نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۰، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷، ص. ۸۹۵-۸۷۵

Journal of Agroecology
Vol. 10, No.3, Fall 2018, p. 875-895

کارایی بوم‌شناختی- اقتصادی تولید یونجه (*Medicago sativa* L.) و ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.): دشت مراغه– بناب، استان آذربایجان شرقی

آرش محمدزاده[۱]، عبدالمجید مهدوی دامغانی[۲*]، جواد وفابخش[۳] و رضا دیهیم‌فرد[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۱۲

محمدزاده، الف.، مهدوی دامغانی، ع.، وفابخش، ج.، و دیهیم فرد، ر. ۱۳۹۷. کارایی بوم‌شناختی- اقتصادی تولید یونجه (*Medicago sativa* L.) و ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.): دشت مراغه– بناب، استان آذربایجان شرقی. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۸۹۵-۸۷۵.

چکیده

استفاده بهینه از منابع و نهاده‌ها یکی از اولین و اساسی‌ترین اهداف توسعه کشاورزی پایدار است. در پژوهش حاضر، پایداری بوم‌نظام‌های زراعی یونجه (*Medicago sativa* L.) و ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) دشت مراغه– بناب استان آذربایجان‌شرقی در سال ۱۳۹۴-۱۳۹۳ مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور، اطلاعات مورد نیاز تحقیق با استفاده از پرسشنامه و مصاحبه حضوری با ۱۱۰ کشاورز به دست آمد. نتایج نشان داد که کل انرژی ورودی، خروجی و انرژی خالص در بوم‌نظام‌های یونجه (به ترتیب ۴۸۱۵۱، ۴۳۲۹۲۰ و ۳۸۴۷۶۸ مگاژول در هکتار) بیشتر از ذرت علوفه‌ای (به ترتیب ۳۵۵۵۷ ، ۲۱۷۳۵۰ و ۱۸۱۷۹۲ مگاژول در هکتار) بود. همچنین، شاخص‌های کارایی مصرف انرژی و انرژی مخصوص در یونجه (به ترتیب ۹ و ۱۵/۸ مگاژول بر کیلوگرم) مقادیر بالاتری از ذرت علوفه‌ای (به ترتیب ۶/۱ و ۴/۱ مگاژول بر کیلوگرم) را نشان داد. از نظر شاخص‌های اقتصادی، علی رغم پایین بودن هزینه کل تولید در ذرت علوفه‌ای (۱۰۸۹ دلار در هکتار)، بیشترین ارزش ناخالص تولیدی (۶۴۴۷ دلار در هکتار) و سود خالص (۴۱۹۳ دلار در هکتار) برای یونجه محاسبه گردید. مقایسه بوم‌نظام‌ها نشان داد که در واحد سطح، تولید یونجه در مقایسه با ذرت علوفه‌ای اثر بیشتری بر گرمایش جهانی داشته و نیز اثرات محیط زیستی بیشتری را ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها بر جای می‌گذارد. با این وجود، از نظر شاخص کارایی اکولوژیک، ارزش ناخالص محصول یونجه به ازای اثر محیط زیستی ایجاد شده (۱/۷۵ دلار بر کیلوگرم CO_2 در هکتار و ۳۵/۳ دلار بر .eq) بیشتر از ذرت علوفه‌ای (۱/۵ دلار بر کیلوگرم CO_2 در هکتار و ۲۶ دلار بر .eq) به دست آمد. به عبارتی، اثرات محیط زیستی ناشی از تولید یونجه در واحد سطح بیشتر از ذرت علوفه‌ای و به ازای ارزش محصول تولیدی کمتر از ذرت علوفه‌ای می‌باشد. شاخص‌های بهره‌وری زمین، بهره‌وری اقتصادی زمین، بهره‌وری آب آبیاری، بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری و کارایی استفاده از کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب برای یونجه ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار در روز، ۲۱/۵ دلار در هکتار در روز، ۴/۱ کیلوگرم در متر مکعب، ۰/۶۳ دلار در متر مکعب، ۳۳۵ کیلوگرم در کیلوگرم، ۱۱۹۱ کیلوگرم در کیلوگرم و ۱۸۲۶ کیلوگرم در کیلوگرم و برای ذرت علوفه‌ای ۵۸۳ کیلوگرم در هکتار در روز، ۲۲/۹ دلار در هکتار در روز، ۸ کیلوگرم در متر مکعب، ۰/۳۱ دلار در متر مکعب، ۵۶۵ کیلوگرم در کیلوگرم، ۳۵۵۳ کیلوگرم در کیلوگرم و ۶۵۵۲۵ کیلوگرم در کیلوگرم به دست آمد. به طور کلی، نتایج نشان داد که تولید یونجه علی‌رغم مصرف انرژی بیشتر و اثرات محیط زیستی بالا در واحد سطح، از نظر اقتصادی بر تولید ذرت علوفه‌ای برتری دارد.

واژه‌های کلیدی: آفت‌کش، بهره‌وری آب، کارایی انرژی، کارایی مصرف کود، گرمایش جهانی

۱، ۲ و ۴- به ترتیب فارغ‌التحصیل، دانشیار و استادیار گروه اگرواکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی
۳- 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
(*-نویسنده مسئول: Email:mmd323@gmail.com)
DOI: 10.22067/jag.v10i3.62701

مقدمه

یکی از چالش‌های جدی کشاورزی در قرن بیست و یکم، تأمین امنیت غذایی جمعیت در حال گسترش جهان از منابع پایه محدود نظیر زمین و آب و عناصر غذایی است. اما، توسعه کشاورزی برای پاسخ به این نیاز فزاینده با افزایش چشمگیر مصرف نهاده‌های شیمیایی نظیر کودها، آفت‌کش‌ها، سوخت‌های فسیلی و سایر نهاده‌های پرانرژی در تولید محصولات کشاورزی همراه شده است که سلامت انسان و محیط‌زیست را به شدت تهدید می‌کند (Pimentel et al., 2005). افزایش جمعیت آفات مقاوم؛ از بین رفتن موجودات غیرهدف نظیر پرندگان، ماهی‌ها، دوزیستان، گرده‌افشان‌ها و کرم‌های خاکی؛ آلودگی آب و هوا و ایجاد بیماری‌های حاد و مزمن در انسان از جمله اثراتی است که از مصرف بی‌رویه و نامناسب آفت‌کش‌های شیمیایی پدید می‌آید (Gill & Garg, 2014). آلودگی آب‌های زیرزمینی با نیترات، انتشار گازهای گلخانه‌ای، تخریب لایه ازون، کاهش تنوع زیستی در بوم‌نظام‌های خشکی و آبی، آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین، و سرشارسازی (یوتریفیکاسیون)[1] بوم‌نظام‌های آبی از مهمترین اثرات محیط زیستی است که ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی در تولید محصولات کشاورزی است (Chien et al., 2009). همچنین، قسمتی از انتشار گازهای گلخانه‌ای (حدود ۱۰ تا ۱۲ درصد) در جهان به بخش کشاورزی مربوط می‌شود که عمدتاً ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، سموم و کودهای شیمیایی، الکتریسیته و عملیات خاک‌ورزی می‌باشد (Camargo et al., 2013; Mohammadi et al., 2014; Yousefi et al., 2016). بنابراین، ارزیابی کمی بوم‌نظام‌های زراعی از جنبه‌های مختلف می‌تواند با کمک به مدیریت مطلوب این بوم‌نظام‌ها تولید پایدار محصولات را در بلندمدت تضمین می‌کند.

در تحقیقات متعددی، شاخص‌های مربوط به مصرف انرژی (Beheshti Tabar et al., 2010; Mousavi-Avval et al., 2011; Azizi & Heidari, 2013; Sahabi et al., 2013; Mondani et al., 2015; Sahabi et al., 2016)، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (Tzilivakis et al., 2005; Khoshnevisan et al., 2013; Yousefi et al., 2016) و مباحث اقتصادی (Ghorbani et al., 2011; Pishgar Komleh et al., 2011; Azizi & Heidari, 2013; Sahabi et al., 2013; Sahabi et al., 2016) در تولید بسیاری از محصولات زراعی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، اثرات محیط زیستی ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها (Cross & Edwards-Jones, 2006; Deihimfard et al., 2014; Sharma et al., 2015)، کارایی استفاده از منابع تولید نظیر آب (Katerji et al., 2008; Molden et al., 2010)، زمین (Singh et al., 2010) و کودها (Prasad, 2009; Zhu et al., 2012) در مورد برخی از محصولات زراعی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است که تمامی این موارد می‌توانند به عنوان شاخص‌های کمی در ارزیابی میزان پایداری یک بوم‌نظام زراعی مورد استفاده قرار بگیرند. در بسیاری از این تحقیقات، تنها یک یا چند شاخص از شاخص‌های مورد اشاره در مطالعه محصولات زراعی انتخاب شده‌اند که این موضوع دید جامعی از شرایط تولید محصول، اثرات محیط زیستی و وضعیت اقتصادی را به تصمیم گیرندگان ارائه نمی‌کند. بنابراین، مطالعه همزمان این شاخص‌ها در ارزیابی کمی بوم‌نظام‌های زراعی از بعد محیط زیستی و اقتصادی به مدیریت مطلوب در تولید پایدار این محصولات کمک شایانی خواهد نمود.

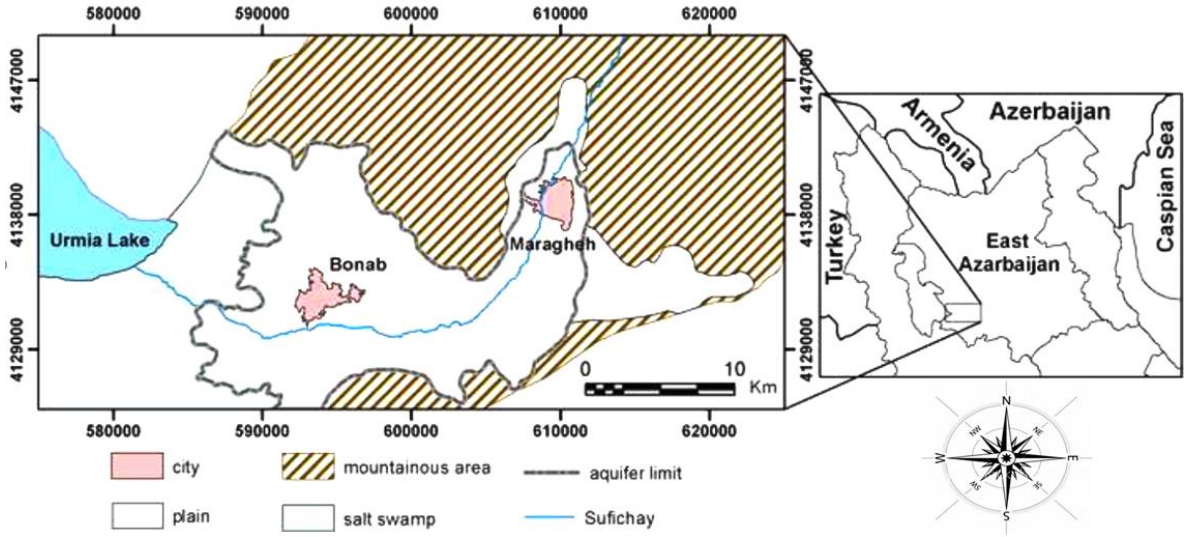
محصول یونجه (*Medicago sativa* L.) یکی از اصلی‌ترین منابع تأمین کننده علوفه مورد نیاز دام در دشت مراغه– بناب بوده و با سطح زیر کشت بیش از ۴۰۰۰ هکتار رتبه دوم پس از گندم (*Triticum aestivum* L.) را در بین محصولات زراعی آبی منطقه به خود اختصاص می‌دهد. کشت ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) نیز در منطقه اگر چه طی ۱۰ سال گذشته از ۵۰۰ هکتار تجاوز نکرده است اما به عنوان محصول کشت دوم نقش زیادی در تأمین علوفه مورد نیاز دام منطقه ایفا می‌کند. در مطالعه حاضر برخی از شاخص‌های کمی پایداری شامل: الف) کارایی انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی، ب) اثر محیط زیستی آفت‌کش‌ها، ج) سود اقتصادی و د) کارایی استفاده از منابع آب، زمین و کودها به منظور ارزیابی بوم‌نظام‌های یونجه و ذرت علوفه‌ای مورد تحلیل قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و گردآوری اطلاعات

دشت مراغه– بناب با مساحت ۳۳۰ کیلومتر مربع جزو حوضه آبریز دریاچه ارومیه بوده و در جنوب استان آذربایجان شرقی و در شرق دریاچه ارومیه واقع شده است (شکل ۱).

1- Eutrophication



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (فیجانی و همکاران (Fijani et al., 2013))

Fig. 1- Location of the study area (Fijani et al., 2013)

طبق اندازه‌گیری‌های انجام شده از سال ۱۹۵۹ الی ۲۰۰۹ میلادی در ایستگاه هواشناسی مراغه، متوسط بارش این منطقه حدود ۳۴۶ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه آن حدود ۱۲/۸ درجه سانتی‌گراد است. میزان تبخیر این منطقه حدود ۱۴۴۰ میلی‌متر است که چهار برابر متوسط بارش منطقه می‌باشد. همچنین، بر اساس اقلیم‌نمای آمبرژه، اقلیم این دشت از نوع سرد و خشک محاسبه شده است (Fijani et al., 2013).

اطلاعات مورد نیاز تحقیق شامل تاریخ کاشت، عملیات زراعی، نوع و میزان نهاده‌های مصرفی، هزینه‌های تولید، میزان عملکرد محصول و در نهایت سود اقتصادی تولید محصول با استفاده از پرسشنامه و مصاحبه حضوری با ۱۱۰ کشاورز تولید کننده یونجه و ذرت علوفه‌ای در منطقه مورد مطالعه به دست آمد. همچنین، قیمت فروش محصول اصلی و فرعی از جهاد کشاورزی استان آذربایجان‌شرقی تهیه گردید.

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 یونجه به صورت میانگین سالانه بیان شده است.

شاخص‌های انرژی طبق معادلات ۱ تا ۴ محاسبه گردید (Pimentel, 1980; Herrhz et al., 1995; Hatirli et al., 2006):

کارایی مصرف انرژی:

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

بهره‌وری انرژی:

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

انرژی خالص:

معادله (۳) انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)– انرژی خروجی (مگاژول در هکتار) = انرژی خالص

انرژی مخصوص:

معادله (۴) $$\text{انرژی مخصوص} = \frac{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)}}{\text{عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)}}$$

انرژی 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 یونجه و ذرت علوفه‌ای طبق دسته‌بندی‌های مذکور محاسبه گردید.

جدول ۱- معادل انرژی ورودی و خروجی در بوم‌نظام‌های زراعی یونجه و ذرت علوفه‌ای

Table 1- Energy equivalents of input and output in alfalfa and corn silage production systems

الف) ورودی a)Inputs	واحد Unit	انرژی معادل (مگاژول بر واحد) 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) Phosphate	kg	12.44	Hatirli et al. (2006)
پتاسیم (K_2O) Potassium	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 Alfalfa seed	kg	15.7	Canakci et al. (2005)
ب) خروجی b) Outputs			
یونجه Alfalfa	kg	15.8	Tsatsarelis & Koundouras (1994)
ذرت علوفه‌ای Corn silage	kg	4.14	Mohammadi et al. (2014)

محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌واسطه نهاده‌های شیمیایی مطابق ضرایب انتشار دی‌اکسیدکربن (CO_2)، اکسید نیتروس (N_2O) و متان (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 ۲۱ و برای CH_4 برابر ۳۱۰ بود محاسبه گردید (IPCC, 1995). در نهایت، پتانسیل گرمایش جهانی گازهای گلخانه‌ای انتشار یافته برای یک هکتار یونجه و ذرت علوفه‌ای بر اساس معادل CO_2 بیان گردید.

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

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

ورودی Input	متان CH_4	اکسیدنیتروس N_2O	دی‌اکسیدکربن CO_2	منبع Reference
گازوئیل Diesel (l)	5.20	0.70	3560	Kramer et al. (1999)
بنزین Gasoline (l)	*	*	2320	Koga and 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	310	1	IPCC (1995)

محاسبه شاخص‌های اقتصادی

برای محاسبه شاخص‌های اقتصادی از معادلات ۵ تا ۸ استفاده گردید (Zangeneh et al., 2010):

معادله (۵) قیمت هر کیلوگرم محصول (دلار[1]) × عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار) = ارزش ناخالص تولیدی

معادله (۶) کل هزینه تولید (دلار در هکتار) – ارزش ناخالص تولیدی (دلار در هکتار) = سود خالص

معادله (۷) $$\text{نسبت سود به هزینه} = \frac{\text{ارزش ناخالص تولیدی (دلار در هکتار)}}{\text{کل تولیدهزینه (دلار در هکتار)}}$$

معادله (۸) $$\text{بهره‌وری اقتصادی} = \frac{\text{عملکرد محصول (کیلوگرم درهکتار)}}{\text{کل تولیدهزینه (دلار درهکتار)}}$$

محاسبه ضریب اثر محیط زیستی آفت‌کش‌ها

برای ارزیابی اثرات محیط‌زیستی آفت‌کش‌های مورد استفاده از روش EIQ[2] (شاخص اثر محیط‌زیستی آفت‌کش‌ها) استفاده شد. در این روش، میزان سمیت (شامل سمیت‌های مزمن، پوستی، سمیت برای ماهی‌ها، پرندگان، بندپایان و زنبورهای عسل)، آبشویی و تلفات سطحی بالقوه، و نیمه عمر خاک و گیاه برای تخمین میزان آسیب‌رسانی محیط‌زیستی مواد مؤثره آفت‌کش‌های مربوطه مد نظر قرار می‌گیرد. مقدار عددی EIQ میانگین سه جزء اصلی آسیب شامل آسیب بالقوه برای سلامت کارگران مزرعه، آسیب بالقوه برای مصرف‌کنندگان از طریق اثر مستقیم مواد سمی باقیمانده در محصولات غذایی و یا از طریق آلودگی آب‌های زیرزمینی و اثرات منفی بالقوه برای محیط زیست شامل موجودات زنده آبزی و خشکی‌زی را نشان می‌دهد. بدین ترتیب، این مدل مجموعه اطلاعات اثرات محیط‌زیستی مصرف آفت‌کش‌ها به صورت یک عدد از طریق

۱- نرخ دلار در مطالعه حاضر معادل ۳۴۰۰ ریال در نظر گرفته شده است

2- Environmental impact quotient

معادله‌ای مبتنی بر سه جزء اصلی بیان شده را ارائه می‌دهد. این ضریب طبق معادله ۹ محاسبه گردید (Kovach et al., 1992):

معادله (۹)

$$EIQ = (C[(DT \times 5) + (DT \times P)] + (C \times [(S+P)/2] \times SY) + (L) + (F \times R) + (D \times [(S+P)/2] \times 3) + (Z \times P \times 3) + (B \times P \times 5)/3$$

که در این معادله، C= سمیت مزمن، DT= سمیت پوستی، P= نیمه‌عمر در سطح گیاه، SY= سیستمیک بودن، L= پتانسیل آبشویی، F= سمیت برای ماهی، R= پتانسیل رواناب، D= سمیت برای پرندگان، S= نیمه عمر در خاک، Z= سمیت برای زنبور عسل، و B= سمیت برای بندپایان سودمند می‌باشند.

مقدار EIQ و اجزای آن برای هر آفت‌کش توسط اشنایور و همکاران (Eshenaur et al., 1992-2015) ارائه شده است. با توجه به این نکته که ممکن است درصد ماده مؤثره یک آفت‌کش، دوز مصرف آن و تعداد دفعات سمپاشی برای هر فرمولاسیون متفاوت باشد، به همین دلیل پس از محاسبه مدل ضریب اثر محیط زیستی، از رابطه زیر برای محاسبه EIQ هر آفت‌کش در سطح مزرعه استفاده می‌شود (Levitan, 2000):

معادله (۱۰)

$$\text{FEIQ for ith crop} = \sum_{1}^{j} EIQ\ of\ pecticide_j \times \%\ active\ ingredient\ of\ pesticide_j \times dosage\ rate\ per\ ha\ of\ pesticide_j$$

محاسبه شاخص‌های مربوط به مصرف زمین، آب و کودهای شیمیایی

شاخص‌های استفاده از زمین:

کارایی استفاده از زمین[1]: برای محاسبه کارایی استفاده از زمین، طول دوره رشد گیاه (بر حسب روز) بر ۳۶۵ روز تقسیم گردید (Singh et al., 2010).

کارایی تولید زمین[2]: برای محاسبه کارایی تولید زمین بر حسب کیلوگرم در هکتار در روز، میزان محصول تولیدی بر طول دوره رشد گیاه تقسیم گردید (Singh et al., 2010).

کارایی اقتصادی تولید زمین[3]: کارایی اقتصادی تولید زمین نیز با تقسیم سود خالص (دلار در هکتار) بر طول دوره رشد محصول (روز) محاسبه گردید (Singh et al., 2010).

شاخص‌های مصرف آب آبیاری:

بهره‌وری آب آبیاری[4]: این شاخص از تقسیم عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار) بر حجم آب مصرفی در آبیاری (متر مکعب) حاصل می‌شود (Rodrigues and Pereira, 2009).

بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری[5]: برای محاسبه این شاخص، ارزش اقتصادی محصول تولید شده بر حسب دلار در هکتار بر حجم آب مصرفی در تولید محصول بر حسب متر مکعب، تقسیم گردید (Rodrigues & Pereira, 2009).

شاخص مصرف کودهای شیمیایی

برای محاسبه کارایی مصرف کودهای نیتروژنی، فسفر و پتاسیم، از شاخص بهره‌وری جزئی که بیانگر مقدار محصول به دست آمده (بر حسب کیلوگرم در هکتار) به ازای مقدار کود مصرفی (کیلوگرم) است، استفاده گردید (Mosier et al., 2004).

نتایج و بحث

شاخص‌های انرژی

مقادیر ورودی، خروجی و انرژی معادل آن‌ها در بوم‌نظام‌های زراعی یونجه و ذرت علوفه‌ای در جدول ۳ نشان داده شده است.

نیروی انسانی مورد نیاز برای بوم‌نظام‌های یونجه و ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۸۱۴ ساعت در هکتار (۱۵۹۶/۲ مگاژول در هکتار) و ۲۴۸ ساعت در هکتار (۴۸۶/۱ مگاژول در هکتار) معادل ۳/۳ درصد و ۱/۴ درصد از کل انرژی ورودی محاسبه گردید. اصغری‌پور و همکاران (Asgharipour et al., 2016) نیروی انسانی مورد نیاز برای محصول یونجه را برای کل دوره رشدی محصول حدود ۸۸۴ ساعت در هکتار معادل ۱۷۷۳ مگاژول در هکتار به دست آوردند.

1- Land use efficiency
2- Land production efficiency
3- Economic land production efficiency
4- Irrigation water productivity
5- Economic irrigation water productivity

جدول ۳- مقادیر و انرژی ورودی و خروجی در بوم‌نظام‌های زراعی یونجه و ذرت علوفه‌ای

Table 3- Inputs and outputs expressed as quantity and its energy equivalents per unit area for alfalfa and corn silage production systems

الف) ورودی a)Inputs	واحد Unit	مقدار در واحد سطح (واحد در هکتار) Quantity per unit area (per ha)		معادل انرژی در واحد سطح (مگاژول در هکتار) Total energy equivalents ($MJ.ha^{-1}$)	
		ذرت علوفه‌ای Corn silage	یونجه Alfalfa	ذرت علوفه‌ای Corn silage	یونجه Alfalfa
نیروی انسانی Human labour	hr	248	814	486.1 (1.4%)	1596.2 (3.3%)
ماشین‌آلات Machinery	hr	15.7	20	984.4 (2.8%)	1254 (2.6%)
گازوئیل Diesel	l	369.7	448	17672.4 (49.7%)	21422.3 (44.5%)
نیتروژن Nitrogen	kg	92.8	81.8	6137.8 (17.3%)	5410 (11.2%)
فسفر (P_2O_5) Phosphate	kg	15.2	23	189.1 (0.5%)	286 (0.6%)
پتاسیم (K_2O) Potassium	kg	0.8	0	8.9 (0.03%)	0
گوگرد Sulphur	kg	0	0.3	0	0.33 (0.0007%)
کلسیم Calcium	kg	0	3.6	0	31.7 (0.06%)
کود دامی Farmyard manure		0	10000	0	3000 (6.2%)
علفکش‌ها Herbicides	l	1.1	2.85	96.1 (0.3%)	242.2 (0.5%)
حشره‌کش‌ها Insecticides	l	1.3	2.83	297.7 (0.8%)	648 (1.3%)
قارچ‌کش‌ها Fungicides	l	1.3	0.435	154.1 (0.4%)	50 (0.1%)
الکتریسیته Electricity	KWh	120.0	580.6	1440.0 (4%)	6967.2 (14.5%)
آب آبیاری Irrigation water	m^3	6555	6674	6686.4 (18.8%)	6807.7 (14.1%)
بذر Seed	kg	50.0	15.5	1405.0 (4%)	435.5 (0.9%)
ب) خروجی b) Outputs					
عملکرد Yield	kg	52500	27400	217350 (100%)	432920 (100%)

سفیدپری و همکاران (Sefeedpari et al., 2012) مصرف انرژی در تولید ذرت علوفه‌ای را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها انرژی معادل نیروی انسانی مورد نیاز برای تولید یک هکتار ذرت علوفه‌ای را پایین تر از پژوهش حاضر و حدود ۴۴ مگاژول (۰/۱ درصد از کل انرژی ورودی) در هکتار گزارش کردند. تفاوت در نیروی انسانی به کار رفته برای تولید محصولات زراعی مختلف می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی نظیر ضریب مکانیزاسیون، نوع عملیات زراعی، اندازه مزارع و غیره قرار بگیرد.

ساعت کارکرد ماشین‌آلات برای بوم‌نظام‌های یونجه و ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۲۰ ساعت در هکتار (۱۲۵۴ مگاژول در هکتار با سهم ۲/۶ درصدی از کل انرژی ورودی) و ۱۵/۷ ساعت در هکتار (۹۸۴/۴ مگاژول در هکتار با سهم ۲/۸ درصدی از کل انرژی ورودی)

به دست آمد. یوسفی و محمدی (Yousefi & Mohammadi, 2011) انرژی ورودی مربوط به ماشین آلات در تولید یونجه را ۴۰/۹ ساعت در هکتار معادل ۲۵۶۴ مگاژول در هکتار با سهم ۵/۵ درصد از کل انرژی ورودی گزارش کردند. سفیدپری و همکاران (Sefeedpari et al., 2012) این میزان را برای ذرت علوفه‌ای حدود ۲۱۴۸ مگاژول در هکتار با ۵/۸ درصدی از کل انرژی ورودی گزارش کردند. دلیل پایین بودن انرژی مربوط به ماشین‌آلات در مطالعه حاضر نسبت به گزارشات دیگر را می‌توان به این موضوع نسبت داد که در منطقه مورد مطالعه، بخشی از عملیات برداشت محصول به ویژه در مورد یونجه نظیر ردیف کردن یا بسته‌بندی به صورت دستی انجام می‌گیرد که این موضوع سبب افزایش سهم نیروی انسانی و کاهش سهم ماشین‌آلات از کل انرژی ورودی برای تولید محصول می‌گردد.

گازوئیل مصرفی در هر دو بوم‌نظام یونجه و ذرت علوفه‌ای بیشترین سهم را در کل انرژی ورودی داشت. این میزان در یونجه معادل ۲۱۴۲۲/۳ مگاژول در هکتار با سهم ۴۴/۵ درصد از کل انرژی ورودی و در ذرت علوفه‌ای معادل ۱۷۶۷۲/۴ مگاژول در هکتار با سهم ۴۹/۷ درصد از کل انرژی ورودی بود. یوسفی و محمدی (Yousefi & Mohammadi, 2011) گزارش کردند که گازوئیل مصرفی با انرژی معادل حدود ۲۱۴۱۸ مگاژول در هکتار سهم ۴۳/۱ درصدی از کل انرژی ورودی تولید یونجه را به خود اختصاص می‌دهد. سفیدپری و همکاران (Sefeedpari et al., 2012) نیز میزان انرژی مربوط به مصرف گازوئیل را در تولید ذرت علوفه‌ای معادل ۹۶۸۵ مگاژول در هکتار با سهم ۲۶/۵ درصدی گزارش کردند. بخش عمده‌ای از گازوئیل مصرفی در منطقه مورد مطالعه برای ماشین‌آلات کشاورزی و موتور پمپ‌های دیزلی برای پمپاژ آب به کار می‌رود.

در مورد یونجه، مصرف کودهای شیمیایی پرمصرف (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) از نظر انرژی معادل بعد از گازوئیل، الکتریسیته و آب آبیاری قرار می‌گیرد، در حالی‌که در مورد ذرت علوفه‌ای، انرژی معادل کودهای شیمیایی پس از گازوئیل و آب آبیاری در جایگاه بعدی قرار می‌گیرد. در بین کودهای مصرف شده، سهم کود نیتروژن از کل انرژی ورودی قابل توجه و برای یونجه و ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۵۴۱۰ مگاژول در هکتار (۱۱/۲ درصد از کل انرژی ورودی) و ۶۱۳۸ مگاژول در هکتار (۱۷/۳ درصد از کل انرژی ورودی) محاسبه گردید. محققین مختلفی گزارش کردند که در تولید محصولات زراعی، سهم کودهای نیتروژنی از کل انرژی ورودی بیش از کودهای فسفر، پتاسیم و گوگرد است (Ghasemi Mobtaker et al., 2010b; Zangeneh et al., 2010; Mousavi-Avval et al., 2011). از آنجایی که محصول یونجه قابلیت تثبیت زیستی نیتروژن را دارد، لذا مصرف کودهای نیتروژنی در کشت یونجه نسبت به محصولات زراعی غیرلگوم نسبتاً پایین‌تر می‌باشد.

در بین ورودی‌های بوم‌نظام‌های مورد مطالعه، آفت‌کش‌ها کمترین سهم از کل انرژی ورودی را دارا بوده و سهم حشره‌کش‌ها بیشتر از قارچ‌کش‌ها و علف‌کش‌ها محاسبه گردید. گزارش بهشتی‌تبار 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.

میزان انرژی ورودی از الکتریسیته مصرفی در بوم‌نظام‌های یونجه و ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۶۹۶۷/۲ مگاژول در هکتار (۱۴/۵ درصد) و ۱۴۴۰ مگاژول در هکتار (۴ درصد) به دست آمد. در مطالعات مشابه انجام گرفته، سهم انرژی الکتریسیته مصرفی از کل انرژی ورودی در تولید محصول یونجه بین ۲۴/۳ الی ۷۷/۳ درصد گزارش شده است (Ghasemi Mobtaker et al., 2010a; Yousefi & Mohammadi, 2011; Asgharipour et al., 2016). تفاوت در مقادیر گزارش شده را می‌توان به سهم متفاوت هر یک از منابع تأمین کننده انرژی برای پمپاژ آب شامل سوخت‌های فسیلی (عمدتاً گازوئیل) و نیروی الکتریسیته در مناطق مختلف تولید نسبت داد.

در مطالعه حاضر، انرژی معادل آب آبیاری به ترتیب برای یونجه و ذرت علوفه‌ای حدود ۶۸۰۷/۷ مگاژول در هکتار (۱۴/۱ درصد) و ۶۶۸۶/۴ مگاژول در هکتار (۱۸/۸ درصد) محاسبه گردید. در سایر مطالعات انجام گرفته، این میزان برای ذرت علوفه‌ای حدود ۶۳۷۲ مگاژول در هکتار با ۹/۲ درصد از کل انرژی ورودی (Pishgar Komleh et al., 2011) و برای یونجه حدود ۴۱۳۵ مگاژول در هکتار با سهم ۸/۳ درصدی از کل انرژی ورودی (Yousefi & Mohammadi, 2011) گزارش شده است. میزان انرژی مربوط به آب آبیاری در تولید محصولات زراعی می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی نظیر اقلیم، نیاز آبی محصول زراعی، نوع روش آبیاری، مدیریت‌های زراعی و غیره قرار بگیرد.

مقدار بذر مصرفی یونجه در منطقه مورد مطالعه ۶۲ کیلوگرم در هکتار (معادل ۱۷۴۲ مگاژول در هکتار) می‌باشد که با میانگین سالانه ۱۵/۵ کیلوگرم در هکتار (میانگین سالانه چهار سال چرخه تولید

یونجه) با انرژی معادل ۴۳۵/۵ مگاژول در هکتار، سهم ۰/۹ درصدی از کل انرژی ورودی را به خود اختصاص می‌دهد. این میزان در مورد ذرت علوفه‌ای ۵۰ کیلوگرم در هکتار معادل ۱۴۰۵ مگاژول در هکتار می‌باشد که سهم ۴ درصدی از کل انرژی ورودی را به خود اختصاص می‌دهد. در سایر تحقیقات، سهم بذر یونجه از کل انرژی ورودی بین ۰/۴ الی ۲/۶۹ مگاژول در هکتار گزارش شده است (Yousefi & Mohammadi, 2011; Ghasemi Mobtaker et al., 2012; Asgharipour et al., 2016). سفیدپری و همکاران (Sefeedpari et al., 2012) انرژی معادل بذر مصرفی در تولید ذرت علوفه‌ای را حدود ۳۰۰۰ مگاژول در هکتار با سهم ۸/۲ درصدی از کل انرژی ورودی سیستم گزارش کردند.

کل انرژی ورودی برای بوم‌نظام‌های یونجه و ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۴۸۱۵۱ مگاژول در هکتار و ۳۵۵۵۷ مگاژول در هکتار محاسبه گردید (جدول ۴). همچنین، میزان انرژی خروجی برای یونجه و ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۴۳۲۹۲۰ مگاژول در هکتار و ۲۱۷۳۵۰ مگاژول در هکتار به دست آمد. بدین ترتیب، انرژی خالص برای بوم‌نظام‌های یونجه و ذرت علوفه‌ای به میزان ۳۸۴۷۶۸ مگاژول در هکتار برای یونجه و ۱۸۱۷۹۲ مگاژول در هکتار برای ذرت علوفه‌ای محاسبه شد (جدول ۴).

جدول ٤- مقادیر و انرژی ورودی و خروجی در بوم‌نظام‌های زراعی یونجه و ذرت علوفه‌ای

Table 4- Indicators and different forms of energy use in alfalfa and corn silage production systems

شاخص Indicator	واحد Unit	ذرت علوفه‌ای Corn silage	یونجه Alfalfa
انرژی ورودی Inputs energy	$MJ.ha^{-1}$	35557	48151
انرژی خروجی Output energy	$MJ.ha^{-1}$	217350	432920
انرژی خالص Net energy	$MJ.ha^{-1}$	181792	384768
کارایی مصرف انرژی Energy use efficiency	-	6.1	9
انرژی مخصوص Specific energy	$MJ.kg^{-1}$	4.1	15.8
بهره‌وری انرژی Energy productivity	$Kg.MJ^{-1}$	1.50	0.57
شکل‌های انرژی Forms of energy			
انرژی مستقیم Direct energy	$MJ.ha^{-1}$	26285 (73.9%)	36793 (74.4%)
انرژی غیر مستقیم Indirect energy	$MJ.ha^{-1}$	9273 (26.1%)	12643 (25.6%)
انرژی تجدیدپذیر Renewable energy	$MJ.ha^{-1}$	8577 (24.1%)	10125 (20.5%)
انرژی تجدید ناپذیر Non-renewable energy	$MJ.ha^{-1}$	26980 (75.9%)	39312 (79.5%)

در سایر مطالعات، میانگین سالانه انرژی ورودی و انرژی خروجی برای یونجه به ترتیب بین ۴۹۶۸۹ تا ۱۱۵۷۹۵ و ۲۱۷۸۸۷ تا ۲۴۰۰۷۲ مگاژول در هکتارگزارش شده است (Yousefi & Mohammadi, 2011; Ghasemi Mobtaker et al., 2012). در مطالعات مشابه صورت گرفته، انرژی ورودی، انرژی خروجی و انرژی خالص برای ذرت علوفه‌ای توسط سفیدپری و همکاران (Sefeedpari et al., 2012) به ترتیب حدود ۳۶۵۱۳، ۱۲۷۰۷۷ و ۹۰۵۶۳ مگاژول در هکتار و توسط پیشگار کوملە و همکاران (Pishgar Komleh et al., 2011) به ترتیب ۶۸۹۲۸، ۱۴۸۳۸۰ و ۷۹۴۵۲ مگاژول در هکتار گزارش شده است. با توجه به نتایج مطالعه حاضر و تحقیقات قبلی می توان بیان کرد که تولید یونجه در مقایسه با ذرت علوفه‌ای به انرژی ورودی بیشتری نیاز دارد، اما با توجه به عملکرد تولیدی این محصول

که انرژی خروجی بیشتری را در مقایسه با ذرت علوفه‌ای تولید می کند، از نظر بیلان انرژی (انرژی خالص تولیدی) می‌تواند نسبت به ذرت علوفه‌ای برتری داشته باشد.

مقایسه بوم‌نظام‌های یونجه و ذرت علوفه‌ای از نظر شاخص‌های انرژی نشان داد که مقادیر کارایی مصرف انرژی و انرژی مخصوص در یونجه (به ترتیب ۹ و ۱۵/۸ مگاژول در هکتار) بیشتر از ذرت علوفه ای (به ترتیب ۶/۱ و ۴/۱ مگاژول در هکتار) بود اما مقدار بهره‌وری انرژی در ذرت علوفه‌ای (۱/۵ کیلوگرم بر مگاژول) بالاتر از یونجه (۰/۵۷ کیلوگرم بر مگاژول) به دست آمد (جدول ۳). در مطالعات قبلی انجام شده، مقدار کارایی مصرف انرژی برای ذرت علوفه‌ای بین ۲/۲۷ الی ۱۱/۹۱ (Pishgar Komleh et al., 2011; Sefeedpari et al., 2012; Houshyar et al., 2015) و برای یونجه بین ۱/۸۸ الی ۴/۸۳ (Ghasemi Mobtaker et al., 2010a; Yousefi & Mohammadi, 2011; Asgharipour et al., 2016) گزارش شده است. از آنجایی که در هر دو بوم‌نظام مورد مطالعه، سهم عمده انرژی ورودی به مصرف گازوئیل، کودهای شیمیایی و الکتریسیته مربوط می شود، لذا با مدیریت مناسب عملیات زراعی تا حد زیادی می‌توان میزان انرژی مصرفی را کاهش و عملکرد محصول را افزایش داد و بدین ترتیب کارایی مصرف و بهره‌وری انرژی را افزایش داد.

بررسی اشکال انرژی ورودی نشان داد که در هر دو بوم‌نظام یونجه و ذرت علوفه‌ای، 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 کم‌خاک ورزی؛ 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 انرژی های تجدیدناپذیر از کل انرژی ورودی کمک کند.

شاخص‌های اقتصادی

بررسی شاخص‌های اقتصادی نشان داد (جدول ۵) که میزان ارزش ناخالص تولیدی در یونجه (۶۴۴۷ دلار در هکتار) بیشتر از ذرت علوفه‌ای (۳۱۵۰ دلار در هکتار) است. همچنین، علی‌رغم بالا بودن کل هزینه تولید در کشت یونجه (۲۲۵۴ دلار در هکتار) نسبت به ذرت علوفه‌ای (۱۰۸۹ دلار در هکتار)، سود خالص در تولید یونجه (۴۱۹۳ دلار در هکتار) نزدیک دو برابر بیشتر از ذرت علوفه‌ای (۲۰۶۱ دلار در هکتار) محاسبه گردید. شاخص نسبت سود به هزینه در یونجه با مقدار ۲/۸ اندکی پایین‌تر از ذرت علوفه‌ای با مقدار ۲/۹ به دست آمد. همچنین، میزان بهره‌وری اقتصادی در یونجه با مقدار ۱۲/۲ کیلوگرم بر دلار کمتر از ذرت علوفه‌ای با ۴۲/۲ کیلوگرم بر دلار محاسبه گردید. پیشگار کومله و همکاران (Pishgar Komleh et al., 2011) با تجزیه و تحلیل اقتصادی تولید ذرت علوفه‌ای در استان تهران، ارزش ناخالص تولید، کل هزینه‌های تولید و سود خالص را به ترتیب ۳۰۹۱، ۱۹۷۳ و ۱۱۱۸ دلار در هکتار گزارش کردند. آن‌ها همچنین مقدار شاخص سود به هزینه و بهروری را به ترتیب ۱/۵۷ و ۳۱ کیلوگرم بر دلار گزارش کردند. در مطالعه دیگری که در شهرستان بوکان توسط قادرپور و همکاران (Ghaderpour et al., 2016) انجام گرفت، شاخص‌های هزینه تولید، درآمد خالص، نسبت سود به هزینه و بهره‌وری اقتصادی تولید یونجه به ترتیب حدود ۱۴۴۶ دلار در هکتار، ۱۵۲۷ دلار در هکتار، ۲ و ۱۰/۱ کیلوگرم بر دلار به دست آمد. با توجه به نتایج این محققین و نتایج به به دست آمده در پژوهش حاضر می‌توان بیان کرد که تولید یونجه در مقایسه با ذرت علوفه‌ای سود خالص بیشتری را نصیب تولید کنندگان می‌کند.

پتانسیل گرمایش جهانی

مقایسه بوم‌نظام‌های یونجه و ذرت علوفه‌ای نشان داد که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از آن در کشت یونجه معادل ۳۶۸۳ کیلوگرم CO_2 در هکتار و در کشت ذرت علوفه‌ای معادل ۲۱۰۳ کیلوگرم CO_2 در هکتار بود. با این حال، میزان کارایی اکولوژیک از بُعد پتانسیل گرمایش جهانی که بیانگر ارزش محصول به دست آمده به ازای اثر محیط زیستی است، در یونجه ۱/۷۵ دلار به معادل کیلوگرم CO_2 در هکتار و در ذرت علوفه‌ای ۱/۵ دلار به معادل کیلوگرم CO_2 در هکتار محاسبه گردید.

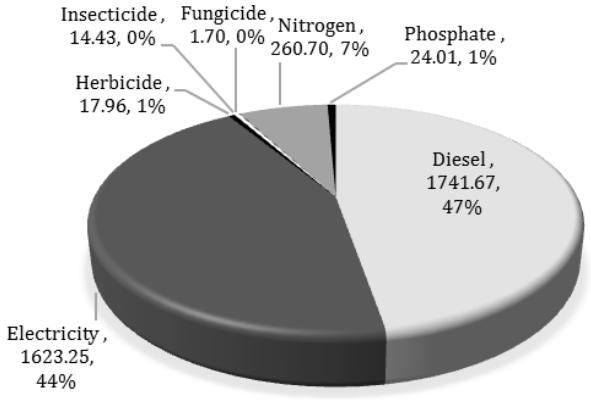
جدول ۵- تجزیه و تحلیل اقتصادی بوم‌نظام‌های زراعی یونجه و ذرت علوفه‌ای

Table 5- Economic analysis of alfalfa and corn silage production systems

شاخص‌ها Indicators	واحد Unit	ذرت علوفه‌ای Corn silage	یونجه Alfalfa
ارزش ناخالص تولیدی Gross production value	$ ha^{-1}	3150	6447
کل هزینه تولید Total cost of production	$ ha^{-1}	1089	2254
سود خالص Net return	$ ha^{-1}	2061	4193
نسبت سود به هزینه Benefit to cost ratio	-	2.9	2.8
بهره‌وری اقتصادی Economic productivity	kg $^{-1}$	48.2	12.2

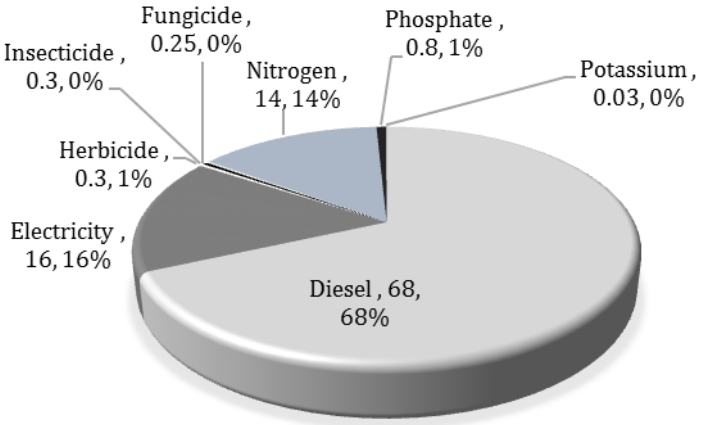
این بدین مفهوم است که اگرچه پتانسیل گرمایش جهانی در تولید یونجه در واحد سطح از ذرت علوفه‌ای بیشتر است، اما به ازای ارزش محصول تولید شده کمتر از آن می‌باشد. دفعات بیشتر عملیات برداشت یونجه در منطقه مورد مطالعه که بین ۴ الی ۵ برداشت می باشد نسبت به ذرت علوفه‌ای که تنها در یک مرحله برداشت می‌شود مصرف بیشتر سوخت فسیلی را توسط ماشین‌آلات برداشت به دنبال دارد که این موضوع را می‌توان از عوامل اصلی بالا بودن انتشار گازهای گلخانه‌ای در این محصول دانست. هوشیار و همکاران (Houshyar et al., 2015) میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را در تولید یونجه معادل ۵۰۰۰ کیلوگرم CO_2 در هکتار گزارش کردند. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2014) پتانسیل گرمایش جهانی را برای گندم حدود ۱۱۷۱، برای جو ۱۱۰۵، برای کلزا ۱۰۶۳، برای ذرت علوفه‌ای ۲۸۸۲، برای سویا ۱۷۹۱ و برای برنج ۶۰۹۴ کیلوگرم CO_2 در هکتار گزارش کردند.

نتایج نشان داد که در هر دو بوم‌نظام مورد مطالعه، گازوئیل، الکتریسیته و کود نیتروژن بیشترین سهم را در پتانسیل گرمایش جهانی داشتند (شکل‌های ۳ و ۴). گازوئیل سوخت مورد نیاز بیشتر ماشین‌آلات کاشت، داشت و برداشت محصولات علوفه‌ای بوده و در بعضی از موتور پمپ‌های آب نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین، بسیاری از ایستگاه‌های پمپاژ آب نیروی مورد نیاز را از طریق نیروی الکتریسیته تأمین می‌کنند. تحقیقات انجام گرفته بر روی سایر محصولات زراعی نیز بیانگر این مطلب است که نهاده‌های گازوئیل، الکتریسیته و کود نیتروژن بیشترین سهم را در پتانسیل گرمایش جهانی دارند (Khoshnevisan et al., 2013; Bakhtiari et al., 2015; Yousefi et al., 2016).



شکل ۳- سهم ورودی‌های مختلف بوم‌نظام‌های زراعی یونجه در گرمایش جهانی

Fig. 3- The proportion of different input of alfalfa production systems in global warming potential



شکل ٤- سهم ورودی‌های مختلف بوم‌نظام‌های زراعی ذرت علوفه‌ای در گرمایش جهانی

Fig. 4- The proportion of different input of corn silage production systems in global warming potential

اثر محیط زیستی آفت‌کش‌ها

نتایج نشان داد که ضریب اثر محیط زیستی ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها در مزارع یونجه ۱۸۲/۳ واحد در هکتار و در مزارع ذرت علوفه‌ای ۱۲۰/۵ در هکتار بود (جدول ۶). در مورد علف‌کش‌ها، پاراکوات[1] و کلرتال‌دی‌متیل[2] (داکتال) بیشترین اثر محیط زیستی را در تولید یونجه و آمترین[3] و توفوردی[4] بیشترین اثر محیط زیستی را در تولید ذرت علوفه‌ای بر جای می‌گذارند که در مقایسه با سایر علف کش‌ها به میزان بیشتری مورد استفاده قرار می‌گیرند. از گروه حشره کش‌ها، فن‌والریت[5] و دیازینون[6] در تولید یونجه و فنیتروتیون[7] و دیازینون در تولید ذرت بیشترین اثر محیط زیستی را ایجاد می‌کنند. قارچ‌کش کاربندازیم[8] نیز در بین قارچ‌کش‌های مورد استفاده در هر دو بوم‌نظام مورد مطالعه بیشترین اثر محیط زیستی را ایجاد می‌کند. همانطور که در شکل ۵ نیز نشان داده شده است، در هر دو بوم‌نظام مورد بررسی حشره‌کش‌ها در مقایسه با قارچ‌کش‌ها و علف‌کش‌ها اثر محیط زیستی بیشتری را بر جای می‌گذارند. تنوع و مقدار مصرف بیشتر حشره‌کش‌ها نسبت به قارچ‌کش‌ها و علف‌کش‌ها را می‌توان دلیل این موضوع بیان کرد. کراس و ادوارد جونز (Cross & Edwards-Jones, 2006) اثرات محیط زیستی ناشی از مصرف آفت کش‌ها را در تولید صیفی‌جات در بریتانیا مورد مطالعه قرار دادند و گزارش کردند که ضریب اثر محیط زیستی ناشی از مصرف حشره کش‌ها بیشتر از قارچ‌کش‌ها و علف‌کش‌ها می‌باشد. آن‌ها گزارش کردند که ضریب اثر محیط زیستی ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها در پیاز (*Allium cepa* L.) و تره فرنگی (*Allium ampeloprasum* L.) بیشتر از محصولات نخود (*Pisum Sativum* L.)، لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، کاهو (*Lactuca sativa* L.) و کلمیان است. دیهیم فرد و همکاران (Deihimfard et al., 2007) با ارزیابی ریسک علف کش‌های مصرفی در ایران طی برنامه خودکفایی گندم گزارش نمودند که در بین علف‌کش‌ها، 2,4-D/MCPA بیشترین مقدار مصرف و اثرات محیط زیستی مزرعه‌ای را داشته است. شارما و همکاران (Sharma et al., 2015) نیز مقدار اثر محیط زیستی ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها را در هند برای محصولات گل کلم (*Brassica oleracea* L. var. botrytis)، کلم (*Brassica oleracea* var. capitata L.)، بامیه (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) و بادمجان (*Solanum melongena* L.) به ترتیب ۳۷/۹، ۴۷/۸، ۱۲۹/۵ و ۲۳۱/۷ در هکتار گزارش کردند.

شاخص کارایی اکولوژیک از نظر اثر محیط‌زیستی آفت‌کش‌ها در مزارع یونجه ۳۵/۳ دلار به ضریب اثر محیط‌زیستی و در مزارع ذرت علوفه‌ای ۲۶ دلار به ضریب اثر محیط زیستی بود. بنابراین، با وجود اینکه تولید یونجه اثر محیط‌زیستی بیشتری را ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها بر جای می‌گذارد، به دلیل ارزش ناخالص تولیدی بالا نسبت به ذرت علوفه‌ای، اثر کمتری را به ازای ارزش محصول تولیدی بر جای می‌گذارد.

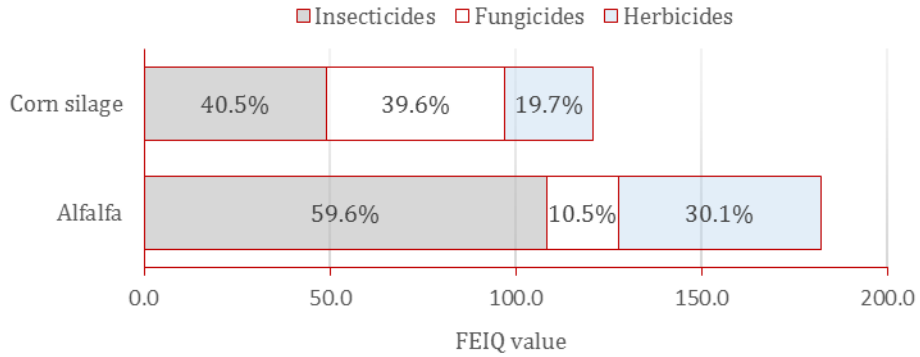
1- Paraquat
2- Chlorthal Dimethyl
3- Ametryn
4- 2,4-D
5- Fenvalerate
6- Diazinon
7- Fenitrothion
8- Carbendazim

جدول ٦- نوع، مقدار و اثر محیط زیستی آفت‌کش‌های مورد استفاده در بوم‌نظام‌های زراعی یونجه و ذرت علوفه‌ای

Table 6- Pesticides name, amount used and EIQ in alfalfa and corn silage production systems

نوع آفت‌کش Type of pesticide	نام آفت‌کش Pesticide Name	مقدار ماده مؤثره مصرفی (کیلوگرم یا لیتر در هکتار) Active ingredient used ($kg.l^{-1}$ per ha)		ضریب اثر محیط زیستی آفت‌کش EIQ	ضریب اثر محیط زیستی مزرعه‌ای Field EIQ	
		ذرت علوفه‌ای Corn silage	یونجه Alfalfa		ذرت علوفه‌ای Corn silage	یونجه Alfalfa
علف‌کش Herbicide	پاراکوات Paraquat	0	1	24.7	0	25.7
	ایمازاتاپیر Imazethapyr	0	0.06	19.5	0	1.2
	تریفلورالین Trifluralin	0	0.21	18.8	0	4
	گلیفوسیت Glyphosate	0	0.04	15.3	0	0.6
	کلرتال دی‌متیل Chlorthal Dimethyl	0	1.5	15.4	0	23.1
	توفوردی 2,4-D	0.45	0	16.6	7.5	0
	نیکوسولفورون Nicosulfuron	0.013	0	19.5	0.26	0
	آمترین Ametryn	0.66	0	24.1	16.1	0
حشره‌کش Insecticide	دلتامترین Deltamethrin	0.005	0.03	28.3	0.14	0.8
	استامی پراید Acetamiprid	0	0.02	28.7	0	0.6
	کلرپیریفوس Chlorpyrifos	0.20	0.40	26.8	5.4	10.9
	دیازینون Diazinon	0.3	0.45	44	13.2	19.8
	ایمیداکلوپراید Imidacloprid	0.04	0.31	36.7	1.5	11.5
	اندوسولفان Endosulfan	0	0.15	38.5	0	6
	فوزالون Phosalone	0	0.14	34.4	0	4.8
	فنیتروتیون Fenitrothion	0.41	0.25	52	21.6	13
	آبامکتین Abamectin	0	0.002	34.7	0	0.7
	فن والریت Fenvalerate	0	0.84	39.5	0	33.2
	پرمترین Permethrin	0	0.04	29.3	0	1
	سایپرمترین Cypermethrin	0	0.16	36.3	0	5.8
	هگزی‌تیازوکس Hexythiazox	0.008	0	33	0.27	0
	اتیون Ethion	0.15	0	43.2	6.7	0
قارچ‌کش Fungicide	کاربندازیم Carbendazim	0.7	0.3	50.5	35.3	15.1
	کربوکسین Carboxin	0.62	0	18.7	11.7	0
	کروزاکسیم میتل kresoxim-methyl	0	0.025	15	0	0.4
	پنکونازول Penconazole	0.016	0.01	54.6	0.9	0.5
	بنومیل Benomyl	0	0.1	30.2	0	3

سایر Others	فنپروپاترین Fenpropathrin	0	0.025	25.3	0	0.6
	مجموع آفت‌کش‌ها Sum of Pesticides	–	–	–	120.5	182.3



شکل ۵- سهم درصدی حشره‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و علف‌کش‌ها از کل شاخص FEIQ در بوم‌نظام‌های زراعی ذرت علوفه‌ای و یونجه

Fig. 5- Percent contribution of insecticides, fungicides and herbicides in FEIQ of silage corn and alfalfa production systems

استفاده از منابع زمین، آب و کودها

شاخص کارایی استفاده از زمین که به نوعی بیانگر درصد اشغال زمین توسط محصول طی یک سال را نشان می‌دهد، برای یونجه (۵۳/۴) بیشتر از ذرت علوفه‌ای (۲۴/۶) به دست آمد (جدول ۷). اما، شاخص بهره‌وری زمین برای یونجه (۱۴۰ کیلوگرم در هکتار در روز) مقدار کمتری از ذرت علوفه‌ای (۵۸۳ کیلوگرم در هکتار در روز) به خود اختصاص داد (جدول ۷). این شاخص نشان می‌دهد که گیاه ذرت علوفه‌ای به ازای دوره رشد خود محصول بیشتری را نسبت به یونجه تولید کرده است. به همین ترتیب، بهره‌وری اقتصادی زمین برای ذرت علوفه‌ای (۲۲/۹ دلار در هکتار در روز) اندکی بیشتر از یونجه (۲۱/۵ دلار در هکتار در روز) به دست آمد (جدول ۷) که این موضوع به سود خالص بالاتر و دوره رشد کوتاه ذرت علوفه‌ای نسبت به یونجه بر می‌گردد.

بررسی مصرف آب آبیاری در بوم‌نظام‌های یونجه و ذرت علوفه‌ای نشان داد که از نظر شاخص بهره‌وری آب آبیاری، یونجه و ذرت علوفه ای به ازای هر مترمکعب آب مصرفی به ترتیب حدود ۴/۱ و ۸ کیلوگرم محصول اقتصادی تولید کرده‌اند (جدول ۷). در تحقیقات انجام گرفته در استان کرمان، میزان بهره‌وری آب آبیاری برای یونجه و ذرت علوفه‌ای به ترتیب در دامنه ۱/۶ الی ۱/۴ کیلوگرم بر متر مکعب و ۹/۱ الی ۴/۳ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش شده است (Heydari, 2011). در مطالعه دیگر، غلامی و همکاران (Gholami et al., 2016) بهره‌وری آب آبیاری با سیستم‌های آبیاری بارانی را برای جو ۰/۷۵ تا ۲/۵، یونجه ۰/۲ تا ۱/۷۶، ذرت ۰/۳ تا ۲/۷۸ و گندم ۰/۶۱ تا ۲/۲ کیلوگرم بر متر مکعب و در سیستم آبیاری سطحی برای جو ۰/۴۳ تا ۱/۴۲، یونجه ۰/۱۲ تا ۱/۶۴، ذرت ۰/۲۲ تا ۱/۵۸ و گندم ۰/۴۳ تا ۱/۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد کردند. تفاوت در بهره‌وری آب آبیاری بین محصولات و مناطق مختلف می‌تواند تحت تأثیر عوامل و پارامترهای زیادی از جمله شرایط اقلیمی، کیفیت آب و خاک، نوع منبع آب و سیستم آبیاری، مسائل مدیریت به‌زراعی و به نژادی، ارقام گیاهی، مالکیت و مساحت اراضی و میزان و نوع عملیات و نهاده‌های کشاورزی بستگی داشته باشد. از دید اقتصادی، بهره‌وری آب آبیاری در یونجه (۰/۶۳ دلار بر متر مکعب) نسبت به ذرت علوفه ای (۰/۳۱ دلار بر متر مکعب) برتری نشان داد. غلامی و همکاران (Gholami et al., 2016) بهره‌وری آب آبیاری را در دو سیستم سطحی و بارانی برای محصولات گندم، ذرت، یونجه و جو در دشت قزوین بررسی کردند و گزارش کردند که در هر دو سیستم آبیاری، میزان بهره‌وری اقتصادی آب برای گندم و ذرت بیشتر از یونجه و جو به دست آمد. مولدن و همکاران (Molden et al., 2007) دامنه بهره‌وری اقتصادی آب مصرفی برای گندم، برنج و ذرت را در چین به ترتیب ۰/۳۰ تا ۰/۰۴، ۰/۱۸ تا ۰/۰۵ و ۰/۲۲ تا ۰/۰۳ دلار بر متر مکعب گزارش کردند.

جدول ۷- کارایی استفاده از زمین، آب و کودها در بوم‌نظام‌های زراعی یونجه و ذرت علوفه‌ای

Table 7- Land, water and fertilizer use efficiency in alfalfa and corn silage production systems

شاخص‌ها Indicators	واحد Unit	ذرت علوفه‌ای Corn silage	یونجه Alfalfa
کارایی استفاده از زمین Land use efficiency	%	24.6	53.4
بهره‌وری زمین Land productivity	$kg.ha^{-1}.day^{-1}$	583	140
بهره‌وری اقتصادی زمین Economic land productivity	$\$.ha^{-1}.day^{-1}$	22.9	21.5
بهره‌وری آب آبیاری Irrigation water productivity	$Kg.m^{-3}$	8	4.1
بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری Economic irrigation water productivity	$\$.m^{-3}$	0.31	0.63
کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency	$kg.kg^{-1}$	565	335
کارایی مصرف فسفر Phosphorous use efficiency	$kg.kg^{-1}$	3553	1191
کارایی مصرف پتاسیم Potassium use efficiency	$kg.kg^{-1}$	65525	1826

در بوم‌نظام‌های مورد مطالعه، کارایی مصرف کود در یونجه (به ترتیب ۳۳۵، ۱۱۹۱ و ۱۸۲۶ کیلوگرم بر کیلوگرم برای نیتروژن، فسفر و پتاسیم) کمتر از ذرت علوفه‌ای (به ترتیب ۵۶۵، ۳۵۵۳ و ۶۵۵۲۵ کیلوگرم بر کیلوگرم برای نیتروژن، فسفر و پتاسیم) بود (جدول ۷). میانگین جهانی کارایی مصرف نیتروژن برای گندم، برنج و ذرت به ترتیب ۴۴/۵، ۶۲/۴ و ۷۰ کیلوگرم بر کیلوگرم گزارش شده است (Prasad, 2009). ژو و همکاران (Zhu et al., 2012) نیز کارایی مصرف فسفر را برای گندم حدود ۶۷/۰۴ کیلوگرم بر کیلوگرم گزارش کردند. به طور کلی، اگرچه با افزایش مقدار کود مصرفی عملکرد محصول افزایش پیدا می‌کند، اما کارایی مصرف کود عموماً با افزایش مقدار مصرف کود کاهش پیدا می‌کند (Vaezi et al., 2002). به نظر می‌رسد در پژوهش حاضر مصرف کمتر کود در ذرت علوفه‌ای نسبت به یونجه دلیل بالاتر بودن کارایی مصرف کود در این محصول باشد. مصرف نسبتاً پایین کود در ذرت علوفه‌ای در منطقه مورد مطالعه معمولاً به این دلیل است که این محصول به عنوان کشت دوم پس از محصولاتی نظیر سیب‌زمینی و هویج که کود زیادی در کشت آن‌ها استفاده می‌شود کشت شده و همین مساله باعث می‌شود زمین زیر کشت از نظر عناصر غذایی حاصلخیز بوده و نیاز به مصرف کود در تولید ذرت علوفه‌ای چندان بالا نباشد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که کل انرژی ورودی، انرژی خروجی و انرژی خالص در بوم‌نظام‌های یونجه بیشتر از ذرت علوفه‌ای بود. همچنین، شاخص‌های کارایی مصرف انرژی و انرژی مخصوص در یونجه مقادیر بالاتری از ذرت علوفه‌ای نشان داد. در هر دو بوم‌نظام مورد مطالعه، سهم انرژی مستقیم از کل انرژی ورودی بیشتر از انرژی غیرمستقیم و سهم انرژی تجدیدناپذیر از کل انرژی ورودی بیش از انرژی تجدیدپذیر بود. از نظر شاخص‌های اقتصادی، علی‌رغم پایین بودن هزینه کل تولید در ذرت علوفه‌ای، بیشترین ارزش ناخالص تولیدی و سود خالص برای یونجه محاسبه گردید. مقایسه بوم‌نظام‌های مورد مطالعه از نظر پتانسیل گرمایش جهانی و اثر محیط زیستی ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها نشان داد که تولید یونجه در مقایسه با ذرت علوفه‌ای اثر بیشتری بر گرمایش جهانی داشته و نیز اثرات محیط زیستی بیشتری را ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها بر جای می‌گذارد. اما، از نظر شاخص کارایی اکولوژیک که بیانگر ارزش ناخالص محصول تولیدی به ازای اثر محیط زیستی ایجاد شده است، پتانسیل گرمایش جهانی و اثر محیط زیستی ناشی از مصرف

آفت‌کش‌ها در یونجه کمتر از ذرت علوفه‌ای به دست آمد. نتایج به دست آمده نشان داد که شاخص‌های بهره‌وری زمین، بهره‌وری اقتصادی زمین، بهره‌وری آب آبیاری و کارایی استفاده از کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم در ذرت علوفه‌ای بیشتر از یونجه بود اما بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری در یونجه بیشتر از ذرت علوفه‌ای محاسبه گردید.

به طور کلی، باید به این نکته توجه کرد که ارزش هر یک از شاخص‌های ذکر شده بر اساس شرایط خاص هر منطقه متفاوت بوده و در فرایند طراحی الگوی کشت مناسب و پایدار یک منطقه یک شاخص ممکن است بیشتر از سایر گزینه‌ها مورد توجه قرار بگیرد. بنابراین، برتری یک محصول به محصول دیگر بر اساس شاخص‌های مورد مطالعه بیشتر بستگی به شرایط موجود منطقه و اهداف کلان سیاستگزاران دارد.

منابع

Acaroglu, M. 1998. Energy from Biomass, and Applications. University of Selcuk, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Turkey.

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

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.

Bakhtiari, A.A., Hematian, A., and Sharifi, A. 2015. Energy analyses and greenhouse gas emissions assessment for saffron production cycle. Environmental Science and Pollution Research 22: 16184-16201.

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.

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: 6–666-55.

Chien, S., Prochnow, L., and Cantarella, H. 2009. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. Advances in Agronomy 102: 267-322.

Cross, P., and Edwards-Jones, G. 2006. Variation in pesticide hazard from vegetable production in Great Britain from 1991 to 2003. Pest Management Science 62: 1058-1064.

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.

De Jonge, A.M. 2004. Eco-efficiency improvement of a crop protection product: the perspective of the crop protection industry. Crop Protection 23: 1177-1186.

Deihimfard, R., Soufizadeh, S., Moinoddini, S., Kambouzia, J., Zand, E., Damghani, A.M., Mosleh, L., and Saberpour, L. 2014. Evaluating risk from insecticide use at the field and regional scales in Iran. Crop Protection 65: 29-36.

Deihimfard, R., Zand, E., Damghani, A.M., and Soufizadeh, S. 2007. Herbicide risk assessment during the Wheat Self-sufficiency Project in Iran. Pest Management Science 63: 1036-1045.

Eshenaur, B., Grant, J., Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J., and Tette, J. 1992-2015. Environmental impact quotient: ‘‘a method to measure the environmental impact of pesticides. New York State Integrated Pest Management Program, Cornell Cooperative Extension, Cornell University.

Fijani, E., Nadiri, A.A., Moghaddam, A.A., Tsai, F.T.C., and Dixon, B. 2013. Optimization of DRASTIC method by supervised committee machine artificial intelligence to assess groundwater vulnerability for Maragheh–Bonab plain aquifer, Iran. Journal of Hydrology 503: 89-100.

Ghaderpour, O., Rafiee, S., and Sharifi, M. 2016. Analysis and modeling of energy and the production cost of alfalfa using multi-layer adaptive neuro-fuzzy inference system in Bukan city. The 2nd National Conference on Agricultural Mechanization and New Technologies, Ahvaz, Iran. (In Persian)

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.

Gholami, Z., Ebrahimian, H., and Noory, H. 2016. Investigation of Irrigation Water Productivity in Sprinkler and Surface Irrigation Systems (Case study: Qazvin Plain). Journal of Irrigation Science and Engineering 39: 135-146.

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.

Gill, H.K., and Garg, H. 2014. Pesticides: environmental impacts and management strategies. Pesticides - Toxic Aspects. Dr. Sonia Soloneski (Ed.), ISBN: 978-953-51-1217-4, InTech, 187-230.

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.

Heydari, N. 2011. Determination and evaluation of water use efficiency of some major crops under farmers management in Iran. Journal of Water and Irrigation Management 1: 43-57.

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

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

Katerji, N., Mastrorilli, M., and Rana, G. 2008. Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: review and analysis. European Journal of Agronomy 28: 493-507.

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

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

Levitan, L. 2000. "How to" and "why": assessing the enviro–social impacts of pesticides. Crop Protection 19: 629-636.

Mahdavi Damghani, A., Koocheki, A., Moghaddam, P.R., and Mahallati, M.N. 2006. Studying the sustainability of a wheat-cotton agroecosystem in Iran. Asian Journal of Plant Sciences.

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.

Molden, D., Bin, D., Loeve, R., Barker, R., and Tuong, T. 2007. Agricultural water productivity and savings: policy lessons from two diverse sites in China. Water Policy 9: 29-44.

Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M.A., and Kijne, J. 2010. Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. Agricultural Water Management 97: 528-535.

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)

Mosier, A.R., Syers, J.K., and Freney, J.R. 2004. Agriculture and the nitrogen cycle: assessing the impacts of fertilizer use on food production and the environment. Island Press, London.

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

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.

Pimentel, D., Hepperly, P., Hanson, J., Douds, D., and Seidel, R. 2005. Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. BioScience 55: 573-582.

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: 333–3341-5.

Prasad, R. 2009. Efficient fertilizer use: The key to food security and better environment. Journal Tropical Agricalture 47: 1-17.

Rodrigues, G.C., and Pereira, L.S. 2009. Assessing economic impacts of deficit irrigation as related to water productivity and water costs. Biosystems Engineering 103: 536-551.

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.

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

Sharma, R., Peshin, R., Shankar, U., Kaul, V., and Sharma, S. 2015. Impact evaluation indicators of an Integrated Pest Management program in vegetable crops in the subtropical region of Jammu and Kashmir, India. Crop Protection 67: 191-199.

Singh, S., Sah, A., Singh, R., Singh, V., and Hasan, S. 2010. Diversification of rice (*Oryza sativa* L.)-based crop sequences for higher production potentials and economic returns in India's central Uttar Pradesh. Journal of Sustainable Agriculture 34: 141-152.

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.

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.

Vaezi, A.R., Homaee, M., and Malakoti, M. 2002. Effect of fertigation on fertilizer use efficiency and water use efficiency on forage corn. Journal of Water and Soil Science 16: 152-160.

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.

Zhu, X.K., Li, C.Y., Jiang, Z.Q., Huang, L.L., Feng, C.n., Guo, W.S., and Peng, Y.X. 2012. Responses of phosphorus use efficiency, grain yield, and quality to phosphorus application amount of weak-gluten wheat. Journal of Integrative Agriculture 11: 1103-1110.

Journal of Agroecology
Vol. 10, No.3, Fall 2018, p. 875-895

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۰، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷، ص. ۸۹۵-۸۷۵

Ecological– Economic Efficiency for Alfalfa (*Medicago sativa* L.) and Corn Silage (*Zea mays* L.) Production Systems: Maragheh– Bonab Plain, East Azerbaijan Province

A. Mohammadzadeh[1], A. Mahdavi Damghani*[2], J. Vafabakhsh[3] and R. Deihimfard[4]

Submitted: 23-02-2017
Accepted: 02-05-2017

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(3): 875-895.

Introduction

Agriculture development heavily relies on chemical inputs such as synthetic fertilizers, pesticides, fossil fuels and other energy-intensive inputs. This development is having a serious impact on public health and the environment. Therefore, efficient use of resources is a primary and most vital implications for sustainable agriculture development. Sustainability indices are quantitative values that can be used to evaluate the efficiency and quality of agroecosystems and are useful tools for making suitable decisions in its management. These including energy flow indices, global warming potential (GWP), economic indices, environmental impact quotient (EIQ) of pesticides, efficiency of land, water and fertilizers use and etc. Alfalfa and corn silage as the main source of feed for livestock, have a notable area in the cropping pattern of Maragheh-Bonab plain. Therefore, evaluation of sustainability for these crops will help the sustainable management of agroecosystems in the study area. The present study was conducted to: (a) determine energy efficiency and global warming potential; (b) determine the environmental impacts of pesticides; (c) assess input use efficiency and; (d) economic analysis of alfalfa and corn silage production systems in East Azerbaijan province of Iran.

Materials and Methods

In the present study, the sustainability of alfalfa and corn silage production systems lies in the Maragheh-Bonab plain in southern East Azerbaijan province in northwestern Iran were evaluated using quantitative indices such as energy efficiency and productivity, greenhouse gas (GHG) emission; economic indicators; pesticide risk (field environmental impact—FEIQ); tillage impact (TI); fertilizer, labour, land and water use efficiency, and the eco-efficiency index. For this purpose, data was collected from 110 farmers by survey to determine crop production in the region. Secondary data including climate characteristics and products sale price was obtained from previous studies and organizations such as the Agricultural Ministry of Iran.

Results and Discussion

The results showed that the values of input energy, output energy and net energy in alfalfa production system (48151, 432920 and 384768 Mj.ha^{-1}, respectively) were higher than corn silage production system (35557, 217350 and 181792 Mj.ha^{-1}, respectively). Also, it was observed that the values of energy use efficiency and specific energy of alfalfa (9 and 15.8 MJ.kg^{-1}, respectively) were higher than that of corn silage (6.1 and 4.1 MJ.kg^{-1}, respectively). In terms of economic indices, despite of lower total cost of production in corn silage (1089 \$.ha^{-1}), the highest values of gross production value (6447 \$.ha^{-1}) and net return (4193 \$.ha^{-1}) were related to alfalfa production system. In terms of GWP and EIQ, alfalfa production had the higher values with compared to corn silage production. However, eco-efficiency (ratio of economic value to the environmental impact) values

1, 2 and 4- Graduated PhD. Student, Assistant Professor and Associate Professor of Department of Agroecology, Environmental Science Research Institute, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran, respectively.
3- Assistant Professor of Seed and Plant Improvement Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Reseach and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: mmd323@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jag.v10i3.62701

based on of GWP and EIQ was significantly higher for alfalfa (1.75 $.kg $^{-1}$ CO_2eq^{-1} and 35.3 $.EIQ^{-1}) than corn silage (1.5 $.kg^{-1} CO_2eq^{-1} and 26 $.EIQ^{-1}). Land production efficiency, economic land production efficiency, irrigation water productivity, economic irrigation water productivity, nitrogen use efficiency, phosphorous use efficiency and potassium use efficiency were 140 kg.ha^{-1}.day^{-1}, 21.5 $.ha^{-1}.day^{-1}, 4.1 kg.m^{-3}, 0.63 $.m^{-3}, 335 kg.kg^{-1}, 1191 kg.kg^{-1} and 1826 kg.kg^{-1} in alfalfa production system and 583 kg.ha^{-1}.day^{-1}, 22.9 $.ha^{-1}.day^{-1}, 8 kg.m^{-3}, 0.31 $.m^{-3}, 656 kg.kg^{-1}, 3553 kg.kg^{-1} and 65525 kg.kg^{-1} in corn silage production system, respectively.

Conclusion

It can be concluded that environmental impacts of pesticides and global warming effect per area in alfalfa production system were higher than corn silage production system. However, in terms of economic indices and energy use efficiency, alfalfa production system was superior to corn silage production system.

Keywords: Energy efficiency, Fertilizer use efficiency, Global warming, Pesticides, Water productivity