



## کارایی بوم‌شناختی - اقتصادی تولید یونجه (*Medicago sativa* L.) و ذرت علوفه‌ای

(*Zea mays* L.): دشت مراغه - بناب، استان آذربایجان شرقی

آرش محمدزاده<sup>۱</sup>، عبدالمجید مهدوی دامغانی<sup>۲\*</sup>، جواد وفابخش<sup>۳</sup> و رضا دیهیم‌فرد<sup>۴</sup>

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): ۸۷۵-۸۹۵.

### 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 آذربایجان شرقی 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، علی‌رغم 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<sub>2</sub> در هکتار و ۳۵/۳ دلار بر eq.) بیشتر از ذرت علوفه‌ای (۱/۵ دلار بر کیلوگرم CO<sub>2</sub> 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 آگرواکولوژی،

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 پراثری 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 اوزون، کاهش تنوع زیستی در بوم‌نظام‌های خشکی و آبی، آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین، و سرشارسازی (بیوتریفیکاسیون)<sup>۱</sup> 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، الکتروسیسته و عملیات خاک‌ورزی می‌باشد (Camargo et al., 2013; Yousefi et al., 2016; Mohammadi et al., 2014). 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., 2016; Yousefi et al., 2016; al., 2013) و مباحث اقتصادی (Ghorbani et al., 2011; Pishgar Komleh et al., 2011; Azizi &

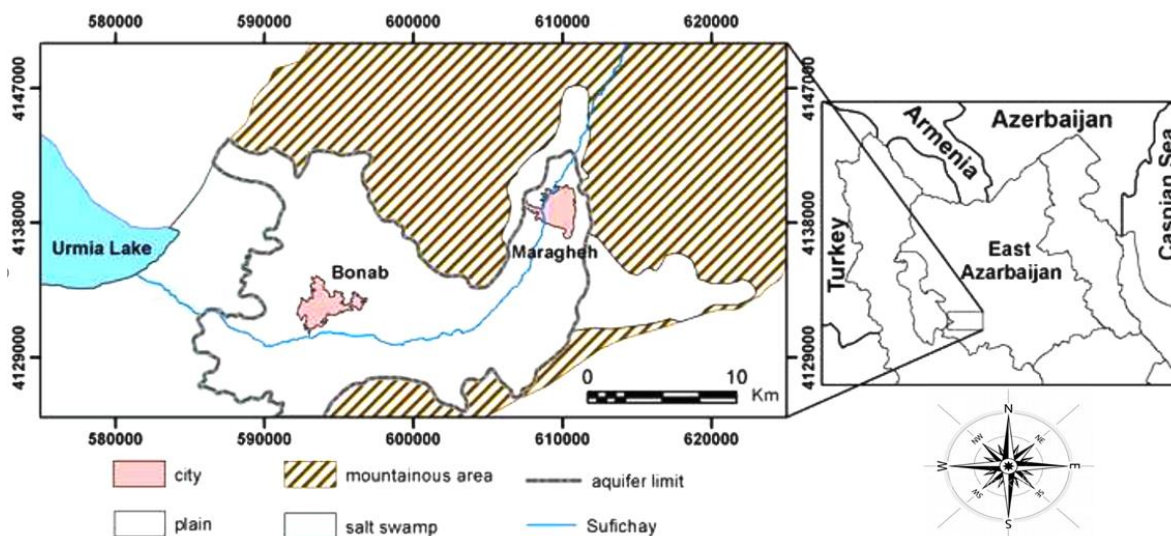
Heidari, 2013; Sahabi et al., 2013; Sahabi et al., 2016) در تولید بسیاری از محصولات زراعی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، اثرات محیط زیستی ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها (Cross & Edwards-Jones, 2006; Deihimfard et al., 2014; Sharma Katerji et al., 2015)، کارایی استفاده از منابع تولید نظیر آب (Singh et al., 2010) (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 تصمیم‌گیرندگان 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 تأمین‌کننده 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).



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)

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:

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

بهره‌وری انرژی:

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

انرژی خالص:

$$\text{معادله (۳)} \quad \text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)} - \text{انرژی خروجی (مگاژول در هکتار)} = \text{انرژی خالص}$$

انرژی مخصوص:

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

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

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 آذربایجان شرقی 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

تجدیدناپذیر به شمار می‌رود (Yilmaz et al., 2005). در مطالعه حاضر، انرژی ورودی برای یونجه و ذرت علوفه‌ای طبق دسته‌بندی‌های مذکور محاسبه گردید.

(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

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

ورودی (الف) a) Inputs	واحد Unit	انرژی معادل (مگاژول بر واحد) Energy equivalents (MJ unit <sup>-1</sup> )	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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) Phosphate	kg	12.44	Hatirli et al. (2006)
پتاسیم (K <sub>2</sub> O) 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 <sup>3</sup>	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)
<b>ب) خروجی</b>			
<b>b) Outputs</b>			
یونجه Alfalfa	kg	15.8	Tsatsarelis & Koundouras (1994)
ذرت علوفه‌ای Corn silage	kg	4.14	Mohammadi et al. (2014)

و متان (CH<sub>4</sub>) 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

#### محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به واسطه نهاده‌های شیمیایی مطابق ضرایب انتشار دی‌اکسید کربن (CO<sub>2</sub>)، اکسید نیتروس (N<sub>2</sub>O)

برای یک دوره ۱۰۰ ساله که برای CO<sub>2</sub> برابر ۱، برای N<sub>2</sub>O برابر ۲۱ و برای CH<sub>4</sub> 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<sub>2</sub> 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 <sub>4</sub>	اکسید نیتروسی N <sub>2</sub> O	دی‌اکسید کربن CO <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> equivalence factor	21	310	1	IPCC (1995)

#### محاسبه ضریب اثر محیط زیستی آفت‌کش‌ها

برای ارزیابی اثرات محیط‌زیستی آفت‌کش‌های مورد استفاده از روش EIQ<sup>۲</sup> (شاخص اثر محیط‌زیستی آفت‌کش‌ها) استفاده شد. در این روش، میزان سمیت (شامل سمیت‌های مزمن، پوستی، سمیت برای ماهی‌ها، پرندگان، بندپایان و زنبورهای عسل)، آشوبی 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 آبی و خشکی را نشان می‌دهد. بدین ترتیب، این مدل مجموعه اطلاعات اثرات محیط‌زیستی مصرف آفت‌کش‌ها به صورت یک عدد از طریق

#### محاسبه شاخص‌های اقتصادی

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

$$\text{معادله (۵)} \quad \text{قیمت هر کیلوگرم محصول (دلار)} \times \text{عملکرد}$$

$$\text{محصول (کیلوگرم در هکتار)} = \text{ارزش ناخالص تولیدی}$$

$$\text{معادله (۶)} \quad \text{کل هزینه تولید (دلار در هکتار)} - \text{ارزش ناخالص تولیدی (دلار در هکتار)} = \text{سود خالص}$$

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

$$\text{معادله (۸)} \quad \frac{\text{عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)}}{\text{کل تولید هزینه (دلار در هکتار)}} = \text{بهره‌وری اقتصادی}$$

2- Environmental impact quotient

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

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<sup>۴</sup>:** 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<sup>۵</sup>:** 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.

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 مزن، DT= سمیت پوستی، P= نیمه عمر 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 (Leviton, 2000):

معادله (۱۰)

$$FEIQ \text{ for } i\text{th crop} = \sum_{j=1}^j EIQ \text{ of pesticide}_j \times \% \text{ active ingredient of pesticide}_j \times \text{dosage rate per ha of pesticide}_j$$

محاسبه شاخص‌های مربوط به مصرف زمین، آب و کودهای شیمیایی

#### شاخص‌های استفاده از زمین:

**کارایی استفاده از زمین<sup>۱</sup>:** 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<sup>۲</sup>:** 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<sup>۳</sup>:** کارایی اقتصادی تولید زمین

4- Irrigation water productivity  
5- Economic irrigation water productivity

1- Land use efficiency  
2- Land production efficiency  
3- Economic land production efficiency

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 <sup>-1</sup> )	
		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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) Phosphate	kg	15.2	23	189.1 (0.5%)	286 (0.6%)
پتاسیم (K <sub>2</sub> O) 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 <sup>3</sup>	6555	6674	6686.4 (18.8%)	6807.7 (14.1%)
بذر Seed	kg	50.0	15.5	1405.0 (4%)	435.5 (0.9%)
<b>ب) خروجی b) Outputs</b>					
عملکرد Yield	kg	52500	27400	217350 (100%)	432920 (100%)

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)

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 (۱/۰ 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

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  $6967/2$  مگاژول در هکتار ( $14/5$  درصد) و  $1440$  مگاژول در هکتار ( $4$  درصد) به دست آمد. در مطالعات مشابه انجام گرفته، سهم انرژی الکتریسیته مصرفی از کل انرژی ورودی در تولید محصول یونجه بین  $24/3$  الی  $77/3$  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  $6807/7$  مگاژول در هکتار ( $14/1$  درصد) و  $6686/4$  مگاژول در هکتار ( $18/8$  درصد) محاسبه گردید. در سایر مطالعات انجام گرفته، این میزان برای ذرت علوفه‌ای حدود  $6372$  مگاژول در هکتار با  $9/2$  درصد از کل انرژی ورودی (Pishgar Komleh et al., 2011) و برای یونجه حدود  $4135$  مگاژول در هکتار با سهم  $8/3$  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  $62$  کیلوگرم در هکتار (معادل  $1742$  مگاژول در هکتار) می‌باشد که با میانگین سالانه  $15/5$  کیلوگرم در هکتار (میانگین سالانه چهار سال چرخه تولید

به دست آمد. یوسفی و محمدی (Yousefi & Mohammadi, 2011) انرژی ورودی مربوط به ماشین آلات در تولید یونجه را  $40/9$  ساعت در هکتار معادل  $2564$  مگاژول در هکتار با سهم  $5/5$  درصد از کل انرژی ورودی گزارش کردند. سفیدپری و همکاران (Sefeedpari et al., 2012) این میزان را برای ذرت علوفه‌ای حدود  $2148$  مگاژول در هکتار با  $5/8$  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  $21422/3$  مگاژول در هکتار با سهم  $44/5$  درصد از کل انرژی ورودی و در ذرت علوفه‌ای معادل  $17672/4$  مگاژول در هکتار با سهم  $49/7$  درصد از کل انرژی ورودی بود. یوسفی و محمدی (Yousefi & Mohammadi, 2011) گزارش کردند که گازوئیل مصرفی با انرژی معادل حدود  $21418$  مگاژول در هکتار سهم  $43/1$  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  $9685$  مگاژول در هکتار با سهم  $26/5$  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 حالی که 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  $5410$  مگاژول در هکتار ( $11/2$  درصد از کل انرژی ورودی) و  $6138$  مگاژول در هکتار ( $17/3$  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



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).

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 بذریونجه از کل انرژی ورودی بین ۰/۴ الی ۲/۶۹ مگاژول در هکتار گزارش شده است ( Yousefi & Mohammadi, 2011; Ghasemi Mobtaker et al., 2012; Sefeedpari et al., 2016). سفیدپری و همکاران (Asgharipour et al., 2012) (et al., 2012) انرژی معادل بذری مصرفی در تولید ذرت علوفه‌ای را حدود ۳۰۰۰ مگاژول در هکتار با سهم ۸/۲ درصدی از کل انرژی

جدول ۴- 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 <sup>-1</sup>	35557	48151
انرژی خروجی Output energy	MJ.ha <sup>-1</sup>	217350	432920
انرژی خالص Net energy	MJ.ha <sup>-1</sup>	181792	384768
کارایی مصرف انرژی Energy use efficiency	-	6.1	9
انرژی مخصوص Specific energy	MJ.kg <sup>-1</sup>	4.1	15.8
بهره‌وری انرژی Energy productivity	Kg.MJ <sup>-1</sup>	1.50	0.57
<b>شکل‌های انرژی</b> <b>Forms of energy</b>			
انرژی مستقیم Direct energy	MJ.ha <sup>-1</sup>	26285 (73.9%)	36793 (74.4%)
انرژی غیر مستقیم Indirect energy	MJ.ha <sup>-1</sup>	9273 (26.1%)	12643 (25.6%)
انرژی تجدیدپذیر Renewable energy	MJ.ha <sup>-1</sup>	8577 (24.1%)	10125 (20.5%)
انرژی تجدید ناپذیر Non-renewable energy	MJ.ha <sup>-1</sup>	26980 (75.9%)	39312 (79.5%)

(2012) به ترتیب حدود ۳۶۵۱۳، ۱۲۷۰۷۷ و ۹۰۵۶۳ مگاژول در هکتار و توسط پیشگار کومله 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 می‌توان بیان کرد که تولید یونجه در مقایسه با ذرت علوفه‌ای به انرژی ورودی بیشتری نیاز دارد، اما با توجه به عملکرد تولیدی این محصول

در سایر مطالعات، میانگین سالانه انرژی ورودی و انرژی خروجی برای یونجه به ترتیب بین ۴۹۶۸۹ تا ۱۱۵۷۹۵ و ۲۱۷۸۸۷ تا ۲۴۰۰۷۲ مگاژول در هکتار گزارش 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.,

## 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. پیشگام 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 بهره‌وری 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 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<sub>2</sub> در هکتار و در کشت ذرت علوفه‌ای معادل ۲۱۰۳ کیلوگرم CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> در هکتار و در ذرت علوفه‌ای ۱/۵ دلار به معادل کیلوگرم CO<sub>2</sub> در هکتار محاسبه گردید.

که انرژی خروجی بیشتری را در مقایسه با ذرت علوفه‌ای تولید می‌کند، از نظر بیان 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 علوفه‌ای (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 ۱/۸ 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 می‌شود، 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 کم‌خاک‌ورزی؛ مدیریت مصرف آب که با مصرف الکتریسیته یا سوخت‌های فسیلی برای پمپاژ آب آبیاری در ارتباط می‌باشد از جمله مواردی است که می‌تواند در فرایند تولید محصولات زراعی به کاهش سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر از کل انرژی ورودی کمک کند.

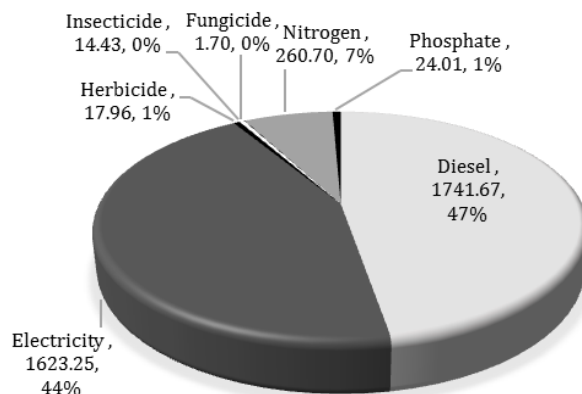
جدول ۵- تجزیه و تحلیل اقتصادی بوم‌نظام‌های زراعی یونجه و ذرت علوفه‌ای  
Table 5- Economic analysis of alfalfa and corn silage production systems

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

۶۰۹۴ کیلوگرم CO<sub>2</sub> در هکتار گزارش کردند.

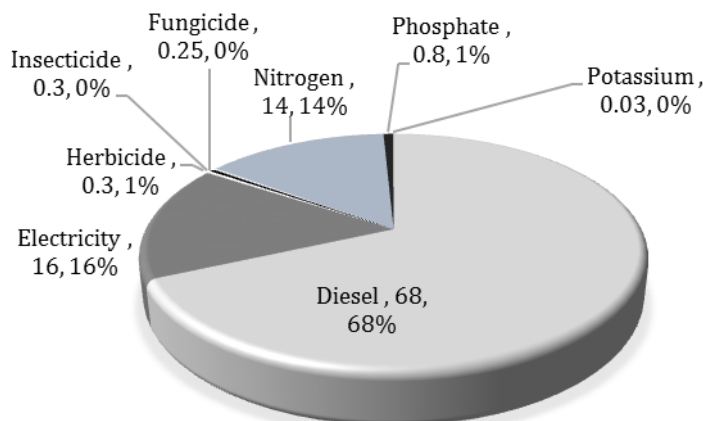
نتایج نشان داد که در هر دو بوم‌نظام مورد مطالعه، گازوئیل، الکتریسیته و کود نیتروژن بیشترین سهم را در پتانسیل گرمایش جهانی داشتند (شکل‌های ۳ و ۴). گازوئیل سوخت مورد نیاز بیشتر ماشین‌آلات کاشت، داشت و برداشت محصولات علوفه‌ای بوده و در بعضی از موتور پمپ‌های آب نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین، بسیاری 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 ( Yousefi et al., 2016; Bakhtiari et al., 2013; Khoshnevisan et al., 2015).

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 می‌باشد 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<sub>2</sub> 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



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 ۴- 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

کش‌ها را در تولید صیفی‌جات در بریتانیا مورد مطالعه قرار دادند و گزارش کردند که ضریب اثر محیط زیستی ناشی از مصرف حشره‌کش‌ها بیشتر از قارچ‌کش‌ها و علف‌کش‌ها می‌باشد. آن‌ها گزارش کردند که ضریب اثر محیط زیستی ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها در پیاز (*Allium ampeloprasum* L.) و تره‌فرنگی (*Allium cepa* 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 علف‌کش‌های 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* var. *botrytis* L. var. *capitata* L. Moench)، بامیه (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) و بادمجان (*Solanum melongena* L.) به ترتیب ۳۷/۸، 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.

#### اثر محیط زیستی آفت‌کش‌ها

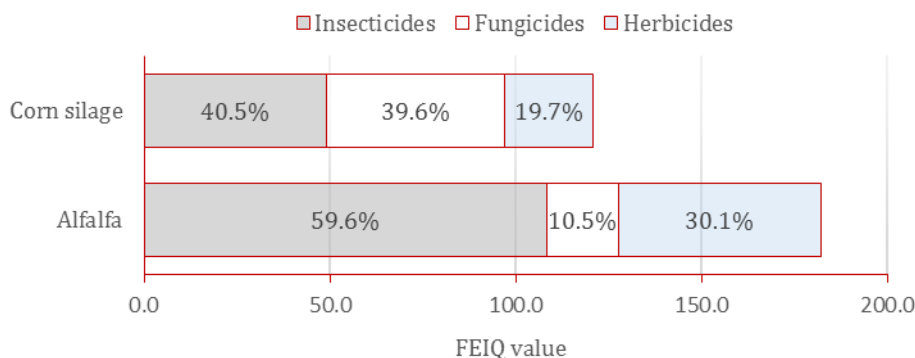
نتایج نشان داد که ضریب اثر محیط زیستی ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها در مزارع یونجه ۱۸۲/۳ واحد در هکتار و در مزارع ذرت علوفه‌ای ۱۲۰/۵ در هکتار بود (جدول ۶). در مورد علف‌کش‌ها، پاراکوات<sup>۱</sup> و کلرتال‌دی‌متیل<sup>۲</sup> (داکتال) بیشترین اثر محیط زیستی را در تولید یونجه و آمترین<sup>۳</sup> و توفوردی<sup>۴</sup> بیشترین اثر محیط زیستی را در تولید ذرت علوفه‌ای بر جای می‌گذارند که در مقایسه با سایر علف‌کش‌ها به میزان بیشتری مورد استفاده قرار می‌گیرند. از گروه حشره‌کش‌ها، فن‌والریت<sup>۵</sup> و دیازینون<sup>۶</sup> در تولید یونجه و فنیترتیون<sup>۷</sup> و دیازینون در تولید ذرت بیشترین اثر محیط زیستی را ایجاد می‌کنند. قارچ‌کش کاربندازیم<sup>۸</sup> 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

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

جدول ۶- 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 <sup>-1</sup> 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
	آمتترین Ametryn	0.66	0	24.1	16.1	0
	دلتامترین Deltamethrin	0.005	0.03	28.3	0.14	0.8
	استامی پراید Acetamiprid	0	0.02	28.7	0	0.6
حشره‌کش Insecticide	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
	فنیتروثیون 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
	سایپرمتترین Cypermethrin	0	0.16	36.3	0	5.8
قارچ‌کش Fungicide	هگزری تیاروکس Hexythiazox	0.008	0	33	0.27	0
	اتیون Ethion	0.15	0	43.2	6.7	0
	کاربندازیم Carbendazim	0.7	0.3	50.5	35.3	15.1
	کربوکسین Carboxin	0.62	0	18.7	11.7	0
	کروزاکسیم میتیل 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

(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 ۰/۱۲ 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.

#### 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

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 <sup>-1</sup> .day <sup>-1</sup>	583	140
بهره‌وری اقتصادی زمین Economic land productivity	\$.ha <sup>-1</sup> .day <sup>-1</sup>	22.9	21.5
بهره‌وری آب آبیاری Irrigation water productivity	Kg.m <sup>-3</sup>	8	4.1
بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری Economic irrigation water productivity	\$.m <sup>-3</sup>	0.31	0.63
کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency	kg.kg <sup>-1</sup>	565	335
کارایی مصرف فسفر Phosphorous use efficiency	kg.kg <sup>-1</sup>	3553	1191
کارایی مصرف پتاسیم Potassium use efficiency	kg.kg <sup>-1</sup>	65525	1826

### 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 تجدیدنپذیر 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

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.

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 سیاست‌گذاران دارد.

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

## 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 2<sup>nd</sup> 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., Alegha, 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 Sefeedpari, 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 Agriculture* 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., Homae, 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.



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

A. Mohammadzadeh<sup>1</sup>, A. Mahdavi Damghani<sup>\*2</sup>, J. Vafabakhsh<sup>3</sup> and R. Deihimfard<sup>4</sup>

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<sup>-1</sup>, respectively) were higher than corn silage production system (35557, 217350 and 181792 MJ.ha<sup>-1</sup>, respectively). Also, it was observed that the values of energy use efficiency and specific energy of alfalfa (9 and 15.8 MJ.kg<sup>-1</sup>, respectively) were higher than that of corn silage (6.1 and 4.1 MJ.kg<sup>-1</sup>, respectively). In terms of economic indices, despite of lower total cost of production in corn silage (1089 \$.ha<sup>-1</sup>), the highest values of gross production value (6447 \$.ha<sup>-1</sup>) and net return (4193 \$.ha<sup>-1</sup>) 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 Research 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 ( $1.75 \text{ \$} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ CO}_2\text{eq}^{-1}$  and  $35.3 \text{ \$} \cdot \text{EIQ}^{-1}$ ) than corn silage ( $1.5 \text{ \$} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ CO}_2\text{eq}^{-1}$  and  $26 \text{ \$} \cdot \text{EIQ}^{-1}$ ). 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  $140 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ ,  $21.5 \text{ \$} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ ,  $4.1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $0.63 \text{ \$} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $335 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $1191 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$  and  $1826 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$  in alfalfa production system and  $583 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ ,  $22.9 \text{ \$} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ ,  $8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $0.31 \text{ \$} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $656 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $3553 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$  and  $65525 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$  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

