسانی به عنوان انرژی مستقیم در نظر گرفته شدند. چنانکه در جدول 6 مشاهده می‌شود که بیشترین انرژی ورودی مستقیم در مزارع آفتابگردان مربوط به سوخت و غیرمستقیم مربوط به کود نیتروژن بود که بایستی با مدیریت صحیح در مصرف بهینه آنها گام برداشت. مصرف این نهاده‌ها نه تنها هزینه تولید را افزایش می‌دهد، بلکه سبب آلودگی

محیط و منابع آب و خاک نیز می‌شود. نتایج مشابه توسط پژوهشگران دیگر گزارش شده است (Mehrabi-Boshrabadi & Esmaaeli, 2012; Safa & Tabatabaeefar, 2002; Valadiani et al., 2002).

مصرف بیشتر انرژی مستقیم ناشی از مصرف سوخت در روش مرسوم مربوط به تعدد انجام عملیات تولید و عملیات سنگین شخم می‌باشد. کاهش تعداد عملیات و صرفه‌جویی در مصرف انرژی از مزایای خاک‌ورز حفاظتی می‌باشند. تجزیه و تحلیل روش‌های تولید محصولات زراعی با اتکاء به دیدگاه‌های بوم‌شناسی، مصرف انرژی یکی از روش‌های مناسب برای شناخت علل افزایش یا رکود سطح زیر کشت محصولات در یک منطقه خاص است. با تجزیه و تحلیل مصرف انرژی و تعیین سهم هر یک از انرژی‌های فسیلی و تجدید شونده که به طور مستقیم یا غیرمستقیم در تولید محصول زراعی نقش دارند، می‌توان روش‌های افزایش کارآیی و بهره وری منابع آب، خاک و نهاده های شیمیایی و امکان استقرار یک نظام تولید بوم-سازگار را بررسی کرد.

6- مقادیر انرژی ورودی مستقیم و غیرمستقیم در هر روش بر حسب مگاژول بر هکتار

Table 6- Direct and indirect energy inputs ($MJ.ha^{-1}$) for each sunflower production system

ورودی Input	کشت مستقیم Direct seeding		کم‌خاک‌ورزی Reduced tillage		خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage	
	میانگین Mean	درصد از کل Share %	میانگین Mean	درصد از کل Share %	میانگین Mean	درصد از کل Share %
انرژی مستقیم Direct energy						
سوخت Fuel	2868.0	27.1	4302.0	36.3	5736.0	43.5
نیروی انسانی Human labor	98.0	0.9	156.8	1.3	254.8	1.9
انرژی غیرمستقیم Indirect energy						
بذر Seed	285	2.7	285	2.4	285	2.2
کود نیتروژن N Fertilizer	4960.5	46.8	4960.5	41.9	4960.5	37.6
کود فسفر P Fertilizer	373.2	3.5	373.2	3.1	373.2	2.8
پتاسیم P Fertilizer	557.5	5.3	557.5	4.7	557.5	4.2
علف‌کش Herbicide	714.0	6.7	357.0	3.0	-	-
آفت‌کش pesticide	199	1.88	199	1.68	199	1.5
حمل و نقل Transport	62.8	0.6	62.8	0.5	62.8	0.5
ماشین‌های کشاورزی Agricultural machinery	810.1	7.6	926.3	8.7	1067.6	10.1
کل Total	10865	100.0	12117	100.0	13791	100.0

میزان انرژی تجدیدپذیر (نیروی انسانی و انرژی بذر) و تجدیدناپذیر (سوخت،کود، ماشین‌های کشاورزی، آفت‌کش‌ها و حمل و نقل) در جدول 7 نشان می‌دهد که در هر سه سیستم تولید، بخش زیادی از انرژی مصرفی مربوط به انرژی تجدیدناپذیر است. یوسفی و همکاران (Yosefi et al., 2011) در بررسی انرژی گندم دیم نتایج مشابه گزارش کردند. استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در کشاورزی

می‌تواند موجب اصلاح بازده انرژی و پایداری در تولید شود، زیرا منابع انرژی (مانند سوخت‌های فسیلی) محدود هستند و از طرفی موجب تخریب محیط زیست می‌شوند. بنابراین با مدیریت بیشتر در مصرف دقیق و بموقع نهاده‌ها و استفاده از ماشین‌های کشاورزی در زمان بهینه و پرهیز از انجام عملیات اضافی می‌توان تا حدی در میزان انرژی‌های ورودی تجدیدناپذیر صرفه‌جویی نمود. البته باید توجه کردکه میزان صرفه‌جویی انرژی ورودی (ناشی از کاهش مصرف نهاده‌ها)، بیشتر از میزان کاهش انرژی خروجی (ناشی از کاهش عملکرد محصول) باشد. در غیر این‌صورت بهره‌وری کاهش خواهد یافت.

جدول 7- مقادیر انرژی ورودی، خروجی و روابط انرژی در سه سیستم تولید آفتابگردان

Table 7- Energy input, output (MJ. ha^{-1}) and energy indices for three sunflower production method

شکل‌های مختلف انرژی Energy types	کشت مستقیم Direct seeding	روش کم‌خاک‌ورزی Reduced tillage	روش مرسوم Conventional tillage
ورودی‌ها **Inputs**			
مستقیم Direct (MJ.ha^{-1})	2966.0	4587	5990.8
غیرمستقیم Indirect (MJ.ha^{-1})	7899	7559	7800
کل Total (MJ.ha^{-1})	10865	12117	13791
تجدیدپذیر Reproducible (MJ.ha^{-1})	383	442	540
تجدید ناپذیر Irreproducible (MJ.ha^{-1})	10302	11675	13251
خروجی‌ها **Outputs**			
عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	1545.0	1680.0	1475.0
انرژی خروجی دانه Seed energy (MJ.ha^{-1})	44033	47880	42038
بازده انرژی Energy efficiency (%)	4.05	3.95	3.05
بهره‌وری انرژی Energy productivity (kg.MJ^{-1})	0.15	0.14	0.11
شدت انرژی Energy intensity (MJ.kg^{-1})	6.9	7.1	8.9
انرژی خالص Energy gain (MJ)	33167	35863	28247

میزان بهره‌وری انرژی در کشت رایج از دو روش دیگر کمتر است (جدول 6). دلیل این امر سهم زیاد انرژی ماشین‌ها و سوخت و نیز استفاده بیشتر از نیروی انسانی و عملکرد پایین در واحد سطح می‌باشد. یکی از دلایل افزایش راندمان در سیستم‌های کشاورزی، مصرف کمتر نهاده‌ها معرفی می‌باشد. نتایج مشابه توسط پژوهشگران دیگر گزارش شد (Feyzbakhsh & Soltani, 2013). در روش خاک‌ورزی رایج، به دلیل مصرف بیشتر انرژی را برای تولید محصول، بهره‌وری انرژی (0/11کیلوگرم بر مگاژول) کمتر بود. این در حالی است که در روش‌های حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و کاشت مستقیم) بدلیل صرفه‌جویی در مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی (0/15 کیلوگرم بر مگاژول) نسبت به روش رایج بیشتر بود. بهره‌وری انرژی از طریق افزایش عملکرد محصول یا کاهش مصرف انرژی افزایش می‌یابد.

مقایسه عملکرد دانه در روش مختلف نشان می‌دهد که در دو روش حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و کشت مستقیم) از روش رایج بهتر است. این امر به دلیل اثر مثبت روش‌های حفاظتی در حفظ رطوبت خاک در شرایط دیم می‌باشد. اگر در بحث انتخاب روش برتر، فقط

عملکرد محصول در نظر گرفته شود روش کم‌خاک‌ورزی روش برتر خواهد بود، اما با توجه به بهره‌وری انرژی، کاهش آلودگی محیط زیست و به منظور پایداری در تولید کاشت مستقیم به عنوان روش برتر معرفی می‌شود.

جدول 8- مقادیر پتانسیل گرمایش جهانی (بر حسب معادل کیلوگرم CO_2 در هکتار) در سه روش خاک‌ورزی آفتابگردان

Table 8- Global warming potential (based on kg CO_2 eq.ha^{-1}) for three sunflower production system

عملیات Operation	کشت مستقیم Direct seeding		روش کم‌خاک‌ورزی Reduced tillage		روش مرسوم Conventional tillage	
نهاده‌های تولید Inputs	میانگین Mean	درصد از کل Share %	میانگین Mean	درصد از کل Share %	میانگین Mean	درصد از کل Share %
کود نیتروژن N Fertilizer	685.6	47.3	685.6	42.5	685.6	37.5
کود فسفر P Fertilizer	51.5	3.5	51.5	3.2	51.5	2.8
پتاسیم P Fertilizer	77.1	5.3	77.1	4.8	77.1	4.2
سموم شیمیایی Pesticides	126	7.7	77	4.8	77	4.2
سوخت Fuel	396	27.5	594	36.8	793	43.3
ماشین‌های کشاورزی Agricultural machinery	112	7.7	128	7.9	148	8.1
کل Total	1449	100.0	1614	100.0	1831	100.0

پتانسیل گرمایش جهانی در روش‌های مختلف کاشت در جدول (7) نشان داده شده است. بیشترین و کمترین مقدارپتانسیل گرمایش جهانی به ترتیب مربوط به روش مرسوم (1831 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار) و کشت مستقیم (1449 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار) می‌باشد (جدول 8). پتانسیل گرمایش جهانی بیشتر در روش رایج، بدلیل تعداد عملیات خاک‌ورزی بیشتر و انرژی‌بر بودن عملیات شخم می‌باشد که موجب مصرف سوخت بیشتر و به تبع آن افزایش پتانسیل گرمایش جهانی در مقایسه با روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و کاشت مستقیم می‌باشد. زیاده‌روی در استفاده از ماشین‌های کشاورزی و انجام عملیات متعدد، عامل اصلی افزایش مصرف سوخت و افزایش قابل‌ملاحظه انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از برگردانی خاک می‌باشد. نتایج مشابهی توسط پژوهشگران دیگر گزارش شده است (Yosefi et al., 2011; Khalili-Araqi et al., 2013; Reicosky & Lindstorm, 1993). مقدار پتانسیل گرمایش جهانی محاسبه شده در این مطالعه، نسبت به ارقام گزارش شده توسط سایر محققین کمتر می‌باشد. علت آن مطالعه تولید آفتابگردان در شرایط دیم (عدم نیاز به آبیاری و انرژی پمپاژ آب) می‌باشد. به طوری دستان و همکاران (Dastan et al., 2014) مقدار پتانسیل گرمایش جهانی در شالیزار را 2728 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار گزارش کردند.

در خاک‌ورزی مرسوم، پتانسیل گرمایش جهانی حاصل از مصرف سوخت بیشترین مقدار تولید گازهای گلخانه‌ای (43/3 درصد) را به خود اختصاص داده است. پس از آن مصرف کود نیتروژن و ماشین‌های کشاورزی در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. بنابراین با کاهش میزان سوخت مصرفی (نوسازی ماشین‌های کشاورزی و استفاده از ادوات جدید و پیشرفته، انجام عملیات در رطوبت بهینه خاک و پرهیز از انجام عملیات اضافی) می‌توان میزان تولید گازهای گلخانه‌ای را کاهش داد. مصرف بیشتر نهاده سوخت علاوه بر کاهش بهره‌وری انرژی، موجب افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای و آلودگی زیست محیطی می‌شود. نتایج مشابه توسط پژوهشگران دیگر گزارش شد (Lal, 2004; Noor-Mohammadi et al., 2014). در روش کاشت مستقیم و کم‌خاک‌ورزی، پتانسیل گرمایش جهانی حاصل از مصرف کود نیتروژن بیشترین مقدار تولید گازهای گلخانه‌ای (47/3 و 42/5 درصد) را به خود اختصاص داده است. با دقت بیشتر در جدول

(8) مشاهده می‌شود که در هر سه روش کود نیتروژن بخش زیادی از تولید گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص داده است. بر اساس نظر کارشناسان خاک و آب، در مصرف کود نیتروژن در منطقه زیاده‌روی می‌شود. بنابراین برای توصیه‌های کودی، بایستی نمونه‌برداری از خاک هر منطقه و تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میزان حاصل‌خیزی آن را به عنوان مهم‌ترین معیار در نظر گرفت و با مصرف بهینه کود نیتروژن بدون کاهش معنی‌دار در عملکرد محصول، میزان تولید گازهای گلخانه‌ای را کاهش داد. مطابق جدول 5 و 6، تفاوت قابل توجهی در انرژی ورودی نهاده‌ها و عملیات زراعی و انتشار گازهای گلخانه‌ای وجود داشت. این تفاوت قابل توجه در میزان مصرف نهاده‌ها و عملیات زراعی در روش‌های مختلف تولید، بیانگر مدیریت نادرست مصرف نهاده‌ها و زیاده‌روی در انجام عملیات و مصرف سوخت است که موجب افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. بنابراین زمینه مناسبی برای اصلاح کارآیی مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در روش‌های تولید آفتابگردان وجود دارد.

نتیجه‌گیری

امروزه، به دلیل درک ضرورت حفظ منابع طبیعی و نیز عواقب ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاهش دادن استفاده از انرژی سوخت‌های فسیلی در کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین توسعه نظام‌های کشاورزی با حداقل انرژی ورودی از جمله کاهش اتکا به انرژی ورودی، می‌تواند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک شایانی نماید. با توجه راندمان بیشتر انرژی (4 درصد) در روش‌های حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و کاشت مستقیم) نسبت به روش رایج (سه درصد)، پیشنهاد می‌شود مصرف کودهای شیمیایی بر اساس نمونه‌گیری از خاک و توصیه کارشناسان خاک و آب انجام شود. همچنین با نوسازی ماشین‌های کشاورزی فرسوده، انجام عملیات در زمان بهینه و انجام همزمان عملیات و پرهیز از انجام عملیات اضافی می‌توان میزان مصرف سوخت و آلودگی زیست محیطی حاصل از آن را کاهش داد و کارآیی انرژی در تولید آفتابگردان را افزایش داد. همچنین بخش زیادی از انرژی مصرفی مربوط به انرژی تجدیدناپذیر است که با استفاده از کودهای حیوانی و زیستی (جایگزینی منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر) می‌توان درصد استفاده از منابع تجدیدپذیر در تولید آفتابگردان افزایش می‌یابد. با وجود پایین بودن راندمان انرژی و بالابودن میزان تولید گازهای گلخانه‌ای در تولید آفتابگردان روغنی به روش مرسوم، ادامه شرایط موجود علاوه بر اتلاف انرژی (بویژه نهاده سوخت)، منطقه را با خطر فرسایش خاک و آلودگی زیست‌محیطی مواجه خواهد ساخت. تلفیق استفاده از تجهیزات کارآمدتر و بکارگیری فناوری‌های مدرن با عملیات زراعی با کارایی بالاتر برای تولید گیاهان زراعی و استفاده از منابع انرژی جایگزین و یا تجدید شونده به منظور کاهش وابستگی به انرژی سوخت های فسیلی (کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای) نیز پیشنهاد می‌شود. همچنین معرفی و ترویج ادوات خاک‌ورزی حفاظتی (به منظور کاهش ترافیک مزرعه‌ای و به تبع آن کاهش مصرف سوخت)، کاهش تعداد و شدت عملیات آماده‌سازی (با انجام عملیات در زمان بهینه و نوع محصول) تناوب زراعی سازگار با شرایط منطقه، علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف انرژی موجب کاهش انتشارگازهای گلخانه‌ای خواهد شد.

منابع

Abbasi, F., Saadat-Fard, M., and Khalil-Alemi, A. 2009. Investigating the effect of various tillage methods on soil physical properties. The 5th National Conference on Agricicultural Machinery Engineering & Mechanization. 27-28 August. Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

Abdollahpour, S., and Zarei, S. 2010. Evaluation of energy balance in rainfed wheat fields of Kermanshah province. Journal of Sustainable Agriculture Knowledge 2: 97-106. (In Persian with English Summary)

Adnan, C., Altynta, G., and Erdal, G. 2009. Energy consumption patterns and economic analysis of irrigated wheat and rainfed wheat production. Case study for Tokat region. Turkey Journal of Food, Agriculture and Environment. 639-644.

Ahadi, M.S. 2014.Workshop on Empowering Departments in Calculating Greenhouse gas inventory. University of the Environment. Karaj, Iran. (In Persian)

Alipour, A., Keshavarz Afshar, R., Ghaleh Golab Behbahani, A., Karimi Nejad, A., and Mohammadi, V. 2013. Investigation of energy flow in irrigated wheat ecosystems: A case study: Rey town ship. Journal of Sustainable Agriculture Knowledge 23: 69-106. (In Persian with English Summary)

Ahmadi-Hamzian M., and Hassanzadeh Qourt-Tapeh A. 2008. Evaluation of energy and economy in nuts and oily seeds of sunflower in Khoy. Journal of Research in Crop Sciences 1 (2): 67-79. (In Persian with English Summary)

Almassi, M., Kiani, S., and Lovimi, N., 2008. Principles of Agricultural Mechanization (4th Ed.). Jungle Publications, Javdane. (In Persian)

Al-Kaisi, M.M., and Yin, X. 2005. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn–soybean rotations. Journal of Environmental Quality 34:437–445.

Amiri, S.R., and Rezvani Moghaddam, P. 2016. An Input–output energy and economical analysis of pistachio (*Pistacia vera* L.) Production systems in county of Zarand, Kerman province. Journal of Agroecology 8 (3): 452-462. (In Persian with English Summary)

Beare, M.H., Cabrera, M.L., Hendrix, P.F., and Coleman, D.C. 1994. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no-tillage soils. Soil Science Society American Journal 58:777–786.

Brentrup F., Küsters J., Lammel J., and Kuhlmann, H. 2000. Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. The International Journal of Life Cycle Assessment 5 (6): 349- 357.

Dastan, S., Soltani, A., Noor-Mohammadi, G., and Madani, H. 2014. CO_2 emissions and global warming potential due to energy consumption in rice planting systems. Journal of Agroecology 6 (4): 823-835. (In Persian with English Summary)

Department of the Environment (DE). 2014. National Greenhouse Accounts (NGA) Factors. Australian National Greenhouse Accounts, Available at: www.environment.gov.au

Erdal, G., Esengun, K., and Guduz, O. 2007. Energy use and economic analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. Energy 32(1): 34-5.

FAO. 2009. Energy use in Agriculture and Forestry. http://faostat. Fao.org/site/689/fault.aspx

Feyzbakhsh, M.T., and Soltani, A. 2013. Energy flow and global warming potential of corn farm (Gorgan). Engineering Journal of Crop Production 6 (2): 89-107. (In Persian with English Summary)

Geraghty, J. 2008. Sustainable crop production and climate change - reducing emissions in the Irish arable sector. In: Institute of International and European Affairs (Ed.) Proceedings of the Conference The Greening of Irish Agriculture, Institute of International and European Affairs, Dublin Castle, Ireland, pp. 20–21.

Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorramdel, S., Teimouri, M., Sanjani, S, Anvarkhah, S., and Aghel, H. 2011. A case study of energy use and economical analysis of irrigated and dryland wheat production systems. Applied Energy 88: 283-288.

Hatfield, J.L., Allmaras, R.R., Rehn, G.W., and Lowery, B. 1998. Ridge tillage for corn and soybean production: Environmental quality impacts. Soil and Tillage Research 48: 145-154.

Haj-Seyed-Hadi, M.R. 2012. Energy efficiency of potato crop in major production regions of Iran. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 4 (2): 51-53.

Hussaini, Y.I. 2011. Energy inputs and crop yield relationship for sesame production in North Central Nigeria. Journal of Agricultural Technology 7 (4): 907-914.

IEA. 2009. World Energy Outlook, Paris, France, www.iea.org.

Jastrow, J.D., Boutton, T.W., and Miller, R.M. 1996. Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbon-13 natural abundance. Soil Science Society American Journal 60:801–807.

Karbasi, A., and Rahimi, N. 2009. Environmental considerations of the energy sector. International Energy Agency (IEA).

Kazemi, H., Alizadeh, P., and Nehbandan, A. 2016. Investigation of energy flow in rainfed and irrigated wheat fields of Shahrekord under two tillage methods. Journal of Agroecology 8 (2): 281-295. (In Persian with English Summary)

Kazemi, H., Kamkar, B., Lakzaei, S., Badsar, M., and Shahbyki, M. 2015. Energy flow analysis for rice production in different geographical regions of Iran. Energy 84: 390-396.

Kern, J.S., and Johnson, M.G. 1993. Conservation tillage affects national soil and atmospheric carbon levels. Soil Science Society American Journal 57: 200–210.

Khalili-Araqi, M., Sharzehee, G.H., and Barkhordari, S. 2013. Analysis of CO_2 emission due to energy consumption in Iran. Environmental Sciences 38 (61): 93-104. (In Persian with English Summary)

Khanali, M., Elhami, B., Eslami, H., and Hosseinpoor, S. 2018. Evaluating and comparing environmental indicators of hybrid maize production with three different harvesting methods in Alborz province using the life cycle assessment

method. Journal of Agroecology 9 (4): 892-909. (In Persian with English Summary)

Mollafilabi, A., Khorramdel S., Amin-Ghafuri, A., and Hosseini, M. 2015. Evaluation of environmental impacts for saffron agroecosystems of Khorasan based on nitrogen fertilizer by using Life Cycle Assessment (LCA). Journal of Saffron Research 2: 152-166. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., and Hosseini, M. 1999. Energy productivity in agricultural ecosystems. Mashhad University Press, Iran. 317 pp. (In Persian)

Lal, R., and Kimble, J.M. 1997. Conservation tillage for carbon sequestration. Nutr Cycling Agroecosyst 49: 243–253.

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

Mehrabi-Boshrabadi, H., and Esmaaeli, A. 2012. Analysis of energy input-output in Iran agriculture. Agriculture Economy and Extension 19: 74. (In Persian with English Summary)

Merino, A., Perez-Batallon, P., and Macıas, F., 2004. Responses of soil organic matter and greenhouse gas fluxes to soil management and land use changes in a humid temperate region of southern Europe. Soil Biology and Biochemistry Journal 36: 917–925.

Mirhaji, H., Khojastehpoor, M., and Abaspoor-fard, M.H. 2014. Evaluation of environmental impacts of wheat production in Marvdasht of Iran. Publication Surrounding Life Natural. Iranian Journal of Natural Sources 66 (2): 223-232. (In Persian with English Summary)

Mohammadi, A., and Omid, M. 2010. Economic analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. Applied Energy 87: 191-196.

Mrini, M., Senhaji, F., and Pimentel, D. 2002. Energy analysis of sugar beet production under traditional and intensive farming systems and impact on sustainable agriculture in Morocco. Journal of Sustainable Agriculture 20 (4):5-27.

Namdari, M., Asadi-Kangarshahi, A., and Akhlaghi-Amiri, N. 2011. Input-output energy analysis of citrus production in Mazandaran province of Iran. African Journal of Agricultural Research 6 (11): 2558-2564.

Noor-mohammadi, J., Moolayee, K., Almassi, M., and Borqeae, A.M. 2014. Evaluation of energy indexes and their effects on irrigated wheat production (Neyriz of Fars). The 2th National Proceeding of Agricultural Machinery and Mechanization of Iran. 29-30 January. Mashhad, Iran. (In Persian)

Ozkan, B., Akcaoz, H., and Karadeniz, F. 2004. Energy requirement and economic analysis of citrus production in Turkey. Energy Conversion and Management 45 (2): 1821-1830.

Pazoki-torodi, M., Ajam-novrozi, H., Qanbari-malidareh, A., Dadashi, M.R., and Dastan, S. 2018. Assessment of energy bill and carbon dioxide emissions in wheat production fields. Journal of Agroecology 9 (4): 1168-1193. (In Persian with English Summary)

Piemental, D., Bevadi, G., and Fast, S. 1983. Energy efficiency of farming system: Organic and conventional agriculture. Agriculture, Ecosystems and Environment 9: 353-372.

Rahimi-Zadeh, M., Rezadost, S., Mehraban, A., and Marjani, A. 2008. Analysis of energy in agricultural ecosystems and strategies to increase energy efficiency. The 6th National Proceeding of Energy. 12-13 June. Tehran, Iran. (In Persian)

Rajabi, M.H., Soltani, A. Vhidnia, B, Zeinal, E., and Soltani, E. 2012. Evaluation of fuel Consumption in wheat fields in Gorgan. Environmental Sciences 9 (2): 143-164. (in Persian)

Razzaqi, M.H., khad-Alhoseini, N., and Jovkar, L. 2008. Study the effect of tillage reducing on energy consumption forage corn production. 2nd National Congress of Ecological Agriculture. (In Persian with English Summary)

Reicosky, D.C., Dugas, W.A., and Torbert, H.A. 1997. Tillage-induced soil carbon dioxide loss from different cropping systems. Soil and Tillage Research. 41:105–108.

Safa, M., and Tabatabaeefar, A. 2002. Energy consumption in wheat production in irrigated and dry land farming. Proceeding of international Agriculture Engineering, Wuxi, China, Now 28-30.

Shrestha, D.S. 1998. Energy use efficiency indicator for agriculture, Available at: http://www.usaskca/agriculture/caedac/ PDF/mcrae

Singh, G., Singh, S., and Singh, J. 2007. Optimization of energy inputs for wheat crop in Punjab. Energy Conversation and Management 45: 453-65.

Snedecor G.W., and Cochran, W.G. 1989. Statistical methods. Iowa State University Press.

Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L., and Fixen, P.E. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. Agricultural Ecosystem Environment 133 (3–4): 247-266.

Soltani, A., Bazrgar, A.B., Koocheki, A., Zeinali, E., Ghaemi, A.R., and Hajarpoor, A. 2015. Life Cycle Assessment (LCA) of sugar beet production in various production systems in Khorasan. Journal of Crop Production 8 (1): 43-62. (In Persian with English Summary)

Taheri-Rad, A. R., Nikkhah, A., Khojastehpour, M., and Nourozieh, S. 2015. Assessing GHG emissions, and energy and economic analysis of cotton production in the Golestan province. Journal of Agricultural Machinery 5 (2): 428-445.

Teimouri, I., Salarvandian, F., and Ziari, K. 2014. The ecological footprint of carbon dioxide from fossil fuels in Shiraz. Journal of Geographical Research 59 (1): 193-204.

Valadiani, A., Hasanzadeh-Ghourtapeh, A., and Valadiani, R. 2005. Study of energy balance in dryland wheat seed cultivars in seed reproduction fields and its effect on the environment in East Azerbaijan province. Journal of Agricultural Sciences 15: 1-12. (In Persian with English Summary)

Yosefi, M., Mahdavi-Damghani, A., Khosh-bakht, K., and Veisy, H. 2011. Renewable and non-Renewable energy use pattern of rainfed wheat agroecosystems in Iran. Wold Applied Sciences 13 (6): 1389-1403.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.2, Summer 2019, p. 739-755

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 11، شماره 2، تابستان 1398، ص 755-739

Comparison of Energy Productivity and Global Warming Potential in Rain-fed Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Production Systems

Z. Omidmehr[1]*

Submitted: 09-09-2015
Accepted: 23-04-2018

Z. Omidmehr. 2019. Comparison of Energy productivity and global warming potential in rain-fed sunflower (*Helianthus annuus* L.) production systems. Journal of Agroecology. 11(2): 739-755.

Introduction

The main objective in agriculture production, so far, focused mostly on the increase of yield and production. Whereas today, economical and sustainable production is more important with regard to product quality, reduction of input consumption, conservation of natural resources and environment. Conservation tillage methods stabilize the soil productivity, reduce greenhouse gas emissions and protect the environment. The atmospheric concentration of greenhouse gases (GHGs) has been increased considerably in recent year's, as a result, human activities. Carbon dioxide (CO_2) is the most important anthropogenic GHG; its annual emissions increased by about 80% between 1970 and 2004. Conservation tillage systems are increasingly considered as sustainable options to reduce the aftermaths of improper soil tillage. The objective of this study was to investigate energy flow and greenhouse gases emissions of sunflower production in three different tillage methods in northeastern part of Iran.

Materials and methods

In order to evaluate the effect of three methods of sunflower production (conventional tillage and sowing, reduced tillage and direct seeding method) on energy consumption and global warming potential in rainfed conditions, this study was performed in the Kalpoosh of shahrood. Data were gathered from thirty representative fields by using a face-to-face questionnaire method and monitoring production practices and inputs used. After gathering of data, energy parameters and global warming potential were calculated based on CO_2 balance. The energy amount of each input was calculated by multiplying the amount of consumed input on energy's equivalent. The output energy of sunflower was calculated by multiplying the crop yield on energy's equivalent. Other calculations of inputs and outputs in each method were calculated by energy coefficients.

Results and discussion

The results indicated that total input energy in the conventional method, reduced tillage, direct seeding were 13169, 11814 and 10600 $MJ.ha^{-1}$, respectively. Thus, conventional method had the highest rate of energy consumption (30 % higher than of direct seeding). Similar results reported by some researchers. The highest amount of total energy input related to nitrogen fertilizer and diesel fuel. Seedbed preparation had the highest rate of fuel and energy consumption (43.5 %) followed by nitrogen fertilizer (37.6). Maximum of direct and indirect consumed energy, related to fuel and nitrogen, respectively. Similar results reported by some researchers. In three tillage methods, the share of irreproducible energy was the highest and small share of total energy consumption related to renewable energy. Rajabi et al. (2011) reported similar results. The energy efficiency of conventional method was less than other methods. This is due to the high share of machinery and fuel energy and greater use of workers and low yield per hectare. Reducing inputs consumption can be increased efficiency in agricultural systems. Feyzbakhsh and Soltani (2013) reported similar results. Maximum and

1- Academic member of Agricultural Engineering Research Department, Semnan (Shahrood) Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Shahrood, lran
(*- Corresponding Author Email: Zshamabadi @ gmail.com)
Doi:10.22067/jag.v11i2.49739

minimum of energy productivity related to direct seeding (0.15 $kg.MJ^{-1}$) and conventional method (0.11 $kg.MJ^{-1}$), respectively. Maximum and minimum of global warming potential (GWP) was related to conventional method (1731 $kg.CO_2\ eq.ha^{-1}$) and direct seeding (1405 $kg.CO_2\ eq.ha^{-1}$), respectively. This issue is compatible with more fuel consumption in conventional method compared with direct seeding. In conventional method, the most rate of GWP was related to fuel consumption (44.8%) followed by nitrogen fertilizer (38.8%) and farm machinery (8.3%).

Conclusions

Based on this study results, through reducing of fuel consumption (replacing of obsolescent machinery and usage of modern implement, performing of farm operations in suitable soil moisture content and preventing of additional operations) and accurate consuming of nitrogen (according to soil testing), it is possible to reduce fuel consumption, greenhouse gas emission and environmental pollutions.

Keywords: Carbon dioxide, Direct seeding, Greenhouse gases emissions, Tillage