



فصلنامه علوم محیطی، دوره بیست و یکم، شماره ۳، پائیز ۱۴۰۲

۱-۳۰

مقاله پژوهشی

## مطالعه جریان انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی تولید محصولات یونجه و ذرت علوفه‌ای با منابع مختلف تامین آب (مطالعه موردی: دشت قزوین)

احسان خدارضایی، کورس خوشبخت\*<sup>1</sup>، هادی ویسی و محمد رضا نظری

گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۹

خدارضایی، ا. ک. خوشبخت، ه. ویسی و م.ر. نظری. ۱۴۰۲. مطالعه جریان انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی تولید محصولات یونجه و ذرت علوفه‌ای با منابع مختلف تامین آب (مطالعه موردی: دشت قزوین). فصلنامه علوم محیطی. ۲۱(۳): ۱-۳۰.

**سابقه و هدف:** مصرف انرژی در بخش کشاورزی، رشد سریع‌تری را نسبت به سایر بخش‌های اقتصاد کشاورزی تجربه کرده است. در کشورهای در حال توسعه، میزان قابل توجهی از انرژی برای تولید و امنیت غذایی مصرف می‌شود. مصرف انرژی در بخش کشاورزی منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های محیط‌زیستی شده است که عواقبی مانند گرمایش جهانی و تغییر اقلیم را در پی دارد. مصرف انرژی در ایران سه برابر میانگین جهانی است. تجزیه و تحلیل جریان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در بوم‌نظام‌های کشاورزی می‌تواند از طریق بهینه‌سازی عملیات تولید به کاهش اثرات محیط‌زیستی کمک کند. دشت قزوین در ایران یکی از دشت‌های مهم کشاورزی است که در کنار استفاده از آب زیرزمینی، بزرگترین شبکه کانال‌کشی آبیاری و زهکشی در ایران را دارا است. در پژوهش حاضر، جریان انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی تولید یونجه و ذرت علوفه‌ای در دو سیستم تامین آب از چاه و شبکه کانال آبیاری در دشت قزوین ارزیابی شد.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش، تجزیه و تحلیل شاخص‌های انرژی و اثر گرمایش جهانی بررسی شد. داده‌های پژوهش از طریق پرسشنامه و مصاحبه با کشاورزان در سال ۹۷-۹۸ جمع‌آوری شد. پتانسیل گرمایش جهانی با روش ارزیابی چرخه حیات و با استفاده از نرم افزار SimaPro 9 محاسبه شد.

**نتایج و بحث:** نتایج نشان داد تولید یونجه با سیستم تامین آب از چاه به میزان ۱۲۸۶۹۷ مگاژول در هکتار بیشترین و تولید ذرت با سیستم تامین آب از کانال به میزان ۶۴۹۷۵ مگاژول در هکتار کمترین انرژی ورودی را به خود اختصاص دادند. کارایی مصرف انرژی در تولید ذرت (۳/۶) و یونجه (۳/۴) در سیستم کانال‌کشی بیشتر از سیستم تامین آب از چاه (۲/۳) در ذرت و (۱/۴۹) در یونجه محاسبه شد. پتانسیل گرمایش جهانی در سیستم تامین آب زیرزمینی برای ذرت و یونجه به ترتیب ۷۴۶۶/۹ و ۷۹۹۵/۷۶ و در سیستم کانال‌کشی به ترتیب

\*Corresponding Author: Email Address. k\_khoshbakht@sbu.ac.ir

<http://dx.doi.org/10.48308/envs.2022.1118>

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1402.21.3.1.1>

<https://orcid.org/0000-0001-8152-4292>



**Copyright:** © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

۵۵۳۳/۳۴ و ۴۹۴۷/۶۷ معادل کیلوگرم دی‌اکسید کربن در هکتار برآورد شد. الکتريسيته و انتشارات مستقيم از مزرعه بيشتريين سهم را در مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای داشتند.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد که تولید یونجه و ذرت علوفه‌ای در شبکه کانال‌کشی آبیاری در مقایسه با تولید آب زیرزمینی به دلیل مصرف کمتر الکتريسيته برای آبیاری، میزان پتانسیل گرمایش جهانی و مصرف انرژی کمتری را در دشت قزوین دارد. مطابق نتایج، سیستم‌های تحت فشار و انرژی‌های تجدیدپذیر برای آبیاری، خاک‌ورزی حفاظتی و مدیریت کارآمد شبکه کانال‌کشی برای کاهش مصرف منابع و اثرات محیط‌زیستی پیشنهاد شدند.

**واژه‌های کلیدی:** تغییر اقلیم، کشاورزی پایدار، کارایی مصرف انرژی، اثرات محیط‌زیستی.

## مقدمه

تامین امنیت غذایی برای جمعیت در حال رشد جهان با حفظ منابع پایه زمین و آب و با حداقل اثرات محیط‌زیستی به یکی از چالش‌های اساسی در کشاورزی پایدار تبدیل شده است. در کشورهای در حال توسعه بیشتر بوم‌نظام‌های کشاورزی با هدف افزایش تولید و امنیت غذایی، مقدار قابل‌توجهی از انرژی را مصرف می‌کنند. مصرف انرژی در بخش کشاورزی منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود و یکی از عوامل عمده آلودگی محیط‌زیست است. استفاده از سوخت‌های فسیلی به صورت مستقیم در مزارع و در تولید و انتقال نهاده‌ها، انتشار گازهای گلخانه‌ای را در پی دارد که سبب تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی می‌شود (Omrani et al., 2019). تغییر اقلیم به دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای، آینده حیات بشر روی کره زمین را تهدید می‌کند (IPCC, 2007) بنابراین با مصرف بیش‌ازحد و ناکارآمد انرژی، اثرات محیط‌زیستی نیز تشدید می‌شوند (Nabavi-Pelesaraei et al., 2017). بدین سبب، مدیریت بهینه مصرف انرژی در بوم‌نظام‌های کشاورزی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های کشاورزی یکی از مهم‌ترین موضوعاتی است که در این رابطه مورد توجه محققین قرار گرفته است. مصرف انرژی در بخش کشاورزی نسبت به بسیاری از بخش‌های دیگر اقتصاد جهانی با سرعت بیشتری افزایش یافته است. این پدیده به علت افزایش استفاده از ماشین‌آلات و مصرف کودها و آفت‌کش‌ها جهت بهبود عملکرد محصول بوده است

(FAOSTAT., 2018). در مقیاس جهانی، حدود ۵ درصد از کل انرژی در بخش کشاورزی مصرف می‌شود و حدود ۱۲ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز مربوط به این بخش می‌باشد (Smith et al., 2014) که عمدتاً ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، سموم و کودهای کشاورزی، الکتريسيته و عملیات خاک‌ورزی است (Camargo et al., 2013). بر اساس معاهده پاریس، انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان تا سال ۲۰۵۰ باید ۸۰ تا ۹۵ درصد کاهش یابد (Agreement, 2015). تولید و انتشار دی‌اکسید کربن در ایران از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷ حدود ۲۲۶ درصد رشد داشته است (Muntean et al., 2018). ایران هشتمین کشور منتشرکننده گازهای گلخانه‌ای است (Fallahi and Hekmati-Farid, 2013). انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش کشاورزی ایران از دو دهه اخیر تاکنون به علت مصرف کودهای شیمیایی، نهاده‌های انرژی مستقیم و استفاده بیشتر از ماشین‌آلات روند افزایشی را نشان داده است (Sekhavatjou et al., 2011). همچنین، الگوی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در بوم‌نظام‌های کشاورزی می‌تواند تحت تأثیر عواملی نظیر نوع نظام زراعی، الگوی کشت، سطح فناوری، جمعیت شاغل در کشاورزی، دانش کشاورزان، نوع و مقدار مصرف کودهای شیمیایی و میزان عملکرد محصول قرار گیرد (Mohammadzadeh et al., 2017). کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای و ارزیابی آلودگی محیط‌زیست در نظام‌های تولید کشاورزی از طریق تجزیه و تحلیل

(2013) و میزان انتشار یا پتانسیل گرمایش گازه‌های گلخانه‌ای (Tzilivakis *et al.*, 2005; Khoshnevisan *et al.*, 2013; Yousefi *et al.*, 2016; Ingram *et al.*, 2018; Alam *et al.*, 2019) در نظام‌های تولید بسیاری از محصولات زراعی و باغبانی را در مناطق مختلف مورد بررسی قرار داده‌اند.

به‌عنوان مثال، در پژوهشی که توسط Ilahi *et al.* (2019) روی شاخص‌های انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید گندم پاکستان انجام شد، میزان انرژی ورودی  $48267/05 \text{ MJ ha}^{-1}$  و کل انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گندم  $34430/98 \text{ kg CO}_2\text{-eq ha}^{-1}$  نتایج پژوهش نشان داد کودها و سوخت دیزل با ۶۵ درصد بیشترین سهم در مصرف کل انرژی ورودی در تولید گندم در پاکستان را داشتند. در همین زمینه Elsoragaby *et al.* (2019) بهره‌وری انرژی در هفت دسته محصول کشاورزی (شامل ۴۲ محصول) از طریق داده‌های FAO و ۱۲۰ مطالعه در کشورهای مختلف را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد الکتریسیته، کودها و سوخت دیزل، منابع غالب انرژی مصرف شده بودند که به ترتیب ۴۶ درصد، ۲۰ درصد و ۱۴ درصد در کل انرژی ورودی سهم داشتند. همچنین در گروه لگومینه، یونجه بالاترین مصرف انرژی و بیشترین انرژی ورودی در همه‌ی نهاده را به خود اختصاص می‌داد. همچنین، Mohammadi *et al.* (2014) جریان انرژی و گاز گلخانه‌ای در سیستم‌های کشت با اندازه مختلف مزرعه را بررسی کردند. محصولات مورد مطالعه شامل گندم، جو، کلزا، سویا، برنج و ذرت علوفه‌ای بودند. نتایج آن‌ها نشان داد بیشترین انرژی ورودی متعلق به ذرت علوفه‌ای ( $52/1 \text{ GJ ha}^{-1}$ ) بود. عملکرد و انرژی خروجی محصول با اندازه مزرعه رابطه معنی‌داری نداشت در حالی که کارایی مصرف انرژی با افزایش اندازه مزرعه، افزایش می‌یافت. طبق نتایج بیشترین انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز مربوط به کشت برنج ( $\text{kg CO}_2\text{-eq ha}^{-1}$ )

ورودی‌ها و خروجی‌ها صورت می‌گیرد (Yidizhan, 2018). تجزیه و تحلیل انرژی‌های ورودی-خروجی یکی از روش‌هایی است که عموماً برای ارزیابی کارایی و اثرات محیط‌زیستی سیستم‌های تولید استفاده می‌شود (Canakci *et al.*, 2005). در این راستا، از آنجا که تجزیه و تحلیل انرژی تولیدات کشاورزی از طریق بررسی جریان انرژی نهاده‌ها و خروجی‌های مزرعه برای افزایش بهره‌وری صورت می‌گیرد، بنابراین به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند از طریق کاهش هزینه‌ها، حفظ منابع و کاهش آلاینده‌ها به سودآوری و پایداری کشاورزی کمک کند (Karimi *et al.*, 2008). علاوه بر این می‌توان از تجزیه و تحلیل جریان انرژی برای مقایسه سیستم‌های مختلف تولید نیز استفاده کرد (Taleghani *et al.*, 2020). آگاهی از این‌که چه عواملی، چگونه و به چه میزان بیشترین تاثیر را بر کارایی و بهره‌وری انرژی دارند و بررسی امکان جایگزینی آن‌ها با سایر عوامل، با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و فنی با مدیریت مناسب عملیات زراعی می‌تواند الگوی مصرف انرژی در مسیر تولیدات محصول را بهینه کند (Rajaby *et al.*, 2012). چندین دهه است که دولت ایران متعهد شده است تا با تامین نهاده‌های ارزان از کشاورزان حمایت کند. این در حالی است که متوسط مصرف انرژی ایران سه برابر بیشتر از میانگین جهانی است. مصرف ناکارآمد انرژی ممکن است علاوه بر افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر به افزایش هزینه‌های اقتصادی شود (Budzianowski *et al.*, 2013; Houshyar *et al.*, 2015). بنابراین، افزایش فشارهای اقتصادی به‌ویژه بر روی منابع انرژی تجدیدناپذیر و محیط‌زیستی باعث شده تا کارایی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای برای محصولات کشاورزی در شرایط و سیستم‌های مختلف ارزیابی شود (Goglio *et al.*, 2018; Gozubuyuk *et al.*, 2019). پژوهشگران بسیاری، شاخص‌های انرژی (Beheshti Tabar *et al.*, 2010; Mousavi-Avval *et al.*, 2011; Azizi and Heidari,

۶۰۹۴) بود.

با توجه به اثرات مهمی که اطلاعات ناشی از تحلیل انرژی فراهم می‌کند مطالعه مناطق مهم کشاورزی کشور در این زمینه می‌تواند به توسعه کشاورزی با اثرات محیط زیستی کمتر منجر شود. در این رابطه، در این مطالعه دشت قزوین برای مطالعه انتخاب شد. دشت قزوین یکی از مهم‌ترین دشت‌های کشاورزی ایران است که در کنار استفاده از آب‌های زیرزمینی، بارزترین شبکه کانال‌کشی آبیاری در کشور را دارا است. با این وجود در دو دهه اخیر، برداشت از آب‌های زیرزمینی منجر به افت ۲۸/۲ متری سطح سفره‌های آب زیرزمینی دشت قزوین شده است که از طریق کاهش کمیت و کیفیت آب، باعث کاهش سودآوری، افزایش مصرف انرژی و هزینه‌های برداشت آب و همچنین تخریب تدریجی باروری خاک دشت شده است و این روند متوقف نشده است (Mortazavi et al., 2018). پمپ‌های آبیاری با مصرف میزان بالای انرژی، حجم زیادی از گازهای گلخانه‌ای به هوا را نیز منتشر می‌کنند (Lal, 2004). در ایران پمپاژ آب زیرزمینی حدود ۲/۰۵ الکتروسیسته و ۲ میلیون تن سوخت در سال مصرف می‌کند که منجر به انتشار ۳/۶ درصد کل گازهای گلخانه‌ای ایران می‌شود (Karimi et al., 2012). در چین انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از پمپاژ آب زیرزمینی سه برابر بیشتر از انتشار از پمپاژ آب سطحی برای کشاورزی برآورد شده است (Zou et al., 2013). در هند حدود شش درصد کل انتشار گازهای گلخانه‌ای کشور مربوط پمپاژ آب زیرزمینی برای آبیاری عنوان شده است (Shah, 2009). بنابراین این دو نوع سیستم برای تامین آب آبیاری در دشت قزوین به دلیل تفاوت در مصرف انرژی برای موتور پمپ‌ها می‌توانند باعث تفاوت در میزان کارایی انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای شوند. علاوه بر این ممکن است به دلیل تفاوت در میزان عرضه آب آبیاری، در میزان تولید و به‌صورت غیرمستقیم در مصرف سایر ورودهای مزرعه و نهایتاً اختلاف در بهره‌وری انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای

شوند. در بین محصولات زراعی مختلف در دشت قزوین، ذرت علوفه‌ای و یونجه، دو محصول علوفه‌ای غالب هستند که به دلیل سطح زیر کشت و مصرف بالای آب و به‌تبع آن تغییر در مصرف سایر نهاده‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. لذا این مطالعه با هدف ارزیابی جریان انرژی و گازهای گلخانه‌ای نظام تولید محصولات یونجه و ذرت علوفه‌ای در دو منطقه تحت دو منبع تامین آب از طریق شبکه کانال-کشی و آب زیرزمینی در دشت قزوین انجام شد.

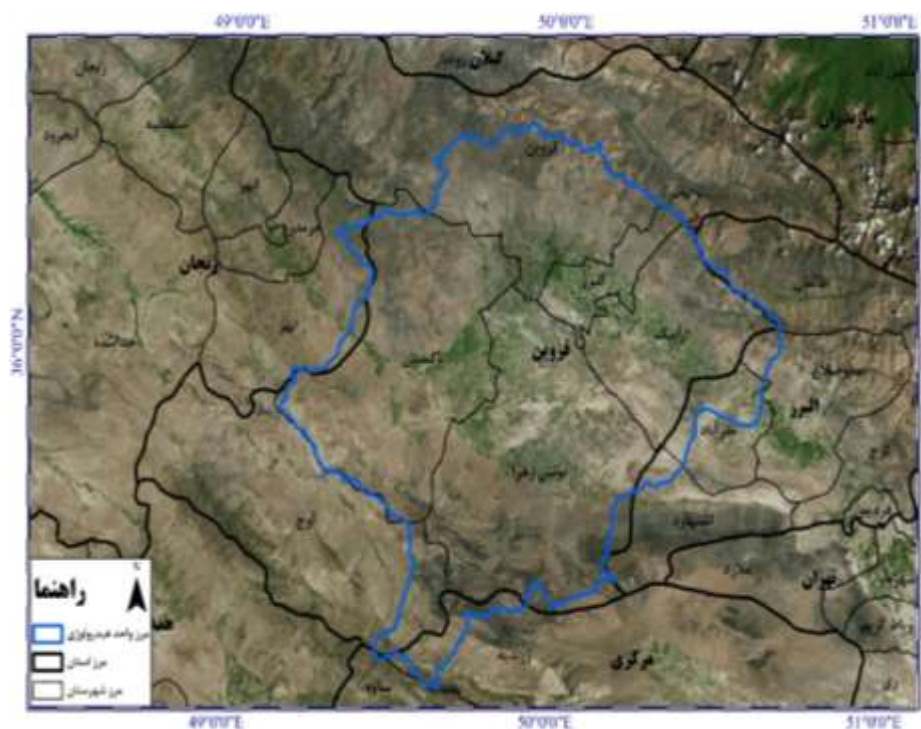
## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه و گردآوری اطلاعات

دشت قزوین از قطب‌های کشاورزی کشور است که از ظرفیت بالایی در تولید برخوردار می‌باشد و حدود ۱۶۰ هزار هکتار سطح زیر کشت محصولات زراعی فاریاب را دارا است. دشت از شمال به رشته کوه البرز، از غرب به کوه‌های چهارگر و از جنوب به کوه‌های رامند محدود است. گندم، جو، یونجه و ذرت علوفه‌ای، محصولات غالب دشت هستند (Mortazavi et al., 2019). دشت قزوین از نظر منبع تامین آب آبیاری شامل دو منطقه متمایز است: منطقه تحت پوشش شبکه کانال آبیاری و منطقه دیگر که فقط از طریق آب زیرزمینی تغذیه می‌شود. شبکه آبیاری دشت قزوین در حدفاصل بین روستای زیاران در شهرستان آبیک و روستای کهک در شهرستان تاکستان در فاصله ۱۵۰ کیلومتری غرب کلان‌شهر تهران واقع شده است. بزرگراه تهران - قزوین - زنجان از شمال و شمال غرب محدوده مذکور عبور می‌کند. موقعیت دشت قزوین و شبکه آبیاری دشت قزوین در شکل (۱) نشان داده شده است. شبکه آبیاری دشت قزوین (در برخی مناطق تنها از طریق کانال و مناطق دیگر تلفیقی از آبیاری کانال با آب زیرزمینی به‌صورت تکمیلی)، اراضی زراعی با مساحت خالص حدود ۶۰ هزار هکتار و مساحت ناخالص ۸۰ هزار هکتار را پوشش می‌دهد. محصولات علوفه‌ای غالب دشت قزوین یونجه و ذرت

گاو‌داری‌های صنعتی در سطح استان سطح زیر کشت این محصول تقریباً ثابت بوده است. روش رایج آبیاری در دشت قزوین، آبیاری غرقابی و متوسط کارایی مصرف آب آبیاری در دشت قزوین حدود ۴۵ درصد است (Alamdario *et al.*, 2019). داده‌های موردنیاز این پژوهش از طریق منابع عملی، مصاحبه و تکمیل پرسشنامه در سال‌های ۹۷ و ۹۸ جمع‌آوری شده‌اند.

علوفه‌ای هستند. سطح زیر کشت دشت قزوین برای یونجه حدود ۲۳ هزار هکتار و ذرت علوفه‌ای حدود ذرت علوفه‌ای ۲۱ هزار هکتار است. سطح زیر کشت محصولاتی همانند ذرت علوفه‌ای و دانه‌ای کاملاً متغیر و پرنوسان می‌باشد و به‌شدت به قیمت بازار مصرف وابسته است به‌طوری‌که در سال‌های اخیر بین ۱۲ تا ۲۱۰۰۰ هکتار نوسان داشته است. در خصوص محصول یونجه عمدتاً به دلیل وجود



شکل ۱- محدوده دشت قزوین  
Fig. 1- Qazvin plain area

### محاسبه شاخص‌های مربوط به انرژی

برای محاسبه شاخص‌های انرژی، انرژی نهاده‌های مصرفی شامل بذر، کود، آفت‌کش‌ها، ماشین‌آلات، آب، نیروی انسانی و سایر نهاده‌ها که طی عملیات زراعی در محصولات مورد مطالعه استفاده می‌شوند به همراه عملکرد محصول مطابق معادل انرژی آن‌ها که در جدول (۱) نشان داده شده است، محاسبه شد. به‌منظور مقایسه پذیری شاخص‌های مورد بررسی، تمامی ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم تولید یونجه چندساله به‌صورت میانگین سالانه بیان شده است. شاخص‌های انرژی طبق فرمول‌های زیر محاسبه گردید (Pimentel, 1980; Herrhz *et al.*, 1995; Hatirli *et al.*, 2006).

کارایی مصرف انرژی:

$$(1) \quad \text{کارایی مصرف انرژی} = \frac{\text{انرژی خروجی (مگاژول در هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)}}$$

بهره‌وری انرژی:

$$(2) \quad \text{بهره‌وری انرژی} = \frac{\text{عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)}}$$

انرژی خالص:

$$(3) \quad \text{انرژی خالص} = \text{انرژی خروجی (مگاژول در هکتار)} - \text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)}$$

انرژی ویژه:

$$(4) \quad \text{انرژی ویژه} = \frac{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)}}{\text{عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)}}$$

جدول ۱- معادل انرژی ورودی و خروجی در نظام‌های تولید محصولات مورد مطالعه  
 Table 1. Energy equivalents of input and output in studied crop production systems

منبع Reference	انرژی معادل Energy equivalents (MJ unit <sup>-1</sup> )	واحد Unit	الف) ورودی Inputs
(De <i>et al.</i> , 2001)	1.96	h	نیروی انسانی Human labour
(Mandal <i>et al.</i> , 2002)	62.7	h	ماشین‌آلات Machinery
(Iran Ministry of Energy, 2007)	38	l	گازوئیل Diesel
(Hatirli <i>et al.</i> , 2006)	66.14	kg	نیتروژن Nitrogen
(Hatirli <i>et al.</i> , 2006)	12.44	kg	فسفر (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) Phosphate
(Hatirli <i>et al.</i> , 2006)	11.15	kg	پتاسیم (K <sub>2</sub> O) Potassium
(Nagy, 1999)	1.12	kg	سولفور Sulphur
(Pimentel, 1980)	8.8	kg	کلسیم Calcium
(Kitani, 1999)	85	l	علف‌کش‌ها Herbicides
(Kitani, 1999)	229	l	حشره‌کش‌ها Insecticides
(Kitani, 1999)	115	l	قارچ‌کش‌ها Fungicides
(Kitani, 1999)	12	KWh	الکتروسیسته Electricity
(Acaroglu, 1998)	1.02	m <sup>3</sup>	آب آبیاری Irrigation water
(Tsatsarelis and Koundouras, 1994)	28.1	kg	بذر یونجه Alfalfa seed
(Canakci <i>et al.</i> , 2005)	15.7	kg	بذر ذرت علوفه‌ای Corn silage seed
ب) خروجی b) Outputs			
(Tsatsarelis and Koundouras, 1994)	15.8	kg	یونجه Alfalfa
(Mohammadi <i>et al.</i> , 2014)	4.14	kg	ذرت علوفه‌ای Corn silage

شیمیایی، سوخت دیزلی، آفت‌کش‌ها و ماشین‌آلات جزو انرژی تجدیدناپذیر به شمار می‌روند (Yilmaz *et al.*, 2005). در مطالعه حاضر، انرژی ورودی برای محصولات مورد مطالعه طبق دسته‌بندی‌های مذکور محاسبه گردید.

#### محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی

روش‌های مختلفی برای ارزیابی اثرات محیط زیستی در رویکرد ارزیابی چرخه حیات (LCA)، با استفاده از شاخص‌های محیط زیستی وجود دارد. پتانسیل گرمایش جهانی یکی

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 الکتروسیسته 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 الکتروسیسته، کودهای

تخمین و مقایسه پتانسیل گرمایش جهانی در سیستم‌های تولید ذرت علوفه‌ای و یونجه در شرایط مکانی و زمانی ذکر شده در بخش قبلی این تحقیق است.

مرحله صورت‌برداری، مربوط به جمع‌آوری اطلاعات ورودی-ها و خروجی‌های نظام‌های مورد مطالعه است. در این مرحله، دو گروه از اطلاعات قابل دسته‌بندی هستند. بخش اول شامل اطلاعات مربوط به انتشارات ناشی از استخراج، حمل‌ونقل، فرآوری و تولید نهاده‌ها مانند تولید کودها، الکتریسیته، آفت‌کش‌ها و سوخت دیزل است. این دسته از اطلاعات در پایگاه داده‌های در نرم‌افزار تخصصی SimaPro موجود هستند که انتشارات غیرمستقیم نیز نامیده می‌شوند. به این منظور، پایگاه داده Ecoinvent 3 موجود در نرم‌افزار به کار برده شد.

دسته دوم از اطلاعات مرحله صورت‌برداری، مربوط به انتشارات مستقیم حاصله از مصرف نهاده‌ها در مزرعه می‌باشند. مصرف کودهای نیتروژنی در مزرعه منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای همچون  $CO_2$ ،  $N_2O$  و  $NO_x$  می‌شود. سوختن گازوییل در ماشین‌آلات نیز آزادسازی گازهای گلخانه‌ای نظیر  $CO_2$  و  $CH_4$  را در پی دارد (IPCC, 1996). کود اوره بسته به شرایط محیطی می‌تواند حجم بالایی از دی‌اکسیدکربن فسیلی را آزاد کند (Nemecek and Schnetzer., 2011). داده‌های مورد نیاز برای این بخش از طریق پرسشنامه و برای برآورد انتشارات مستقیم از طریق منابع مختلف و داده‌های سازمانی جمع‌آوری شد که در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

جدول ۲- منابع داده‌ای برای برآورد انتشار مستقیم گازهای گلخانه‌ای از مزارع ذرت علوفه‌ای و یونجه

Table 2. Data sources for estimating the direct emission of GHG from maize silage and alfalfa farm

پارامترها Parameters	منبع انتشارات Emission sources	مرجع Reference
kg $N_2O-N$	کود نیتروژنی N-fertilizer	(IPCC, 2006) by Eggleston <i>et al.</i> , (2006)
Kg $NO_x-N$	کودهای نیتروژنی N-fertilizer	(EEA, 2013)
Kg $CO_2$	کود اوره Urea fertilizer	(Nemecek and Schantzer, 2011)
انتشار گازهای گلخانه‌ای از هر کیلوگرم دیزل Emissions from diesel (kg)	سوختن دیزل در ماشین‌آلات Diesel combustion in machineries	(IPCC, 1996; Sahle and Potting, 2013)

از مهم‌ترین و پرکاربردترین شاخص‌های ارزیابی اثرات محیط‌زیستی است که می‌تواند به صورت جامعی از طریق روش ارزیابی چرخه حیات برآورد شود.

ارزیابی چرخه حیات روشی است که اثرات محیط زیستی ناشی از تولید یک محصول، فرآیند یا فعالیت را در طول چرخه حیات یا چرخه عمر آن برآورد می‌کند. انجام ارزیابی چرخه حیات می‌تواند بخش‌های مهم از چرخه عمر محصول را شناسایی کند و یا امکان مقایسه اثرات محیط زیستی محصولات مختلف را فراهم آورد (Roy *et al.*, 2009). سازمان استاندارد جهانی در راهنمای ISO14040 و ISO14044، چارچوب ارزیابی چرخه حیات ارائه داده است (ISO, 2006). مطابق این دستورالعمل‌ها، چهار مرحله اصلی در ارزیابی چرخه حیات عبارت‌اند از: تعریف هدف و حوزه، صورت‌برداری، ارزیابی اثر و تفسیر نتایج (ISO, 2006).

هدف از ارزیابی چرخه حیات در این مطالعه، برآورد و مقایسه پتانسیل گرمایش جهانی در سیستم‌های تولید ذرت علوفه‌ای و یونجه است. حوزه و مرز سیستم محدوده‌ی فرضی است که بر اساس هدف تحقیق، جریان نهاده‌ها و خروجی‌ها و انتشارات چرخه حیات محصول در آن از ابتدای چرخه عمر تا تولید محصول در مزرعه جای می‌گیرد. واحد کارکردی که ورودی‌های و خروجی‌ها بر مبنای آن کمی می‌شوند معمولاً شامل جرم محصول یا واحد سطح تولید در سیستم‌های تولید کشاورزی است. واحد کارکردی اصلی در این پژوهش، یک هکتار زمین زراعی و واحد کارکردی فرعی تولید یک تن محصول در نظر گرفته شد. هدف این بخش از پژوهش،

در تولید محصولات یونجه (Asgharipour *et al.*, 2016; Mohammadzadeh *et al.*, 2018) پنبه (Kazemi *et al.*, 2018) جو (Mobtaker *et al.*, 2010) و گندم (Khoshnevisan *et al.*, 2013) معمولاً کمتر از پنج درصد کل انرژی ورودی هست. حجم گازوئیل مصرفی در فرایند تولید محصولات کشاورزی به طور مستقیم تحت تأثیر ساعات کار ماشین‌آلات، نوع ماشین‌آلات مورد استفاده و نیز در صورت دیزلی بودن موتور پمپ‌های آب به میزان آبیاری محصول بستگی دارد. در این پژوهش، بیشترین کمترین مصرف گازوئیل به ترتیب در تولید محصول یونجه و ذرت در سیستم تامین آب از کانال اتفاق می‌افتاد. همان‌طور که پیش‌تر نیز گفته شد، تعداد ساعات کار ماشین‌آلات و به تبع آن گازوئیل مصرفی در تولید یونجه به دلیل نوع عملیات زراعی این محصول بیشتر می‌باشد که این موضوع سبب بیشتر بودن میزان انرژی مصرفی ناشی از مصرف گازوئیل در تولید یونجه می‌شود (به ترتیب ۱۸/۶ و ۹ درصد از کل انرژی ورودی در سیستم‌های تامین آب از چاه و کانال).

نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که در سیستم‌های تولید محصولات مورد مطالعه، میزان الکتریسیته مصرفی در تولید یونجه به طور قابل توجهی بیشتر از ذرت علوفه‌ای است و در سیستم تامین آب از چاه بیشتر از سیستم تامین آب از کانال می‌باشد. طی سال‌های گذشته سیاست تغییر سوخت پمپ‌های آبیاری در مزارع کشاورزی از گازوئیل به منبع برق موجب شده است تا از مصرف سوخت گازوئیل در بخش کشاورزی کاسته شده و نیروی الکتریسیته در ایران روند صعودی داشته باشد (Boshrabadi and Naghavi, 2011). در مطالعات مشابه انجام گرفته، سهم انرژی الکتریسیته مصرفی از کل انرژی ورودی در تولید محصول یونجه بین ۲۴/۳ الی ۷۷/۳ درصد (Ghasemi Mobtaker *et al.*, 2010a; Yousefi and Mohammadi, 2011; Asgharipour *et al.*, 2016) و در محصولی مانند جو (Mobtaker *et al.*, 2010) ۱۱/۰۷ درصد گزارش شده

در مرحله ارزیابی اثر چرخه حیات، انتشار گازهای گلخانه‌ای در مرحله صورت‌برداری با استفاده از ضرایب تبدیل ارائه شده توسط IPCC برای پتانسیل گرمایش جهانی برای یک افق زمانی ۱۰۰ ساله (GWP 100) محاسبه شد (IPCC, 2013). در روش IPCC GWP 100، پتانسیل گرم شدن مستقیم زمین در اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید محصول یا سایر فعالیت‌های انسانی در طول چرخه عمر آن، بر اساس واحد معادل کیلوگرم دی‌اکسید کربن (CO<sub>2</sub>-eq) برآورد می‌گردد که به عنوان رد پای کربن نیز شناخته می‌شود. برای انجام تجزیه و تحلیل این بخش از مطالعه، نرم‌افزار SimaPro 8.2 استفاده شد. در مرحله تفسیر نتایج، اطلاعات به دست آمده با توجه حوزه و هدف تحلیل گردید.

## نتایج و بحث شاخص‌های انرژی

مقادیر ورودی، خروجی و انرژی معادل آن‌ها در بوم نظام‌های زراعی مورد مطالعه در جداول ۳ و ۴ نشان داده شده است. مقایسه محصولات مورد مطالعه از نظر اجزای انرژی ورودی نشان می‌دهد که کشت محصول یونجه در سیستم تامین آب از چاه با ۳۰۱ ساعت در هکتار معادل ۵۹۰ مگاژول در هکتار، بیشترین نیروی انسانی را داشته و کمترین آن در تولید ذرت با سیستم تامین آب از کانال با ۱۰۹ ساعت در هکتار معادل ۲۱۴ مگاژول در هکتار است. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که تعداد ساعات کار ماشین‌آلات در هر دو سیستم تامین آب در فرایند تولید محصول ذرت کمتر از یونجه می‌باشد (جدول ۳). بالا بودن ساعات کار ماشین‌آلات در محصول یونجه به این دلیل است که برداشت محصول در این گیاه به صورت مکانیزه و چندین نوبت در سال می‌باشد در حالی که عملیات برداشت مکانیزه در ذرت یک‌بار در سال انجام می‌شود و این موضوع سبب کاهش سهم ماشین‌آلات از کل انرژی ورودی در تولید محصول می‌شود. مطالعات انجام گرفته در کشور نشان می‌دهد که سهم ماشین‌آلات



مصرف نیتروژن بیشترین سهم را در مصرف انرژی داشتند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که حجم آب آبیاری در تولید محصول یونجه بیشتر از ذرت علوفه‌ای و در سیستم تامین آب از کانال بیش از سیستم تامین آب از چاه در دشت قزوین است (جدول ۳). میزان آب آبیاری مورد استفاده برای هر محصول تحت تاثیر عواملی نظیر نیاز آبی خالص گیاه، خصوصیات خاک، روش‌های آبیاری، منبع تامین آب و فراهمی آب قرار دارد. بنابراین، مدیریت بهینه تامین آب محصول که بتواند حجم آب مصرفی گیاه را کاهش دهد، علاوه بر کاهش انرژی ورودی به واسطه کاهش آب مصرفی می‌تواند با کاهش نیروی الکتریسیته مصرفی برای پمپاژ آب آبیاری از چاه‌ها تا حد زیادی انرژی ورودی در تولید محصول را کاهش دهد. در تحقیقات مشابه صورت گرفته، میزان آب آبیاری و درصد آن از کل انرژی ورودی برای گندم ۵۸۵۰ مترمکعب در هکتار با ۳/۲ درصد (Yousefi et al., 2016)، برای ذرت علوفه‌ای ۶۳۷۲ مترمکعب با ۹/۲ درصد (Pishgar Komleh et al., 2011)، برای جو ۴۶۷۴ مترمکعب با ۱۹ درصد (Ghasemi Mobtaker et al., 2010b) و برای کلزا ۴۹۳۴ مترمکعب با ۱۵/۵ درصد (Mohammadzadeh et al., 2017) گزارش شده است. بذر مصرفی نیز به‌ویژه در تولید یونجه کمترین سهم از انرژی ورودی (کمتر از ۱ درصد انرژی ورودی) را به خود اختصاص می‌داد که در مورد ذرت سهم آن بین ۱ تا ۲ درصد کل انرژی ورودی بود.

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

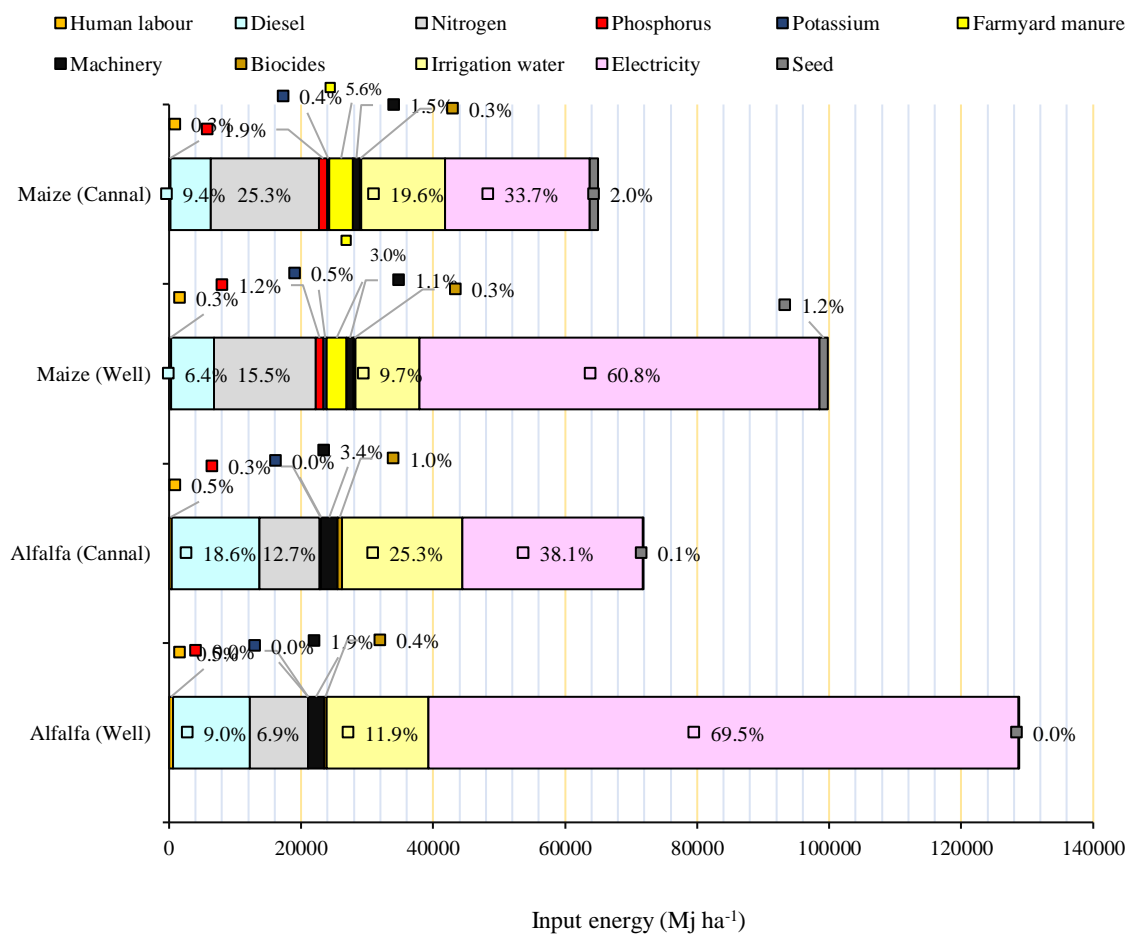
Table 3. Inputs and outputs in studied crop production systems

الف) ورودی Inputs	واحد Unit	یونجه (آبیاری چاه) Alfalfa (Well Irrigation)	ذرت علوفه‌ای (آبیاری چاه) Corn silage (Well Irrigation)	یونجه (آبیاری کانال) Alfalfa (Canal Irrigation)	ذرت علوفه‌ای (آبیاری کانال) Corn silage (Canal Irrigation)
نیروی انسانی Human labour	h	301	170.0	185	109
ماشین‌آلات Machinery	h	38	17.0	39	16
گازوئیل Diesel	l	306	168.9	351.1	161
نیتروژن Nitrogen	kg	133	233.2	138	248
فسفر (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) Phosphate	kg	0	99.4	16.1	98

است. در بین ورودی‌های بوم نظام‌های مورد مطالعه، آفت‌کش‌ها سهم کمتری از کل انرژی ورودی را شامل می‌شدند. گزارش Beheshti Tabar et al. (2010) نیز بیان‌گر این مطلب است که سهم آفت‌کش‌ها از کل انرژی ورودی در تولید محصولات زراعی کمتر از سایر ورودی‌ها است. همان‌طور که نتایج در شکل (۲) نشان می‌دهد در تولید ذرت علوفه‌ای، تولید کود نیتروژن بعد از الکتریسیته بیشترین سهم از کل انرژی ورودی را به خود اختصاص می‌دهد در حالی که سهم درصدی آن از کل انرژی ورودی در تولید یونجه کمتر از الکتریسیته، آب آبیاری و گازوئیل است. سایر محققین سهم نیتروژن از انرژی ورودی را برای ذرت سیلویی ۲۲/۶ درصد (Pishgar Komleh et al., 2011)، سیب‌زمینی ۴۰ درصد (Pishgar-Komleh et al., 2012a)، گوجه‌فرنگی ۴۱/۱۹ درصد (Jadidi et al., 2012)، یونجه ۱۰/۵۸ درصد (Ghasemi Mobtaker et al., 2012)، و جو ۲۲/۳ درصد (Ghasemi Mobtaker et al., 2010b) گزارش کرده‌اند. همچنین، مطالعات انجام‌گرفته نشان می‌دهد که در تولید محصولات زراعی، سهم کودهای نیتروژنی از انرژی ورودی بیش از کودهای فسفر، پتاسیم و گوگرد است (Ghasemi Mobtaker et al., 2010b; Zangeneh et al., 2010; Mousavi-Avval et al., 2011) مطالعه Taleghani et al. (2020) روی مصرف انرژی در سه محصول ذرت علوفه‌ای، جو و کلزا در مزارع مشهد نیز نشان داده است که الکتریسیته مصرفی برای آبیاری، گازوئیل و

ادامه جدول ۳- مقادیر ورودی و خروجی در نظام‌های تولید محصولات مورد مطالعه  
Table 3. Cont. Inputs and outputs in studied crop production systems

الف) ورودی Inputs	واحد Unit	یونجه (آبیاری چاه) Alfalfa (Well Irrigation)	ذرت علوفه‌ای (آبیاری چاه) Corn silage (Well Irrigation)	یونجه (آبیاری کانال) Alfalfa (Canal Irrigation)	ذرت علوفه‌ای (آبیاری کانال) Corn silage (Canal Irrigation)
پتاسیم (K <sub>2</sub> O) Potassium	kg	0	41.0	0	25
کود دامی Farmyard manure	kg	0	10000	0	12125
آفت‌کش‌ها Biocides	l	2	2.2	3.4	1.7
الکتریسیته Electricity	KWh	7450	5052	2283	1824
آب آبیاری Irrigation water	m <sup>3</sup>	15056	9530.2	17819	12486
بذر Seed	kg	2	43.0	1.78	45
ب) خروجی b) Outputs					
عملکرد Yield	kg	12140	56214	15700	56562



شکل ۲- سهم ورودی‌های مختلف در کل انرژی ورودی سیستم تولید محصولات مورد مطالعه  
Fig. 2- The proportion of different inputs of total input energy in studied crop production systems

به همین ترتیب، بیشترین کارایی مصرف انرژی که نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی را نشان می‌دهد در سیستم تامین آب از کانال بیشتر از سیستم تامین آب از چاه می‌باشد. مقایسه سیستم‌های تولید از نظر شاخص بهره‌وری انرژی نیز نشان داد که محصول ذرت علوفه‌ای در مقایسه با یونجه و سیستم تامین آب از کانال در مقایسه با سیستم تامین آب از چاه از بهره‌وری انرژی بالاتری برخوردار می‌باشد. بررسی اشکال انرژی ورودی نشان داد که در سیستم‌های تولید مورد مطالعه، سهم انرژی مستقیم بیش از انرژی غیرمستقیم و سهم انرژی تجدیدناپذیر بیش از انرژی تجدید پذیر است. همچنین در سیستم تامین آب از کانال در مقایسه با تامین آب از چاه، سهم درصدی انرژی تجدیدپذیر از کل انرژی ورودی بیشتر می‌باشد. این نتیجه با یافته‌های محققین دیگر نیز مطابقت دارد (Ghasemi Mobtaker *et al.*, 2010b; Zangeneh *et al.*, 2010; Azizi and Heidari, 2013; Khoshnevisan *et al.*, 2013) محدود بودن انرژی‌های تجدید ناپذیر از یکسو و مشکلات محیط زیستی ناشی از مصرف این شکل از انرژی، ضرورت کاهش استفاده از انرژی‌های تجدید ناپذیر و جایگزینی آن‌ها با منابع انرژی تجدید پذیر را چندین برابر می‌کند. جایگزینی کودهای شیمیایی با کودهای دامی، کود سبز، کودهای زیستی؛ استفاده از سیستم‌های بدون خاک‌ورزی یا کم خاک‌ورزی؛ 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 تجدید ناپذیر از کل انرژی ورودی کمک کند.

جدول ۳، شاخص‌های انرژی را در سیستم‌های تولید محصولات مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تولید یونجه با سیستم تامین آب از چاه با ۱۲۸۶۹۷ مگاژول در هکتار بیشترین انرژی ورودی و تولید ذرت علوفه-ای با سیستم تامین آب از کانال با ۶۴۹۷۵ مگاژول در هکتار کمترین انرژی ورودی را دارد. بالا بودن مصرف نیروی الکتریسیته به‌خصوص در سیستم تامین آب از چاه که در نتیجه مصرف زیاد آب آبیاری در محصول یونجه است موجب شده است تا اختلاف انرژی ورودی آن در مقایسه با ذرت قابل توجه باشد. شاخص انرژی خروجی در سیستم تامین آب از چاه برای ذرت و یونجه به ترتیب ۲۳۲۷۲۶ و ۱۹۱۸۱۲ مگاژول در هکتار و در سیستم تامین آب از کانال به ترتیب ۲۳۴۱۶۷ و ۲۴۸۰۶۰ مگاژول در هکتار می‌باشد. به‌طور کلی، بالا بودن میزان انرژی خروجی در یک محصول را می‌توان به میزان زیست‌توده تولیدشده و انرژی هر واحد از زیست‌توده آن نسبت داد. در تحقیقات مشابه انجام‌شده، میزان انرژی خروجی برای گندم ۱۰۳۷۰۰ مگاژول در هکتار (Mohammadi *et al.*, 2014)، جو ۷۱۵۲۵/۳ مگاژول در هکتار (Ghasemi Mobtaker *et al.*, 2010b)، ذرت سیلویی ۱۴۸۳۸۰ مگاژول در هکتار (Pishgar Komleh *et al.*, 2011)، یونجه ۱۱۵۹۷۱ مگاژول در هکتار (Tsatsarelis and Koundouras, 1994) گزارش شده است.

نتایج به‌دست‌آمده در مورد انرژی خالص سیستم‌های تولید مورد مطالعه نشان داد که در سیستم تامین آب از کانال به دلیل پایین بودن نسبی انرژی ورودی، میزان انرژی خالص هم در مورد ذرت علوفه‌ای و هم در مورد یونجه بیشتر از تولید این محصولات در سیستم تامین آب از چاه می‌باشد.

جدول ۴- مقادیر و انرژی ورودی و خروجی در سیستم‌های زراعی تولید یونجه و ذرت علوفه‌ای

Table 4. Indicators and different forms of energy use in alfalfa and maize silage production systems

شاخص Indicator	واحد Unit	یونجه (آبیاری چاه) Alfalfa (Well Irrigation)	ذرت علوفه‌ای (آبیاری چاه) Maize silage (Well Irrigation)	یونجه (آبیاری کانال) Alfalfa (Canal Irrigation)	ذرت علوفه‌ای (آبیاری کانال) Maize silage (Canal Irrigation)
انرژی ورودی Inputs energy	MJ ha <sup>-1</sup>	128697	99770	71842	64975
انرژی خروجی Output energy	MJ ha <sup>-1</sup>	191812	232726	248060	234167

ادامه جدول ۴- مقادیر و انرژی ورودی و خروجی در سیستم‌های زراعی تولید یونجه و ذرت علوفه‌ای  
Table 4. Cont. Indicators and different forms of energy use in alfalfa and maize silage production systems

شاخص Indicator	واحد Unit	یونجه (آبیاری چاه) Alfalfa (Well Irrigation)	ذرت علوفه‌ای (آبیاری چاه) Maize silage (Well Irrigation)	یونجه (آبیاری کانال) Alfalfa (Canal Irrigation)	ذرت علوفه‌ای (آبیاری کانال) Maize silage (Canal Irrigation)
انرژی خالص Net energy	MJ ha <sup>-1</sup>	63115	132956	176218	169192
کارایی مصرف انرژی Energy use efficiency	-	1.49	2.3	3.45	3.6
انرژی مخصوص Specific energy	MJ kg <sup>-1</sup>	15.80	4.1	15.80	4.1
بهره‌وری انرژی Energy productivity	kg MJ <sup>-1</sup>	0.09	0.6	0.22	0.9
اشکال انرژی Forms of energy					
انرژی مستقیم Direct energy	MJ ha <sup>-1</sup>	116991 (90.9%)	77094 (77.3%)	59270 (82.5%)	40943 (63%)
انرژی غیرمستقیم Indirect energy	MJ ha <sup>-1</sup>	11706 (9.1%)	22677 (22.7%)	12571 (17.5%)	24032 (37%)
انرژی تجدید پذیر Renewable energy	MJ ha <sup>-1</sup>	15990 (12.4%)	11262 (11.3%)	18588 (25.9%)	14226 (21.9%)
انرژی تجدید ناپذیر Non-renewable energy	MJ ha <sup>-1</sup>	112707 (87.6%)	88508 (88.9%)	53254 (74.1%)	50748 (78.1%)

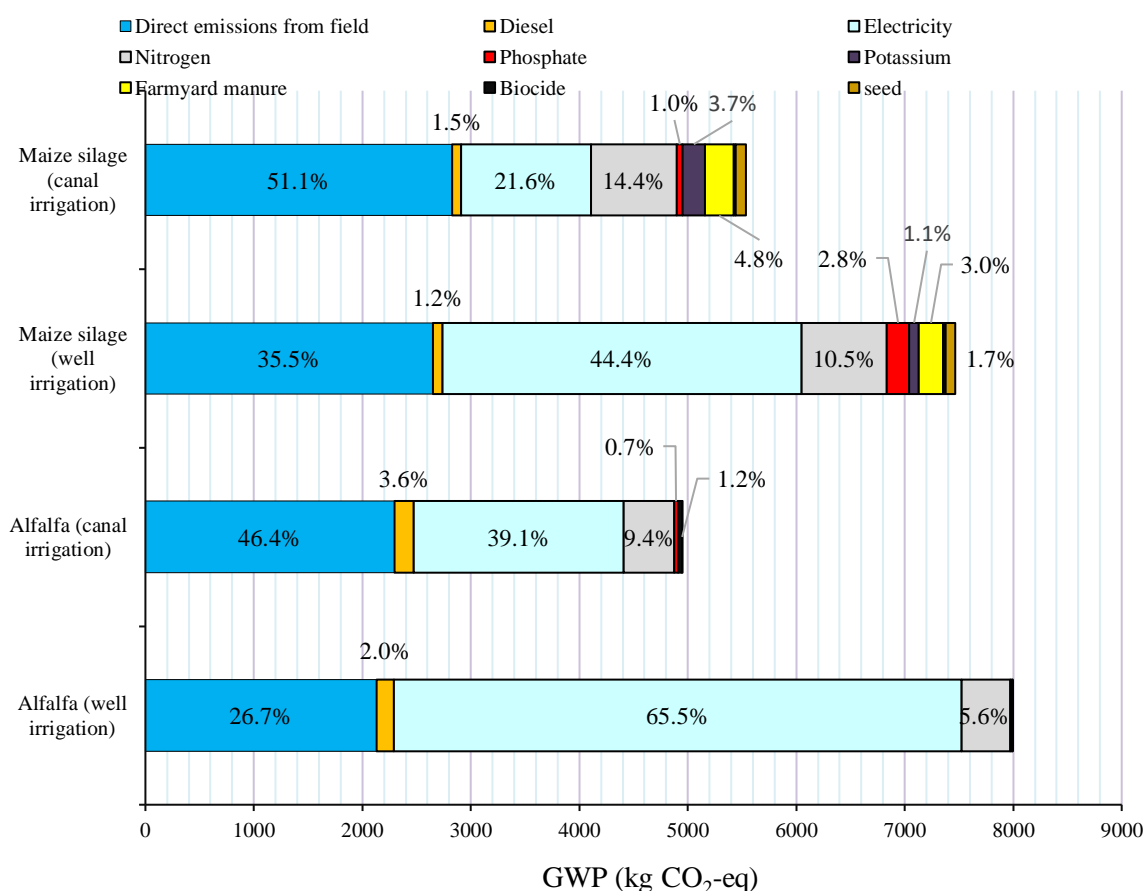
### پتانسیل گرمایش جهانی

در شکل (۲) میزان و سهم هر یک از عوامل در پتانسیل گرمایش جهانی محصولات مورد مطالعه برآورد شده است. مطابق نتایج موجود در شکل (۲) الکتریسیته بیشترین سهم را در پتانسیل گرمایش جهانی در سیستم‌های آبیاری با آب زیرزمینی (در هر

دو محصول ذرت علوفه‌ای و یونجه) دارد. نتایج نشان داد در آبیاری با آب چاه، تولید الکتریسیته مصرفی در مزارع یونجه و ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۶۵ درصد و ۴۴ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای در هکتار را منتشر می‌کند. علت اصلی نقش بیشتر الکتریسیته در کشت یونجه نسبت به ذرت علوفه‌ای، مصرف بالاتر آب

NO<sub>x</sub> می‌شود که در ایجاد اثر گرمایش جهانی ضرایب تاثیر بالایی به ازای معادل دی‌اکسید کربن دارند (Nemecek *et al.*, 2007). طبق نتایج پژوهش حاضر، میزان انتشارات مستقیم از مزرعه در ذرت علوفه‌ای نسبت به یونجه در هر دو نوع منبع آبیاری بیشتر بود. بر اساس نتایج ارزیابی چرخه حیات، انتشارات مستقیم حاصل احتراق گازوئیل در ماشین‌آلات و مصرف کودها، علت اصلی انتشارات مستقیم از مزارع یونجه و ذرت علوفه‌ای می‌باشد. نتایج ارزیابی انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید برنج در شمال ایران نشان داد انتشارات مستقیم از مزرعه به دلیل مصرف کودهای نیتروژنی و گازوئیل در ماشین‌آلات، بخش عمده‌ای از پتانسیل گرمایش جهانی را دارد (Habibi *et al.*, 2019). همان‌طور که گفته شد میزان مکانیزاسیون و به تبع آن، انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از سوختن گازوئیل در یونجه بالاتر از ذرت علوفه‌ای است اما مصرف کود دامی و مصرف مقادیر بیشتر کودهای نیتروژنی شیمیایی در تولید ذرت علوفه‌ای موجب شده است تا میزان انتشارات مستقیم از مزرعه در ذرت علوفه‌ای بیشتر از یونجه باشد. نتایج نشان داد که تولید کود نیتروژنی شیمیایی، سومین رتبه را در ایجاد پتانسیل گرمایش جهانی در محصولات مورد مطالعه در هر دو منطقه در دشت قزوین داشته است. تولید نیتروژن شیمیایی در مزارع ذرت علوفه‌ای آبیاری شده از طریق کانال ۱۴/۴ درصد، ذرت علوفه‌ای آبیاری شده با منبع آبیاری آب زیرزمینی ۱۰/۵ درصد، یونجه تحت شبکه کانال‌کشی ۹/۴ درصد و یونجه آبیاری شده با آب زیرزمینی ۵/۶ درصد در ایجاد پتانسیل اثر گرمایش جهانی سهم نسبی دارد. تولید کودهای دامی، فسفات و پتاس در ذرت علوفه‌ای مجموعاً حدود ۱۰ درصد در انتشار CO<sub>2</sub> سهم بودند. تولید بذر و آفت‌کش‌ها نیز کمترین اثر را نشان دادند.

و در نتیجه استفاده بیشتر از موتور پمپ‌های آبیاری بود. بر این اساس در سیستم‌های کشت تحت آبیاری با آب کانال به دلیل مصرف کمتر آب زیرزمینی، الکتریسیته برای یونجه و ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۳۹ و ۲۲ درصد در انتشار گازهای گلخانه‌ای به دست آمد. در مطالعات دیگر نیز نتایج مشابهی به دست آمده است. در جنوب شرق اسپانیا، مصرف الکتریسیته برای آبیاری به طور متوسط با ۳۸ درصد سهم بیشترین نقش در ایجاد پتانسیل گرمایش جهانی در تولید کاهو، طالبی، کلم بروکلی، کنگر فرنگی، پرتقال، نارنگی، هلو، زردآلو و لیمو دارد (Martin-Gorriz *et al.*, 2020). در مطالعه‌ای دیگر روی ۴۰ محصول تازه کشاورزی واقع در دره مرکزی کالیفرنیا، الکتریسیته بیشترین تاثیر (متوسط ۷۰ درصد) را در پتانسیل گرمایش جهانی داشت (Christensen *et al.*, 2018). انتشارات مستقیم از مزرعه، دومین عاملی است که بیشترین نقش را در ایجاد پتانسیل گرمایش جهانی در کشت با آب زیرزمینی دارد که در یونجه ۲۷ درصد و برای ذرت علوفه‌ای ۳۶ درصد از انتشار کل را موجب شده است (شکل ۲). در صورتی که انتشارات مستقیم در مزارع آبیاری شده با آب کانال هم در یونجه (۴۶ درصد) و هم ذرت علوفه‌ای (۵۱ درصد)، بیشترین تاثیر را در انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان دادند. در مطالعه Ullah *et al.* (2016) الکتریسیته تولیدی برای آبیاری ۴۳ درصد، انتشارات مستقیم از مزرعه ۴۱ درصد و تولید کودها ۱۴ درصد در پتانسیل گرمایش جهانی تولید کتان در پنجاب پاکستان نقش داشتند. مصرف نهاده‌هایی چون کودهای نیتروژنی در مزرعه و گازوئیل در ماشین‌آلات کشاورزی باعث انتشار مستقیم گازهای گلخانه‌ای در مزرعه به هوا می‌شود. مصرف کود اوره باعث آزادسازی مقادیر قابل توجهی CO<sub>2</sub> فسیلی به هوا می‌شود. استفاده از کودهای نیتروژنی در مزرعه باعث انتشار گازهایی نظیر N<sub>2</sub>O و



شکل ۳- سهم هر کدام از ورودی‌ها در ایجاد پتانسیل گرمایش جهانی در سیستم‌های تولید ذرت علوفه‌ای و یونجه در دشت قزوین  
 Fig. 3- Contribution of inputs to IPCC GWP 100a for maize silage and alfalfa production systems

نتایج پژوهش نشان می‌دهد تولید یونجه تحت شرایط آبیاری با منبع آب زیرزمینی با انتشار  $3314/14 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$  در هکتار در منطقه تحت آبیاری با آب زیرزمینی بود (جدول ۳). در منطقه تحت پوشش شبکه آبیاری دشت قزوین، میزان پتانسیل گرمایش جهانی در تولید یونجه و ذرت علوفه‌ای به ترتیب  $4947/67 \text{ kg CO}_2\text{-eq ha}^{-1}$  و  $5533/34$  برآورد شد. مشاهده می‌شود که در منطقه تحت پوشش شبکه آبیاری برخلاف منطقه آبیاری شده با آب زیرزمینی، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای تولید ذرت علوفه‌ای بیشتر از یونجه در هر هکتار است. علت این اختلاف به دو دلیل عمده است: غالب حجم آب عرضه‌شده در منطقه کانال‌کشی توسط منبع آب کانال تامین می‌شود و بخش کمتری از آن به صورت تکمیلی از طریق چاه‌های آب قابل برداشت است. در نتیجه سهم الکتریسیته در شبکه

نتایج پژوهش نشان می‌دهد تولید یونجه تحت شرایط آبیاری با منبع آب زیرزمینی با انتشار  $7995/76$  در هکتار، بیشترین میزان گرمایش جهانی را در بین سایرین ایجاد می‌کند و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید ذرت علوفه‌ای آبیاری شده با آب زیرزمینی،  $7466/9 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$  به ازای واحد کارکردی یک هکتار منتشر می‌کند. جدول (۳) که سهم هر کدام از عوامل تعیین‌شده در مرحله صورت‌برداری در ایجاد گرمایش جهانی را نشان می‌دهد. در تولید یونجه با منبع آب زیرزمینی میزان تولید معادل دی‌اکسیدکربن در همه‌ی عوامل به جز الکتریسیته و گازوئیل کمتر از ذرت علوفه‌ای در این سیستم است، اما اثر پتانسیل گرمایش جهانی در یونجه بیشتر از ذرت علوفه‌ای به دست آمد. تولید الکتریسیته مصرفی در یونجه با تولید  $\text{kg CO}_2\text{-eq}$

مختلف تولید فراهم می‌کند. برآورد میزان پتانسیل گرمایش بر اساس واحد یک تن محصول تولیدی نشان می‌دهد به ازای تولید هر تن یونجه در سیستم‌های آبیاری شده با آب کانال و آب زیرزمینی به ترتیب  $315/13 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$  و  $658/62 \text{ CO}_2\text{-eq}$  منتشر می‌شود. بنابراین تولید هر تن یونجه در منطقه با منبع آب زیرزمینی، بیش از دو برابر انتشار گازهای گلخانه‌ای بیشتری دارد. این نتیجه در مورد ذرت علوفه‌ای نیز صدق می‌کند؛ پتانسیل گرمایش جهانی برای تولید هر تن ذرت علوفه‌ای در منطقه تحت پوشش آبیاری با شبکه کانال کشی و منطقه با منبع آبیاری آب زیرزمینی به ترتیب  $97/82 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$  و  $132/83 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$  به ازای هر تن بود. بنابراین محصولات تحت آبیاری کانال، انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتری نسبت به محصولات آبیاری شده با آب زیرزمینی در دشت قزوین داشتند. فراهمی آب کانال در کنار آبیاری تکمیلی با آب زیرزمینی در منطقه تحت پوشش شبکه آبیاری باعث افزایش عملکرد محصول و کاهش مصرف الکتریسیته شده است.

تحت پوشش کانال کمتر می‌شود. از سوی دیگر، به‌طور کلی به‌جز الکتریسیته و سوخت گازوئیل، مصرف سایر نهاده‌ها در محصول ذرت علوفه‌ای بیشتر از یونجه بوده که منجر به میزان انتشار میزان بیشتری از گازهای گلخانه‌ای به‌صورت انتشارات مستقیم از مزرعه شده است. در پژوهش مشابهی، Zhang *et al.* (2018) انتشار گاز گلخانه‌ای برای ذرت آبی حدود  $5330 \text{ kg CO}_2\text{-eq ha}^{-1}$  برآورد کردند که ۴۰ درصد بیشتر از تولید ذرت بدون آبیاری بود و علت این اختلاف را مصرف بیشتر الکتریسیته و کودهای نیتروژنی بیان کردند. طبق نتایج نشان داده‌شده در جدول (۳)، میزان انتشارات مستقیم از مزرعه در محصول ذرت علوفه‌ای نسبت به یونجه در هر دو سیستم بیشتر است زیرا کودهای نیتروژنی بیشتری در تولید ذرت علوفه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. در مطالعات ارزیابی چرخه حیات تولیدات کشاورزی برای مقایسه عملکرد دو محصول یکسان، کاربرد واحد کارکردی جرم محصول تولیدشده بیشتر از واحد کارکردی هکتار دارد زیرا امکان مقایسه کارایی محیط‌زیستی را در سیستم‌های

جدول ۵- سهم هر کدام از ورودی‌های در ایجاد پتانسیل گرمایش جهانی در سیستم‌های تولید ذرت علوفه‌ای و یونجه در هکتار

Table 5. GWP inputs for maize silage and alfalfa production systems per ha

	یونجه (آبیاری چاه) Alfalfa (Well Irrigation)	ذرت علوفه‌ای (آبیاری چاه) Maize silage (Well Irrigation)	یونجه (آبیاری کانال) Alfalfa (Canal Irrigation)	ذرت علوفه‌ای (آبیاری کانال) Maize silage (Canal Irrigation)
انتشارات مستقیم از مزرعه Direct emissions from field	2132.88	2651.52	2296.43	2827.16
گازوئیل Diesel	156.03	86.00	178.79	81.73
الکتریسیته Electricity	5234.99	3314.11	1936.40	1197.14
نیتروژن Nitrogen	447.53	782.41	462.97	794.76
فسفات Phosphate	0	209.1835	33.89548	52.63
پتاسیم Potassium	0	85.70067	0	203.84
کود دامی Farmyard manure	0	225.95	0	264.52
آفت‌کش Biocide	21.92	22.80	36.34	18.18
بذر Seed	2.40	89.22	2.85	93.37
پتانسیل گرمایش جهانی GWP 100a (kg CO <sub>2</sub> )	7995.76	7466.90	4947.68	5533.34

روی کشت ذرت تحت سیستم بارانی با منبع شبکه آبیاری در شمال شرقی اسپانیا نشان داد که تولید ۱۴ تن ذرت دانه‌ای حدود ۷۵۰۰ مترمکعب آب آبیاری،  $1 \text{ kWh ha}^{-1}$  و  $247/7$  الکتریسیته برای آبیاری،  $1167 \text{ kg ha}^{-1}$  کود نیتروژنی مایع و  $625 \text{ kg ha}^{-1}$  کود شیمیایی تلفیقی مصرف می‌کند و منجر به انتشار  $1700 \text{ kg CO}_2\text{-eq ha}^{-1}$  می‌شود (Abrahamo *et al.*, 2017). نویسندگان مذکور نتیجه گرفتند کودهای مایع و کودهای شیمیایی (۸۷ درصد) بیشترین تاثیر را در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند.

طبق نتایج پژوهش حاضر، الکتریسیته و انتشار مستقیم از مزرعه بیشترین تاثیر را در شاخص‌های مورد مطالعه داشتند (شکل ۲). بنابراین کاهش میزان آن‌ها بیشترین تاثیر را در کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. انتشارات مستقیم از مزرعه به دلیل مصرف کودهای نیتروژنی و سوخت مورد استفاده ماشین‌آلات در مزارع یونجه و ذرت علوفه‌ای در دشت قزوین است. استفاده بهینه و کارآمد از کودهای نیتروژنی می‌تواند تاثیر بالایی در کاهش انتشارات مستقیم از مزرعه داشته باشد. کاهش تعداد دفعات تردد ماشین‌آلات همچون شرایط خاک‌ورزی حفاظتی می‌تواند مصرف سوخت را کاهش و ترسیب دی‌اکسید کربن را افزایش دهد.

در منطقه تحت پوشش شبکه آبیاری در دشت قزوین به دو صورت آب سهمیه‌بندی می‌شود. برخی مناطق تنها مجاز به استحصال آب آبیاری از کانال هستند و مناطق دیگر تحت پوشش شبکه با تلفیقی از آب کانال و آبیاری تکمیلی با آب زیرزمینی تغذیه می‌شوند. بر اساس داده‌های عملکرد، بارش و میزان تخصیص آب در چند سال اخیر مشخص شد که متغیر بودن میزان بارندگی منجر به عدم هماهنگی و تغییرپذیری سطح زیر کشت یا عملکرد محصولات تحت پوشش شبکه آبیاری در دشت قزوین می‌شود که فشار روی برداشت منابع آب زیرزمینی را افزایش می‌دهد. متعاقباً الکتریسیته بیشتری نیز برای

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای برنج، گندم و ذرت در چین را به ترتیب ۹/۹، ۳/۹ و ۳/۷ تن دی‌اکسید کربن در هکتار به دست آوردند. در پژوهشی که روی انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشت ذرت در دشت‌های مرکزی مکزیک انجام شد، میزان پتانسیل گرمایش جهانی حدود  $7800 \text{ kg CO}_2\text{-eq ha}^{-1}$  تخمین زده شد (Dendooven *et al.*, 2012). به‌طور مشابهی نتایج پژوهش (2018) Ghederpoor *et al.* روی یونجه در آذربایجان شرقی نشان داد الکتریسیته و انتشارات مستقیم از مزرعه، بیشترین سهم را در ایجاد پتانسیل گرمایش جهانی در تولید یونجه دارند. نتایج آن‌ها نشان داد پتانسیل گرمایش جهانی در تولید یونجه به‌طور متوسط  $988 \text{ kg CO}_2\text{-eq t}^{-1}$  و  $14542 \text{ CO}_2\text{-eq ha}^{-1}$  بود. علت اختلاف بالا با پژوهش حاضر، مصرف بالای آب به میزان  $23603$  مترمکعب در تولید یونجه در آذربایجان شرقی است که میزان الکتریسیته ( $13296/4 \text{ kWh ha}^{-1}$ ) را بسیار افزایش داده است (جدول ۳). (Mohammadi *et al.*, 2014). میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید محصولات گندم، جو، کلزا، سویا، ذرت سیلویی و برنج در شمال کشور را به ترتیب  $1117/1$ ،  $1105/7$ ،  $1063/5$ ،  $1791/4$ ،  $2882/2$  و  $6094/1$  کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن بر هکتار تخمین زدند. در مطالعه مذکور، بارش بالا و نیاز کمتر به آبیاری در شمال کشور به مصرف کمتر الکتریسیته در پمپ‌های آبیاری منتج شده است. در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید ذرت علوفه‌ای در مطالعه Mohammadi *et al.* (2014)، به مراتب کمتر از مطالعه Feyzbakhsh and Alizadeh (2018) حاضر می‌باشد. میزان پتانسیل گرمایش جهانی برای کشت ذرت علوفه‌ای بهاره و سورگوم در گرگان را به ترتیب  $1845/9$  و  $1729$  معادل کیلوگرم دی‌اکسید کربن به دست آوردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تولید کودها و احتراق سوخت مصرفی در ماشین‌آلات و پمپ‌ها، بیشترین تاثیر را در مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای داشتند. نتایج مطالعه مشابهی



Brati *et al.* (2018) متوسط کارایی کل ایستگاه‌های پمپاژ سیستم‌های آبیاری تحت فشار در دشت قزوین را ۲۸/۲۵ درصد تخمین زدند و عنوان کردند که کارایی کل پمپ‌های مورد مطالعه تا ۵۳ درصد قابل ارتقا است. Hosseini *et al.* (2019) تاثیر بهبود مدیریت بهره‌برداری شبکه آبیاری دشت قزوین بر کاهش برداشت آب از آبخوان، کاهش استفاده از انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را مورد مطالعه قرار دادند. نویسندگان به این منظور، دو سیستم کنترل غیرمتمرکز تناسبی-انتگرالی و کنترل خودکار متمرکز پیش‌بین را تحت دو سناریو بهره‌برداری نرمال و شدید (کم‌آبی) کانال اصلی شبکه آبیاری دشت قزوین مورد آزمایش قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد در هر دو سناریوی بهره‌برداری نرمال و کم‌آبی، سیستم متمرکز عملکرد بالاتری داشت و پس از ارتقاء به سیستم متمرکز در هر دو سناریو مذکور به ترتیب میزان مصرف انرژی برابر ۲۲/۷ و ۷۱/۶ درصد و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ۲۴/۱ و ۷۰/۱ درصد کاهش یافت. امروزه توسعه فناوری‌های استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر روند رو به رشدی را آغاز کرده است. Fallahi and Montazeri (2010) با استفاده از سری داده‌های ۳۵ ساله نشان دادند مصرف انرژی تاثیر منفی روی رشد اقتصادی ایران داشته است که برخلاف انتظار نظری است. به نظر می‌رسد کاهش قیمت نفت، محدودیت و کسری بودجه عمومی کشور، آزادسازی قیمت سوخت‌های فسیلی را اجتناب‌ناپذیر می‌کند که قطعاً هزینه بیشتری را به کشاورزان تحمیل می‌کند. همچنین اعتقاد بر این است که انواع مختلف یارانه سوخت‌های فسیلی کارایی قابل قبولی ندارند، برای محیط زیست مضر و مانعی برای گذار به سمت فناوری‌های پاک هستند (Ozturk *et al.*, 2010). در نتیجه بسیاری از کشورها از جمله ایران، چشم‌اندازی برای حذف تدریجی یارانه سوخت‌های فسیلی در دهه‌های آینده در نظر گرفته‌اند (Farajian *et al.*, 2010) فناوری‌های استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر

پمپاژ آب زیرزمینی استفاده مصرف می‌شود. پایین بودن کارایی انتقال، توزیع و مصرف آب در مزارع دشت قزوین از جمله مشکلات مهمی است که تاثیر سویی روی مصرف آب، عملکرد محصول، افزایش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را در پی داشته است (Hosseini *et al.*, 2019). استخراج، انتقال و مصرف آب آبیاری معمولا می‌تواند ۵۰ درصد کل مصرف انرژی را در سیستم‌های زراعی فاریاب به خود اختصاص دهد (Jackson *et al.*, 2010; Rothausen and Conway, 2011).

نتایج مشاهدات میدانی، مصاحبه شفاهی با کارشناسان ذی‌ربط و گزارش‌های سازمانی منتشر نشده نشان می‌دهد به طور کلی بهره‌وری شبکه آبیاری دشت قزوین نیاز به ارتقاء دارد که به نظر می‌رسد دلایل اصلی آن ریشه در مدیریت بهره‌برداری، تخصیص و توزیع آب و همچنین نگهداری کانال‌ها دارد. پژوهش Zareabyaneh *et al.* (2020) نیز مؤید این نتیجه است. نتایج آن‌ها نشان داد با وجود اینکه شاخص‌ها نشان از اقتصادی بودن احداث شبکه آبیاری دشت قزوین دارند اما بیشتر سطح تحت پوشش کانال‌های آبیاری با کمبود آب مواجه است در حالی که در مناطقی چون تاکستان میزان آب تخصیصی بیش از نیاز گیاهان است. همچنین مدیریت و سیاست‌گذاری شبکه در نگهداری کانال‌ها و بازگشت سرمایه برای تامین هزینه‌های نگهداری عملکرد ضعیفی داشته است.

ناکارآمدی و سنتی بودن سیستم‌های آبیاری و همچنین قیمت پایین الکتریسیته از عوامل اصلی در مصرف بالای آب و به دنبال آن مصرف الکتریسیته در ایران ذکر شده‌اند (Ghederpoor *et al.*, 2018). فرسودگی پمپ‌های آبیاری مثالی از عوامل فوق است که با کاهش بازدهی و نیاز به افزایش ساعات استفاده از موتور پمپ، مصرف الکتریسیته را افزایش می‌دهد (Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2014; Esfahani *et al.*, 2018). نتایج مطالعات مختلف نیز در دشت قزوین صحت موارد ذکر شده را تایید می‌کند.

نشان داد میزان بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری در سیستم آبیاری بارانی به ترتیب از ۳۸ تا ۷۵ درصد و از ۴۱ تا ۷۶ درصد بیشتر از آبیاری سطحی است. کم آبیاری نیز یکی از روش‌های مدیریت زراعی است که می‌تواند با کاهش مصرف آب و الکتریسیته موردنیاز برای آبیاری، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد. پژوهش (Parhizkari et al., 2015) مؤید توجیه و تاثیر مثبت کم آبیاری در دشت قزوین است.

در راستای کاهش انتشارات مستقیم از مزرعه، خاک‌ورزی حفاظتی و تناوب کشت لگوم‌ها در سیستم‌های فاریاب می‌تواند باعث افزایش ماده آلی خاک و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شود (Robertson et al., 2000; Saenger et al., 2011). این شیوه معمولاً در مناطق نیمه‌خشک با بارندگی کم و زمستان سرد برای تولید محصول موفق‌تر عمل می‌کند (USDA-NRCS, 2006). گذار از خاک‌ورزی رایج یا استفاده از سایر راهکارهای افزایش ماده آلی خاک می‌تواند پایداری اگرواکوسیستم توأم با عملکرد و سود را افزایش دهد (Roberson et al., 2000; Delate and Cambardella, 2004; Halvorson et al., 2016). سیستم بدون خاک‌ورزی یکی از راهکارهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم‌های تولید زراعی است که می‌تواند امنیت غذایی و سلامت اکوسیستم را بهبود دهد (Lal et al., 2015; Abdalla et al., 2016). اثربخشی بلندمدت سیستم بدون خاک‌ورزی تا حد زیادی به تبدلات بین تاثیر آن روی عملکرد محصول و انتشارات گازهای گلخانه‌ای دارد. چنین تبدلاتی تحت تاثیر نوسانات اقلیمی، شرایط ناهمگون خاک و نوع محصول قرار می‌گیرد. (Huang et al., 2018) فرا تحلیلی با موضوع ارزیابی اثرات خاک‌ورزی بدون شخم روی عملکرد محصول، انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی سیستم‌های کشت غلات غالب انجام دادند. نتایج فرا تحلیل آشکار کرد خاک‌ورزی بدون شخم موجب کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش عملکرد

در بخش کشاورزی یکی از بهترین گزینه‌ها برای کاهش این فشار است که علاوه بر مزایای اقتصادی بلندمدت، مزایای محیط‌زیستی نظیر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را نیز دارد (Farajian et al., 2010).

با توجه به موقعیت جغرافیایی مناسب ایران از نظر دریافت تشعشعات خورشیدی، استفاده از پمپ‌های آبیاری فتوولتائیک یکی از راهکارهایی است که می‌تواند با کمترین اثرات محیط‌زیستی، انرژی رایگان، پاک و پایدار را برای آبیاری بخش کشاورزی فراهم کند. استفاده از فناوری فتوولتائیک با مشکلات عمده‌ای مواجه است. از مشکلات اصلی پمپ‌های فتوولتائیک نسبت به پمپ‌های الکتریکی و دیزلی، هزینه‌های اولیه نسبتاً بالای آن است. دوام پمپ‌های فتوولتائیک بسیار بالا و هزینه عملیاتی آن‌ها بسیار پایین است و بر این اساس در بلندمدت توجیه اقتصادی و نسبت به پمپ‌های رایج برتری دارند (Fedrizzi, 2009; Chandel et al., 2017). نتایج پژوهش (Omidi et al., 2018) روی پتانسیل سنجی مولد فتوولتائیک مستقل برای تامین انرژی سیستم آبیاری در کرج نشان می‌دهد که برای پمپاژ روزانه ۷۰ مترمکعب آب آبیاری در روز با ارتفاع ۳۰ متر، به یک پمپ با توان ۲۲۰۰ و پنل خورشیدی با ظرفیت ۳۲۲۲ وات در سطحی با مساحت ۲۲ مترمربع نیاز است. واضح است ورود و راه‌اندازی چنین سیستم‌هایی نیاز به مشاوره تخصصی و تسهیلات ویژه دارد که حمایت ویژه بخش‌های دولتی را می‌طلبد. به نظر می‌رسد حمایت دولت و ترویج این فناوری برای ارائه به کشاورزان پیشرو و کشت و صنعت‌ها می‌تواند نمونه‌های بارز و موفق‌تری برای آینده‌ی این فناوری در کشور ایجاد کند.

استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت فشار از راهکارهای بسیار موثر برای افزایش کارایی و کاهش مصرف آب آبیاری است که توسط کشاورز قابل خریداری و راه‌اندازی است. نتایج مطالعه (Gholami et al., 2018) روی چهار محصول گندم، جو، یونجه و ذرت علوفه‌ای در دشت قزوین

در حالی که در برخی مطالعات دیگر اظهار شده است که کودهای آلی توأم با تناوب زراعی می‌توانند باعث افزایش عملکرد محصولاتی مانند ذرت، افزایش ترسیب کربن و کاهش گازهای گلخانه‌ای شوند (Delate and Cambardella, 2004; Thelen *et al.*, 2010). نتایج مشابه در مطالعات دیگر نشان داده است که بازگرداندن بقایا به خاک توأم با خاک‌ورزی بدون شخم، ساختمان خاک را بهبود و همچنین هدر رفت عناصر غذایی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد (Abdalla *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2018). گیاهی، نتایج Zhang *et al.* (2018) روی برنج، گندم و ذرت در چین نشان داد که برگشت بقایای گیاهی به خاک می‌تواند مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای را از طریق ترسیب کربن از ۲۰۲ تا ۴۷۸ کیلوگرم دی‌اکسید کربن کاهش دهد.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه جریان انرژی از طریق شاخص‌های مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات برای دو محصول یونجه و ذرت علوفه‌ای تحت آبیاری با دو منبع آب زیرزمینی و شبکه کانال‌کشی سطحی در دشت قزوین مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد به‌طور کلی مصرف انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی در تولید یونجه بالاتر از ذرت علوفه‌ای است. نتایج پژوهش حاضر حاکی از آن است که تولید یونجه و ذرت علوفه‌ای در منطقه تحت آبیاری با آب زیرزمینی در مقایسه با منطقه تحت پوشش شبکه آبیاری منجر به افزایش مصرف انرژی، کاهش کارایی مصرف انرژی و انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای می‌شود. دلیل اصلی این اختلاف مربوط به تفاوت در مصرف الکتریسیته بود که ناشی از افزایش ساعات کار موتور پمپ‌های آبیاری در تولید محصول با تنها منبع آب زیرزمینی است.

در اقلیم‌های خشک (اما نه مرطوب) می‌شود و پتانسیل گرمایش جهانی در مناطق دارای خاک‌های اسیدی را کاهش می‌دهد. همچنین نتایج این فرا تحلیل نشان داد عملیات بدون خاک‌ورزی، عملکرد جو را ۴۹ درصد افزایش و میزان پتانسیل گرمایش جهانی تولید برنج را ۲۲ درصد کاهش داده است. نتایج مطالعه مدل‌سازی بزرگ‌مقیاسی تاثیر روش‌های مدیریت زمین در کشاورزی هوشمند به اقلیم (CSA) را در کمربند ذرت ایالات‌متحده روی محصول ذرت نشان داد در میان روش‌های مربوط به مدیریت زمین برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، گذار از خاک‌ورزی رایج به عملیات بدون خاک‌ورزی بیشترین تاثیر با متوسط  $1477 \text{ kg CO}_2\text{-eq ha}^{-1}$  (سهام SOC،  $\text{N}_2\text{O}$  و  $\text{CH}_4$  از کاهش انتشارات به ترتیب ۹۴۵، ۵۴۹ و ۱۷- کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار بود) را روی کاهش انتشارات داشته است (McNunn *et al.*, 2020). همچنین طبق نتایج پیش‌بینی مدل پژوهش مذکور تخمین زده شد بهبود زمان‌بندی مصرف کود نیتروژن باعث کاهش متوسط  $413 \text{ kg CO}_2\text{-eq ha}^{-1}$  (سهام SOC،  $\text{N}_2\text{O}$  و  $\text{CH}_4$  از کاهش انتشارات به ترتیب ۳۳۷، ۷۵ و ۱ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار بود) می‌شد. محصولات پوششی نیز باعث کاهش  $678 \text{ kg CO}_2\text{-eq ha}^{-1}$  (سهام SOC،  $\text{N}_2\text{O}$  و  $\text{CH}_4$  از کاهش انتشارات به ترتیب ۸۲۴، ۱۱۷۳- و ۲۶ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار بود) شوند. این سه روش در مجموع، پتانسیل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان  $2861 \text{ kg CO}_2\text{-eq ha}^{-1}$  را در مطالعه مذکور داشتند.

کودهای آلی از جمله پیشنهادهایی هستند که در برخی مطالعات به آن‌ها اشاره شده است اما اثر آن‌ها روی انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌خوبی مستند نشده است (Ghimire *et al.*, 2017). برخی مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از کودهای آلی به‌ویژه کودهای دامی، انتشار گازهای گلخانه‌ای را افزایش می‌دهد (Rochette and Gregorich,

دشت قزوین کاهش دهد. از جمله این گزینه‌ها می‌توان به استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت فشار، بهینه‌سازی میزان تخصیص و زمان‌بندی مصرف کودها و خاک‌ورزی حفاظتی اشاره کرد.

### سیاسگذاری

این مطالعه مستخرج از رساله دکتری است و با حمایت مادی و معنوی اساتید راهنما و مشاور مربوطه نگاشته شده است.

Abdalla, K., Chivenge, P., Ciaes, P. and Chaplot, V., 2016. No-tillage lessens soil CO<sub>2</sub> emissions the most under arid and sandy soil conditions: results from a meta-analysis. *Biogeosciences*. 13, 3619-3633.-185.

Abdalla, M., Osborne, B., Lanigan, G., Forristal, D., Williams, M., Smith, P. and Jones, M. B., 2013. Conservation tillage systems: a review of its consequences for greenhouse gas emissions. *Soil Use and Management*. 29(2), 199-209.

Abrahão, R., Carvalho, M. and Causapé, J., 2017. Carbon and water footprints of irrigated corn and non-irrigated wheat in Northeast Spain. *Environmental Science and Pollution Research*. 24(6), 5647-5653.

Acaroğlu, M., 1998. Energy from biomass and applications. University of Selcuk Graduate of Natural and Applied Sciences, Textbook, Konya.

Agreement, P., 2015. Paris agreement. In Report of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change, Retrived December. p. 2017.

Alam, M.K., Bell, R.W. and Biswas, W.K., 2019. Increases in soil sequestered carbon under conservation agriculture cropping decrease the estimated greenhouse gas emissions of wetland

الکتریسیته و تولید و مصرف کودهای نیتروژنی بیشترین تاثیر را در دو شاخص مورد مطالعه داشتند. یونجه در مقایسه با ذرت علوفه‌ای به علت استفاده بیشتر از ماشین‌آلات و همچنین مصرف بالاتر آبیاری، اثرات منفی بیشتری روی مصرف منابع و انتشار آلاینده‌های مورد مطالعه داشت. روش‌های مدیریتی برای مصرف بهینه منابع و همچنین استفاده از ابزارها و روش‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌تواند مصرف انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی را در تولید یونجه و ذرت علوفه‌ای در

### منابع

rice using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*. 224, 72-87.

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

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

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

Boshraadi, H. and Naghavi, S., 2011. Estimating energy demand in agricultural sector of Iran. *Journal of Agricultural Economics Researches*. 3, 147-162.

Brati, H., Khaledian, M., Biglouei, M. and Rizi, A. P., 2018. Assessment of Energy Efficiency in

- Pump Stations of Pressurized Irrigation Systems (Case Study: Qazvin and Kermanshah Provinces). *International Journal of Agricultural Management and Development (IJAMAD)*. 8, 389-396.
- Budzianowski, W.M., 2013. Modelling of CO<sub>2</sub> content in the atmosphere until 2300: influence of energy intensity of gross domestic product and carbon intensity of energy. *International Journal of Global Warming*. 5(1), 1-17.
- Camargo, G.G., Ryan, M.R. and Richard, T.L., 2013. Energy use and greenhouse gas emissions from crop production using the farm energy analysis tool. *BioScience*. 63, 263-273.
- Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I. and Ozmerzi, A., 2005. Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya Region, Turkey. *Energy Conversion and Management*. 46, 655-666.
- Chandel, S. S., Naik, M. N. and Chandel, R., 2017. Review of performance studies of direct coupled photovoltaic water pumping systems and case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 76, 163-175.
- Christensen, L.O., Galt, R.E. and Kendall, A., 2018. Life-cycle greenhouse gas assessment of Community Supported Agriculture in California's Central Valley. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 33(5), 393-405.
- 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.
- Delate, K. and Cambardella, C.A., 2004. Agroecosystem performance during transition to certified organic grain production. *Agronomy Journal*. 96(5), 1288-1298.
- Dendooven, L., Gutiérrez-Oliva, V.F., Patiño-Zúñiga, L., Ramírez-Villanueva, D.A., Verhulst, N., Luna-Guido, M. and Govaerts, B., 2012. Greenhouse gas emissions under conservation agriculture compared to traditional cultivation of maize in the central highlands of Mexico. *Science of the Total Environment*. 431, 237-244.
- Dijkman, T.J., Basset-Mens, C., Antón, A. and Núñez, M., 2018. LCA of food and agriculture. In *Life Cycle Assessment*. Springer, Cham, pp. 723-754.
- Elsoragaby, S., Yahya, A., Mahadi, M.R., Nawi, N.M. and Mairghany, M., 2019. Energy utilization in major crop cultivation. *Energy*. 173, 1285-1303.
- Esfahani, S.M.J., Mahdei, K.N., Saadi, H. and Dourandish, A., 2018. Evaluate the environmental impact of silage corn production in South Khorasan Province. *Agroecology*. 10(1), 281-298. (In Persian).
- Falahi, F., & Hekmati Farid, S. (2013). Determinants of CO<sub>2</sub> emissions in the Iranian Provinces (panel data approach). *Iranian Energy Economics*, 2(6), 129-150.
- Fallahi, F. and Montazeri, S.J., 2010. Energy Consumption and Economic Growth: a Nonlinear Approach. *Iranian Journal of Economic research*. 15(44), 111-133.
- Farajian, L., Moghaddasi, R. and Hosseini, S., 2018. Agricultural energy demand modeling in Iran: Approaching to a more sustainable situation. *Energy Reports*. 4, 260-265.
- Fedrizzi, M.C., Ribeiro, F.S. and Zilles, R., 2009. Lessons from field experiences with photovoltaic pumping systems in traditional communities. *Energy for Sustainable Development*. 13(1), 64-70.
- Feyzbakhsh, M.T. and Alizadeh, P., 2018.

- Comparison of silage corn (*Zea mays L.*) and forage sorghum (*Sorghum bicolor L.*) productions in terms of energy consumption and global warming potential in Gorgan region. *Agroecology*. 10(1), 218-233. (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.
- Ghimire, R., Norton, U., Bista, P., Obour, A.K. and Norton, J.B., 2017. Soil organic matter, greenhouse gases and net global warming potential of irrigated conventional, reduced-tillage and organic cropping systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 107(1), 49-62.
- Gholami, Z., Ebrahimian, H. and Noori, H., 2016. Investigation of Irrigation Water Productivity in Sprinkler and Surface Irrigation Systems (Case study: Qazvin Plain). *Irrigation Sciences and Engineering*. 39(3), 135-146. (In Persian).
- Goglio, P., Smith, W.N., Grant, B.B., Desjardins, R.L., Gao, X., Hanis, K. and Burgess, P.J., 2018. A comparison of methods to quantify greenhouse gas emissions of cropping systems in LCA. *Journal of Cleaner Production*. 172, 4010-4017.
- Gozubuyuk, Z., Sahin, U., Adiguzel, M.C. and Dasci, E., 2019. Energy use efficiency of deficit-irrigated silage maize in different soil tillage practices on a high plain with a semi-arid climate. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 1-16.
- Habibi, E., Niknejad, Y., Fallah, H., Dastan, S. and Tari, D.B., 2019. Life cycle assessment of rice production systems in different paddy field size levels in north of Iran. *Environmental monitoring and assessment*. 191(4), 202.
- Halvorson, A.D., Stewart, C.E. and Del Grosso, S.J., 2016. Manure and inorganic nitrogen affect irrigated corn yields and soil properties. *Agronomy Journal*. 108(2), 519-531.
- Hatirli, S.A., Ozkan, B. and Fert, C., 2006. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. *Renewable Energy*. 31, 427-438.
- Hauschild, M. Z., Rosenbaum, R. K., & Olsen, S. I. (2018). *Life cycle assessment*. Springer International Publishing, Cham.
- 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.
- Hosseini, J.M., Hashemy, S.S., Javadi, S. and Banihabib, M., 2019. Assessment to Improving Operational Approaches of the Surface Water Resources on Groundwater Extraction Reduction (Case Study: Qazvin Irrigation District). *Iran-Water Resources Research*. 14(4), 125-139 (In Persian).
- Houshyar, E., Dalgaard, T., Tarazkar, M.H. and Jørgensen, U., 2015. Energy input for tomato production what economy says, and what is good for the environment. *Journal of Cleaner Production*. 89, 99-109.

- Huang, Y., Ren, W., Wang, L., Hui, D., Grove, J.H., Yang, X. and Goff, B., 2018. Greenhouse gas emissions and crop yield in no-tillage systems: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 268, 144-153.
- Ilahi, S., Wu, Y., Raza, M.A.A., Wei, W., Imran, M. and Bayasgalankhuu, L., 2019. Optimization Approach for Improving Energy Efficiency and Evaluation of Greenhouse Gas Emission of Wheat Crop using Data Envelopment Analysis. *Sustainability*. 11(12), 3409.
- Ingram, D.L., Hall, C.R. and Knight, J., 2018. Global warming potential, variable costs, and water use of a model greenhouse production system for 11.4-cm annual plants using life cycle assessment. *HortScience*. 53(4), 441-444.
- IPCC, 1995. Climate change, the science of climate change. In: Houghton JT, Meira Filho LG, Callander BA, Harris N, Kattenberg A, Maskell K (eds) Intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Iran Ministry of Energy, 2007. Energy balance sheet. Retrieved from <https://isn.moe.gov.ir/>
- Jackson, T.M., Khan, S. and Hafeez, M., 2010. A comparative analysis of water application and energy consumption at the irrigated field level. *Agricultural Water Management*. 97(10), 1477-1485.
- Jadidi, M., Sabouhi Sabouni, M., Homayounifar, M. and Mohammadi, A., 2012. Assessment of energy use pattern for tomato production in Iran: A case study from the Marand region. *Research in Agricultural Engineering*. 58, 50-56.
- Karimi, M., Beheshti Tabar, I. and Khubbakht, G.M., 2008. Energy production in Iran's agronomy. *American-Eurasian J. Agric. and Environ. Sciences*. 4(2), 172-177.
- Karimi, M. and Moghaddam, H., 2018. On-farm energy flow in grape orchards. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 17, 191-194.
- Karimi, P., Qureshi, A.S., Bahramloo, R. and Molden, D., 2012. Reducing carbon emissions through improved irrigation and groundwater management: A case study from Iran. *Agricultural water management*. 108, 52-60.
- Kazemi, H., Shokrgozar, M., Kamkar, B. and Soltani, A., 2018. Analysis of cotton production by energy indicators in two different climatic regions. *Journal of Cleaner Production*. 190, 729-736.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M. and Movahedi, M., 2013. Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy*. 52, 333-338.
- Kitani, O., (1999). CIGR handbook of agricultural engineering. The American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan.
- Koga, N. and Tajima, R., 2011. Assessing energy efficiencies and greenhouse gas emissions under bioethanol-oriented paddy rice production in northern Japan. *Journal of environmental management*. 92, 967-973.
- Kramer, K.J., Moll, H.C. and Nonhebel, S., 1999. Total greenhouse gas emissions related to the Dutch crop production system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 72, 9-16.
- Külekçi, M. and Aksoy, A., 2013. Input-output energy analysis in pistachio production of Turkey. *Environmental Progress and Sustainable Energy*. 32, 128-133.
- Lal, R., 2004. Carbon emission from farm operations. *Environment international*. 30(7), 981-

- 990.
- Lal, R., 2015. Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*. 70(3), 55A-62A.
- Lal, R., 2004. Carbon emission from farm operations. *Environment international*. 30, 981-990.
- Li, T., Baležentis, T., Makutėnienė, D., Streimikiene, D. and Kriščiukaitienė, I., 2016. Energy-related CO<sub>2</sub> emission in European Union agriculture: Driving forces and possibilities for reduction. *Applied energy*. 180, 682-694.
- Mandal, K., Saha, K., Ghosh, P., Hati, K. and Bandyopadhyay, K., 2002. Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass and Bioenergy*. 23, 337-345.
- Martin-Gorrioz, B., Gallego-Elvira, B., Martínez-Alvarez, V. and Maestre-Valero, J.F., 2020. Life cycle assessment of fruit and vegetable production in the Region of Murcia (south-east Spain) and evaluation of impact mitigation practices. *Journal of Cleaner Production*, 265, p.121656.
- McNunn, G., Karlen, D.L., Salas, W., Rice, C.W., Mueller, S., Muth Jr, D. and Seale, J.W., 2020. Climate smart agriculture opportunities for mitigating soil greenhouse gas emissions across the US Corn-Belt. *Journal of cleaner production*, 268, 122240.
- Mobtaker, H.G., Keyhani, A., Mohammadi, A., Rafiee, S. and Akram, A., 2010. Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 137, 367-372.
- 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.
- Mohammadzadeh, A., Damghani, A.M., Vafabakhsh, J. and Deihimfard, R., 2017. Assessing energy efficiencies, economy, and global warming potential (GWP) effects of major crop production systems in Iran: a case study in East Azerbaijan province. *Environmental Science and Pollution Research*. 24, 16971-16984.
- Mohammadzadeh, A., Mahdavi Damghani, A., Vafabakhsh, J. and Deihimfard, R., 2018. Ecological-Economic Efficiency for Alfalfa (*Medicago sativa* L.) and Corn Silage (*Zea mays* L.) Production Systems: Maragheh– Bonab Plain, East Azerbaijan Province. *Journal of Agroecology*. 10, 875-895.
- 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.
- 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.
- Muntean, M., Guizzardi, D., Schaaf, E., Crippa, M., Solazzo, E., Olivier, J.G.J. and Vignati, E., 2018. Fossil CO<sub>2</sub> emissions of all world countries-2018 Report. EU Joint Research Commission, Luxembourg: Publ. Off. European Union.
- Nabavi-Pelesaraei, A., Abdi, R., Rafiee, S. and Mobtaker, H.G., 2014. Optimization of energy required and greenhouse gas emissions analysis for orange producers using data envelopment analysis approach. *Journal of Cleaner Production*. 65, 311-



317.

Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S. S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H. and Chau, K.W., 2017. Energy consumption enhancement and environmental life cycle assessment in paddy production using optimization techniques. *Journal of cleaner production*. 162, 571-586.

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.

Nikkhah, A., 2018. Life cycle assessment of the agricultural sector in Iran (2007–2014). *Environmental Progress and Sustainable Energy*. 37(5), 1750-1757.

NRCS, U., 2006. Land resource regions and major land resource areas of the United States, the Caribbean, and the Pacific Basin. *US Department of Agriculture Handbook*, 296.

Omidi, A., Alimardani, R. and Khanali, M., 2018. Potential evaluation and sizing of an off-grid photovoltaic generator for the energy supply of an irrigation system. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*. 49(3), 477-488. doi: 10.22059/ijbse.2018.245764.665008 (In Persian).

Omrani, H., Valipour, M. and Emrouznejad, A., 2019. Using weighted goal programming model for planning regional sustainable development to optimal workforce allocation: an application for provinces of Iran. *Social Indicators Research*. 141(3), 1007-1035.

Ozturk, I., Aslan, A. and Kalyoncu, H., 2010. Energy consumption and economic growth relationship: Evidence from panel data for low and middle income countries. *Energy Policy*. 38(8), 4422-4428.

Parhizkari, A., Mozaffari, M., Shokatfadaee, M. and Mahmoodi, A., 2015. Deficit irrigation simultaneously with reduced available water the solution to conservation of water resources in Qazvin plain. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*. 5(1), 67-80. (In Persian).

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

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, 3335-3341.

Pishgar-Komleh, S., Ghahderijani, M. and Sefeedpari, P., 2012a. Energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions analysis of potato production based on different farm size levels in Iran. *Journal of Cleaner production*. 33, 183-191.

Pishgar-Komleh, S., Sefeedpari, P. and Ghahderijani, M., 2012b. Exploring energy consumption and CO<sub>2</sub> emission of cotton production in Iran. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*. 4, 033115.

Rajaby, M.H., Soltani, A., Zeinali, E. and Soltani, E., 2012. Evaluation of energy use in wheat production in Gorgan. *J. of Plant Production*. 19, 143-172.

Robertson, G.P., Paul, E.A. and Harwood, R.R., 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science*. 289(5486), 1922-1925.

Rochette, P. and Gregorich, E.G., 1998. Dynamics of soil microbial biomass C, soluble organic C and CO<sub>2</sub> evolution after three years of manure application. *Canadian Journal of Soil Science*. 78(2), 283-290.

- Rothausen, S.G. and Conway, D., 2011. Greenhouse-gas emissions from energy use in the water sector. *Nature Climate Change*. 1(4), 210-219.
- Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N. and Shiina, T., 2009. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of food engineering*. 90(1), 1-10.
- Shah, T., 2009. Climate change and groundwater: India's opportunities for mitigation and adaptation. *Environmental Research Letters*. 4(3), 035005.
- Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E., Haberl, H., Harper, R., House, J. and Jafari, M., 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Snyder, C., Bruulsema, T., Jensen, T. and Fixen, P., 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 133, 247-266.
- Soltani, A., Maleki, M. and Zeinali, E., 2014. Optimal crop management can reduce energy use and greenhouse gases emissions in rainfed canola production. *International Journal of Plant Production*. 8, 587-604.
- Taleghani, A., Almassi, M. and Ghahderijani, M., 2020. Environmental evaluation and optimization of energy use and greenhouse gases mitigation for farm production systems in Mashhad, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*. 1-12.
- Thelen, K.D., Fronning, B.E., Kravchenko, A., Min, D.H. and Robertson, G.P., 2010. Integrating livestock manure with a corn-*soybean* bioenergy cropping system improves short-term carbon sequestration rates and net global warming potential. *biomass and bioenergy*. 34(7), 960-966.
- 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.
- Ullah, A., Perret, S.R., Gheewala, S.H. and Soni, P., 2016. Eco-efficiency of cotton-cropping systems in Pakistan: an integrated approach of life cycle assessment and data envelopment analysis. *Journal of Cleaner Production*. 134, 623-632.
- Wang, X., Li, X., Fischer, G., Sun, L., Tan, M., Xin, L. and Liang, Z., 2015. Impact of the changing area sown to winter wheat on crop water footprint in the North China Plain. *Ecological Indicators*. 57, 100-109.
- 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.

Zareabyaneh, H., Heydari, A. and Daneshkar, A. P., 2020. Evaluation of Water Management Performance in Irrigation Network of Qazvin Plain, *Irrigation and Water Engineering*. 10(38), 76-88. (In Persian).

Zhang, G., Wang, X., Zhang, L., Xiong, K., Zheng, C., Lu, F. and Ouyang, Z., 2018. Carbon and water footprints of major cereal crops production in China. *Journal of Cleaner Production*. 194, 613-623.

Zhang, W., He, X., Zhang, Z., Gong, S., Zhang, Q.,

Zhang, W. and Chen, X., 2018. Carbon footprint assessment for irrigated and rainfed maize (*Zea mays L.*) production on the Loess Plateau of China. *Biosystems Engineering*. 167, 75-86.

Zou, X., Li, K., Cremades, R., Gao, Q., Wan, Y. and Qin, X., 2015. Greenhouse gas emissions from agricultural irrigation in China. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 20(2), 295-315





Environmental Sciences Vol.21 / No.3 / Autumn 2023

1-30

Original Article

## Study of the energy flow and Global Warming Potential (GWP) of alfalfa and maize silage production with different water supply sources (a case study: Qazvin Plain)

Ehsan Khodarezaie, Kouros Khoshbakht,\*  Hadi Veisi and Mohammadreza Nazari

Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute (ESRI), Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2022.01.05 Accepted: 2022.09.20

**Khodarezaie, E., Khoshbakht, K., Veisi, H. and Nazari, M.R., 2023.** Study of the energy flow and Global Warming Potential (GWP) of alfalfa and maize silage production with different water supply sources (a case study: Qazvin Plain). *Environmental Sciences*. 21(3): 1-30.

**Introduction:** Energy use in agriculture has grown faster than other sectors of the global economy. In developing countries, most agricultural systems consume significant amounts of energy to increase production and food security. Energy consumption leads to the emission of greenhouse gases and environmental pollutions in the agriculture sector. Besides, the use of fossil fuels in the production process and transfer of inputs emits greenhouse gases, which in turn cause global warming and climate change. Analyzing and good understanding of energy flow and Greenhouse Gas (GHG) emissions in agricultural production systems can help to optimize crop management practices thereby reducing environmental problems.

Qazvin Plain is one of the most important agricultural plains in Iran, which along with the use of groundwater, has the largest irrigation canal network in the country. Differences in agricultural water supply sources can lead to differences in energy consumption and GHG emissions as electricity and other inputs may be affected. Alfalfa and maize silage are major forage crops in Qazvin Plain. Alfalfa and maize silage need a relatively high

---

\* Corresponding Author: *Email Address*. k\_khoshbakht@sbu.ac.ir

<http://dx.doi.org/10.48308/envs.2022.1118>

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1402.21.3.1.1>



**Copyright:** © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

irrigation water requirement. This paper evaluates the energy flow and Global Warming Potential (GWP) of alfalfa and maize silage farms with two different water supply sources (well and canal) in Qazvin Plain.

**Material and methods:** The data were collected through face-to-face interviews with farmers in the years 2018-2019. Energy indices were estimated based on the analysis of farm inputs and outputs. GWP was calculated using the Life Cycle Assessment (LCA) method and SimaPro 8.2 software. GHGs were calculated using the conversion coefficients presented by the IPCC GWP 100 method.

**Results and discussion:** The output energy values of maize silage and alfalfa were calculated as 232726, 191812 MJ ha<sup>-1</sup> for well water irrigation system and 234167 and 248060 MJ ha<sup>-1</sup> for the canal water irrigation, respectively. Results showed higher net energy values for alfalfa (176218 MJ ha<sup>-1</sup>) and maize silage (169192 MJ ha<sup>-1</sup>) in canal water irrigation system compared to well water irrigation (63115 MJ ha<sup>-1</sup> and 132956 MJ ha<sup>-1</sup> for alfalfa and maize silage, respectively) mainly because of the relatively lower input energy. The results showed that the highest and lowest values of input energy were related to alfalfa production with well water irrigation (128697 MJ ha<sup>-1</sup>) and maize silage with canal water irrigation (64975 MJ ha<sup>-1</sup>), respectively. Also, the energy use efficiency of maize silage (3.6) and alfalfa (3.4) were higher in canal water irrigation systems compared to well water irrigation systems (2.3 for maize silage and 1.49 for alfalfa). In the well water irrigation systems, GWP was calculated to be 7466.9 kg CO<sub>2</sub>-eq ha<sup>-1</sup> and 7995.7 kg CO<sub>2</sub>-eq ha<sup>-1</sup> for maize silage and alfalfa, respectively. These values were 5533.3 kg CO<sub>2</sub>-eq ha<sup>-1</sup> and 4947.6 kg CO<sub>2</sub>-eq ha<sup>-1</sup> for maize silage and alfalfa in the canal water irrigation systems, respectively. Electricity and direct emission showed the highest share of total energy consumption and GHG emission.

**Conclusion:** Generally, our results showed that energy consumption and GWP were lower in the canal irrigation systems than well irrigation systems mainly as a result of electricity used for water pumping in well irrigation operations. It can be inferred from the present study that for efficient use of resources and decreasing environmental problems in the study area, practices such as optimal management of irrigation water, conservation tillage, and optimal management of chemical fertilizers can help to achieve these goals.

**Keywords:** Climate change, Sustainable agriculture, Energy use efficiency, Environmental impacts.

