

## Investigation of Energy Consumption Trend in Two Flood and Sprinkler Irrigation Systems: Case Study of One Hundred Hectare Farm in Hamadan

HASSAN GHASEMI MOBTAKER<sup>1\*</sup>

1. Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran  
(Received: May. 21, 2019- Revised: June. 26, 2019- Accepted: July. 28, 2019)

### ABSTRACT

Efficient use of energy inputs in crop production is an important goal in sustainable agriculture. The purpose of this study was to investigate energy consumption in two irrigation systems (flood and sprinkler irrigation system) for agricultural production including wheat, barley and alfalfa. Required information including total inputs, machinery and human labor, were collected from a 100 hectare farm placed in central region of Hamadan province. The data belonged to the 2017-2018 production period. The results revealed that the energy ratio in the sprinkler irrigation system was higher than flood irrigation system for all crops. The results also showed that use of sprinkler irrigation system led to decrease water consumption in all investigated crops. The inputs investigation indicated that electricity input (about 60%) in flood irrigation system and diesel fuel and electricity inputs (about 40 & 33%) in sprinkler irrigation system have the highest energy consumption. The energy forms results showed that crops production depends mainly on non-renewable energy resources (electricity, diesel fuel and chemical fertilizers) in the studied field. According to the results, it was found that although the use of sprinkler irrigation systems increases water productivity, it also increases energy consumption in crop production.

**Keywords:** Irrigation system, Energy use efficiency, Water productivity, Electricity.

## بررسی روند مصرف انرژی در دو سامانه آبیاری غرقابی و تحت فشار: مطالعه موردی یک مزرعه صد هکتاری در همدان

حسن قاسمی مبتکر<sup>\*</sup>

۱. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی،

دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۳۱ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۴/۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۵/۶)

### چکیده

یکی از مؤلفه‌های اصلی کشاورزی پایدار، استفاده کارا از منابع انرژی در تولید محصولات کشاورزی است. هدف از این مطالعه بررسی روند مصرف انرژی در دو سامانه آبیاری غرق‌آبی و تحت‌فشار، برای سه محصول گندم، جو و یونجه بود. اطلاعات مورد نیاز، شامل تمام نهاده‌های مصرفی و ساعات کارکرد ماشین‌ها و نیروی انسانی از یک مزرعه ۱۰۰ هکتاری واقع در قسمت مرکزی استان همدان در طول فصل زراعی ۹۶-۹۷ ثبت شد. نتایج نشان داد که برای تمامی محصولات مورد بررسی، شاخص نسبت انرژی در سامانه آبیاری غرق‌آبی بیشتر از سامانه آبیاری تحت‌فشار است. نتایج همچنین نشان داد که استفاده از سامانه آبیاری تحت‌فشار باعث کاهش مصرف آب در هر سه محصول مورد بررسی می‌شود. بررسی میزان مصرف نهاده‌ها نشان داد نهاده الکتریسیته (حدود ۶۰ درصد) در سامانه آبیاری غرق‌آبی و نهاده‌های سوخت فسیلی و الکتریسیته (حدود ۴۰ و ۳۳ درصد) در سامانه تحت‌فشار، بیشترین میزان انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده‌اند. بررسی‌ها همچنین نشان داد تولید محصولات مورد مطالعه به‌شدت وابسته به منابع انرژی‌های تجدیدناپذیر (الکتریسیته، سوخت فسیلی و کودهای شیمیایی) است. با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص شد علی‌رغم اینکه استفاده از سامانه‌های آبیاری بارانی بهره‌وری نهاده آب را افزایش می‌دهد، اما باعث افزایش مصرف انرژی در تولید محصولات نیز مزرعه می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** سامانه آبیاری، نسبت انرژی، بهره‌وری آب، الکتریسیته.

### مقدمه

تولیدی اقتصادی توسعه می‌دهد (Erdal et al., 2007). امروزه تحلیل انرژی به‌عنوان یک ابزار مهم به‌منظور طراحی، مدل‌سازی و بررسی عملکرد سامانه‌های کشاورزی توسط بسیاری از محققین در کشورهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد (Kitani, 1999). عوامل زیادی در کارایی مصرف انرژی در کشاورزی دخیل هستند که از جمله می‌توان به اندازه مزارع، سطح مکانیزاسیون و نوع محصول کشت شده اشاره کرد؛ به‌عبارت دیگر مصرف انرژی در سامانه‌های مختلف کشاورزی متفاوت هستند (Mohammadi et al., 2014). در بسیاری از مطالعات انجام شده در زمینه کارایی مصرف انرژی در تولید محصولات مختلف کشاورزی، مصرف دو نهاده سوخت‌های فسیلی و الکتریسیته که عمدتاً برای استحصال آب استفاده می‌شود، به‌عنوان مهم‌ترین نهاده‌ها ذکر شده‌اند (Zangeneh et al., 2010; Ghasemi-Mobtaker et al., 2012; Mohammadi et al., 2014; Nabavi-Pelesaraei et al., 2017). استفاده از روش‌های آبیاری با راندمان بالا علاوه بر افزایش بهره‌وری آب باعث بهبود کارایی اقتصادی مزرعه نیز می‌شود (Darouich et al., 2017).

امروزه افزایش روزافزون جمعیت جهان و رشد سریع اقتصادی باعث نگرانی بشر در مورد وضعیت آینده زمین شده است. زمین‌های کشاورزی حاصل‌خیزی و باروری خود را از دست داده‌اند و میزان افزایش زمین‌های قابل کشت با میزان تخریب زمین‌های کشاورزی مطابقت ندارد. با توجه به کاهش منابع طبیعی و کاهش زمین‌های بارور، فشار زیادی بر کشاورزان برای تولید غذا وجود دارد؛ این به‌معنی نیاز به تلاش ویژه به‌منظور مدیریت نهاده‌های کلیدی بدون تخریب منابع زیست‌محیطی و استفاده از روش‌های دانش‌بنیان برای حفظ پایداری، بهره‌وری و سودآوری کشاورزی می‌باشد (Panwar et al., 2011). کاربرد روش‌های سنتی در تولید محصولات کشاورزی که با مصرف بالای انرژی همراه است، باعث چالش‌های زیست‌محیطی زیادی از جمله گرمایش جهان و آلودگی هوا شده است (Pahlavan et al., 2012). استفاده مؤثر از انرژی، یکی از نیازهای اساسی کشاورزی پایدار است که ضمن کاهش مشکلات زیست‌محیطی، از تخریب منابع طبیعی جلوگیری کرده و کشاورزی پایدار را به‌عنوان یک سامانه

سامانه (۱) بود که نشان از پایداری این روش دارد (Nasseri, 2019).

در منطقه مورد مطالعه استفاده از سامانه‌های آبیاری تحت فشار چند سالی است که مورد استفاده قرار می‌گیرد که هیچ مطالعه‌ای در ارتباط با روند مصرف انرژی در این سامانه یافت نشد. لذا با توجه به نتایج اهمیت مصرف آب در کشاورزی و سهم بالای انرژی مورد نیاز برای استحصال آب در منطقه، هدف از این مطالعه بررسی روند مصرف انرژی و شاخص‌های انرژی در تولید سه محصول گندم، جو و یونجه به‌عنوان سه محصول مهم بخش مرکزی همدان، تحت سامانه تحت فشار و مقایسه نتایج با سامانه آبیاری غرق آبی بود.

### مواد و روش‌ها

این مطالعه در یک مزرعه در شهرستان همدان از توابع مرکزی استان همدان انجام شد و کلیه اطلاعات مربوط به نهاده‌های مصرفی و ساعات کارکرد ماشین‌ها و نیروی انسانی در فصل زراعی ۹۶-۹۷ ثبت شد. مزرعه مذکور دارای ۱۰۰ هکتار زمین زیر کشت است و گندم، جو و یونجه سه محصول عمده تولیدی آن هستند که دو سامانه آبیاری غرق آبی (سامانه ۱) و تحت فشار ویلمو (سامانه ۲) برای آبیاری آن استفاده می‌شود. هدف از این مطالعه بررسی روند مصرف انرژی در تولید محصولات مزرعه تحت دو سامانه مختلف آبیاری بود، لذا کلیه اطلاعات مربوط به دو سامانه در کل فصل کشت جمع‌آوری و ثبت شد.

نهاده‌های مورد نیاز برای تولید محصولات فوق در هر هکتار مشخص شدند و برای تبدیل مقادیر مختلف نهاده به واحدهای انرژی از ضرایب و هم‌ارزهای استاندارد انرژی استفاده شد. همچنین برای محاسبه مقدار انرژی خروجی از ضرایب مربوط به محتوای انرژی محصولات استفاده شد. این ضرایب در جدول ۱ به‌طور کامل تشریح شده است.

جهت تعیین انرژی مستقیم مصرفی برای استحصال آب از رابطه (۱) استفاده گردید (Kitani, 1999). آب مورد استفاده برای آبیاری این مزرعه از یک چاه به عمق ۱۲۰ متر و با استفاده از یک الکتروموتور استحصال می‌شود که دبی آن با استفاده از پروانه بهره‌برداری چاه تخمین و سپس مقدار آب مصرفی برای هر سامانه آبیاری برحسب مترمکعب در هکتار، با توجه به تعداد ساعات آبیاری هر هکتار محاسبه گردید. در سامانه آبیاری تحت فشار یک پمپ جداگانه که با یک موتور دیزلی کار می‌کند، برای پمپاژ آب وجود داشت که میزان مصرف سوخت، روغن و همچنین انرژی صرف شده برای ساخت تجهیزات آبیاری تحت فشار به‌عنوان انرژی مصرفی در آبیاری این سامانه لحاظ گردید.

مطالعات زیادی در راستای مقایسه مصرف انرژی در سامانه‌های مختلف کشاورزی انجام شده است. در مطالعه‌ای مصرف انرژی تولید سیب‌زمینی در استان همدان در دو گروه مزارع با نظام بهره‌برداری از ماشین و سطح فن‌آوری مختلف بررسی شد. نتایج نشان داد مصرف انرژی در مزارعی که از ماشین‌های بهره‌بردار می‌گیرند و سطح فن‌آورانه پایین‌تری دارند بیشتر از مزارع دیگر است (Zangeneh et al., 2010). در مطالعه‌ای دیگر با عنوان مقایسه کشت ذرت به دو روش مرسوم و ارگانیک نتایج نشان داد که سهم نهاده‌های کود، آبیاری، بذر و ماشین‌ها به‌ترتیب بیشترین مقدار را در انرژی ورودی دارا بودند. در هر دو سامانه، انرژی کود شیمیایی و نیروی انسانی به‌ترتیب بیشترین و کمترین سهم را در انرژی ورودی داشتند. نتایج همچنین نشان داد مصرف انرژی در روش مرسوم بیشتر از روش ارگانیک است (Bilalis et al., 2013).

(Mohammadi et al., 2014) کارایی مصرف انرژی را برای محصولات مختلف (گندم، جو، کلزا، سویا، ذرت علوفه‌ای و برنج) در استان گلستان بررسی کردند. نتایج نشان داد از نظر مصرف انرژی مزارع بزرگ‌تر، کارا تر از مزارع کوچک‌تر بودند و وارد کردن بقایای گیاهی در محاسبات به‌عنوان محصول خروجی، باعث بهبود بهره‌وری انرژی می‌شود. نتایج همچنین نشان داد که انرژی مورد نیاز برای آبیاری غرق آبی در محصولات سویا، برنج و ذرت علوفه‌ای بخش اعظمی از انرژی ورودی را به خود اختصاص داده است که این امر باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. آنها برای بهبود بهره‌وری انرژی توصیه کردند که از روش‌های آبیاری با راندمان بالا در منطقه استفاده شود. در مطالعه‌ای در کشور اسپانیا گزارش شد استفاده از سامانه‌های آبیاری بارانی علی‌رغم اینکه بهره‌وری نهاده آب را افزایش می‌دهد و باعث بهبود شرایط کاری کشاورزان می‌شود، اما باعث افزایش مصرف انرژی و سرمایه در تولید می‌گردد (Tarjuelo et al., 2015).

(Pagani et al., 2017) در مطالعه‌ای بر روی سامانه‌های مختلف تولید برنج گزارش کردند با کاهش حدود ۵۰ درصدی مقدار انرژی ورودی در مزارع ارگانیک نسبت به مزارع مرسوم، عملکرد محصول فقط حدود ۸ درصد کاهش می‌یابد. در مطالعه‌ای دیگر در شمال غرب ایران مصرف انرژی و تحلیل اقتصادی در دو سامانه مختلف کشت برای محصول گندم بررسی شد. سامانه‌های مورد بررسی شامل شخم مرسوم با روش آبیاری غرق آبی (سامانه ۱) و شخم حفاظتی با روش آبیاری بارانی (سامانه ۲) بودند که داده‌های مربوط به مصرف نهاده‌ها و عملکرد در طول دو سال ثبت شد. نتایج نشان داد که کل انرژی ورودی در سامانه (۲) کمتر از سامانه (۱) بود. در تمامی شاخص‌های انرژی، سامانه (۲) بهتر از

$H$ : هد دینامیکی چاه (m)  
 $g$ : شتاب گرانش ( $9/8 \text{ m/s}^2$ )  
 $\eta_i$ : بازده پمپ (% ۷۰-۹۰)  
 $\eta_0$ : بازده کلی توان وسیله الکتریکی یا دیزل (% ۱۸-۲۲)

$$DE = \frac{\delta \times g \times H \times Q}{\eta_1 \times \eta_0} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن:

$DE$ : انرژی مستقیم (J/ha)

$Q$ : کل آب مورد نیاز در دوره رشد ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )

$\delta$ : چگالی آب ( $1000 \text{ kg/m}^3$ )

جدول ۱- هم‌ارز انرژی برای نهاده‌های ورودی و خروجی

(Kitani, 1999; Ghasemi-Mobtaker et al., 2010; Ghasemi-Mobtaker et al., 2012; Mohammadi et al., 2014)

نهادها	واحد	محتوای انرژی ( $\text{MJ unit}^{-1}$ )	نهادها	واحد	محتوای انرژی ( $\text{MJ unit}^{-1}$ )
۱- نیروی انسانی	h	۱/۹۶	۵- کود حیوانی	kg	۰/۳۰
۲- ماشین‌ها	kg		۶- آفت‌کش	kg	۱۲۰
- تراکتور		۱۲۸	۷- الکتریسیته	kWh	۱۱/۹۳
- کمباین		۱۱۶	۸- بذر (گندم و جو)	kg	۱۴/۷
- ماشین‌ها		۶۲/۷۰	نهادهای خروجی		
۳- سوخت	L	۵۶/۳۱	۱- یونجه (۱۵٪ رطوبت)	kg	۱۵/۸
۴- کودهای شیمیایی	kg		۲- گندم و جو	kg	۱۴/۷
- نیتروژن (N)	kg	۶۶/۱۴	۳- کاه و کلش	kg	۱۲/۵
- فسفات ( $\text{P}_2\text{O}_5$ )	kg	۱۲/۴۴			

سامانه‌های مختلف فراهم می‌آید. با توجه به اینکه هدف این پژوهش مقایسه دو سامانه آبیاری بود، شاخص بهره‌وری آب نیز برای دو سامانه مذکور محاسبه گردید. برای محاسبه این شاخص‌ها از روابط (۵-۸) استفاده شد (Kitani, 1999; Tabatabaefar et al., 2009; Khan et al., 2009; Ghasemi-Mobtaker et al., 2010). کلیه اطلاعات ثبت شده در طول فصل زراعی در صفحه Excel وارد شد و محاسبات با استفاده از این نرم‌افزار انجام گردید.

$$ER = \frac{E_{out}}{E_{in}} \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$NEG = E_{out} - E_{in} \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$EP = \frac{Y}{E_{in}} \quad (\text{رابطه ۷})$$

$$WP = \frac{Y}{W_{in}} \quad (\text{رابطه ۸})$$

که در آن:

$ER$ : نسبت انرژی (-)

$EP$ : بهره‌وری انرژی (kg/MJ)

$E_{out}$ : مقدار انرژی خروجی (MJ/ha)

$Y$ : عملکرد محصول (kg/ha)

$E_{in}$ : مقدار انرژی ورودی (MJ/ha)

$WP$ : بهره‌وری آب ( $\text{kg/m}^3$ )

$NEG$ : افزوده خالص انرژی (MJ/ha)

$W_{in}$ : مقدار آب ورودی ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )

### نتایج و بحث

مقدار مصرف انرژی و منابع آن برای تولید محصولات مختلف در

هم‌ارز انرژی تراکتور و ادوات (ماشین‌ها) براساس وزن تراکتور و ادوات استفاده شده در مزرعه، مدت عمر مفید کاری و سطح متوسطی که آنها سالیانه تحت پوشش قرار می‌دهند، به‌دست می‌آید. برای محاسبه انرژی تراکتور و ادوات از روابط (۲-۴) استفاده شد (Kitani, 1999; Mousavi-Avval et al., 2011):

$$E_{mach} = E_{tr} + E_{im} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$E_{tr} = \frac{W_{tr} \times EI_{tr}}{t_{tr} \times C_{atr}} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$E_{im} = \frac{W_{im} \times EI_{im}}{t_{im} \times C_{aim}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن:

$E_{mach}$ : انرژی ماشین (MJ/ha)

$EI_{im}$ : شدت انرژی ادوات (MJ/kg)

$E_{tr}$ : انرژی تراکتور (MJ/ha)

$t_{tr}$ : عمر مفید تراکتور (h)

$E_{im}$ : انرژی ادوات (MJ/ha)

$t_{im}$ : عمر مفید ادوات (h)

$W_{tr}$ : وزن تراکتور (kg)

$C_{atr}$ : ظرفیت واقعی تراکتور (ha/h)

$W_{im}$ : وزن ادوات (kg)

$C_{aim}$ : ظرفیت واقعی ادوات (ha/h)

$EI_{tr}$ : شدت انرژی تراکتور (MJ/kg)

با توجه به معادل انرژی ورودی و خروجی، شاخص‌های انرژی محاسبه گردید. با استفاده از این شاخص‌ها امکان مقایسه

با توجه به جدول (۱)، استفاده از روش آبیاری تحت فشار باعث کاهش مصرف الکتریسیته می‌شود. در سامانه (۲) در کشت گندم و جو، نهاده سوخت بیشترین میزان انرژی مصرفی را دارا بود (به ترتیب ۳۹ و ۴۰ درصد). دلیل این موضوع مصرف زیاد سوخت برای پمپاژ آب در این سامانه بود. در مزرعه مورد مطالعه برای پمپاژ آب به آب‌پاش‌ها از یک موتور دیزلی استفاده می‌شود که آب را از داخل یک استخر به آب‌پاش‌ها پمپاژ می‌کند و این امر سبب بالا رفتن مصرف سوخت و نهایتاً کل انرژی مصرفی در این سامانه شده است. قابل ذکر است که به واسطه فاصله زیاد مزرعه از چاه، امکان استفاده از انرژی الکتریسته برای پمپاژ آب به آب‌پاش‌ها وجود ندارد، ناگزیر از موتور دیزلی استفاده می‌شود. به منظور کاهش مصرف سوخت در این بخش پیشنهاد شد که از پنل‌های خورشیدی برای تأمین انرژی این بخش استفاده شود. در مطالعه‌ای که بر روی مزارع یونجه در استان همدان انجام شد الکتریسیته به‌عنوان مهم‌ترین نهاده مصرف شده معرفی شد که حدود ۷۶ درصد از کل انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده بود (Ghasemi-Mobtaker *et al.*, 2012).

دو سامانه آبیاری در جدول (۲) آمده است. همچنین سهم هر یک از نهاده‌ها در تولید محصولات در شکل (۱) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که مقدار مصرف آب در یک هکتار مزارع گندم، جو و یونجه در سامانه (۱) به ترتیب ۴۵۳۶، ۳۶۲۹ و ۱۲۴۴۲ مترمکعب و در سامانه (۲) به ترتیب ۲۹۱۶، ۲۳۳۳ و ۶۶۱۰ مترمکعب بود. مقایسه مصرف آب در دو سامانه نشان می‌دهد که استفاده از سامانه آبیاری تحت فشار باعث کاهش ۳۶ درصد مصرف آب در محصول گندم و جو و ۴۷ درصد مصرف آب در محصول یونجه می‌شود. نتایج مشابهی در مطالعات مختلف گزارش شده است (Andrés and Cuchí, 2014; Tarjuelo *et al.*, 2015).

بررسی میزان مصرف نهاده‌های مختلف نشان داد در سامانه (۱) در هر سه محصول مورد بررسی، مصرف نهاده الکتریسیته بیشترین میزان انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده است (به ترتیب ۵۲، ۵۰ و ۷۶ درصد در تولید گندم، جو و یونجه). نهاده الکتریسیته برای استحصال آب از چاه استفاده می‌شود و دلیل مصرف بالای انرژی الکتریسیته، عمق زیاد چاه مزرعه و بازده پایین سامانه آبیاری غرق آبی می‌باشد که نیاز به آب زیادی دارد.

جدول ۲- میزان مصرف انرژی نهاده‌های مصرفی برای تولید محصولات (MJ/ha)

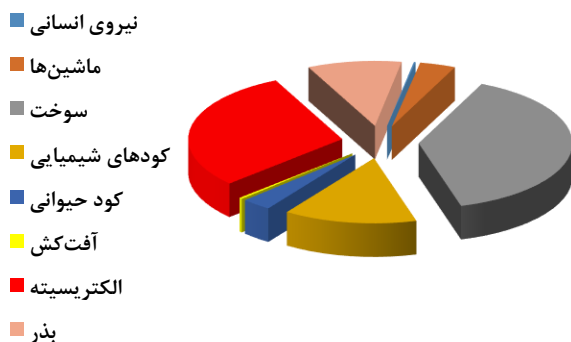
نهاده‌ها	گندم		جو		یونجه	
	سامانه (۱)	سامانه (۲)	سامانه (۱)	سامانه (۲)	سامانه (۱)	سامانه (۲)
نهاده‌های ورودی						
۱- نیروی انسانی	۱۹۵/۶۱	۸۹/۷۷	۱۶۸/۱۷	۸۰/۵۶	۳۱۰/۶۵	۲۰۸/۳۵
۲- ماشین‌ها	۱۵۷۶/۲۶	۱۷۹۲/۸۶	۱۶۴۹/۸۶	۱۶۹۹/۱۹	۱۹۲۴/۱۴	۲۵۶۶/۱۹
۳- سوخت	۵۶۹۸/۵۷	۱۸۴۸۰/۹۴	۵۶۹۸/۵۷	۱۵۸۹۰/۶۸	۳۱۵۳/۳۶	۳۲۰۴۰/۳۹
۴- کودهای شیمیایی						
- نیتروژن (N)	۶۰۸۴/۸۸	۶۰۸۴/۸۸	۴۵۶۳/۶۶	۴۵۶۳/۶۶	۱۰۶۴۸/۵۴	۱۰۶۴۸/۵۴
- فسفات (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	۵۶۶/۰۲	۵۶۶/۰۲	۵۶۶/۰۲	۵۶۶/۰۲	۲۲۶۴/۰۸	۲۲۶۴/۰۸
۵- کود حیوانی	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۶۰۰	۶۰۰
۶- آفت‌کش	۱۶۸	۱۶۸	۱۴۴	۱۴۴	۳۶۰	۳۶۰
۷- الکتریسیته	۲۲۰۹۶/۷۵	۱۴۲۰۵/۰۵	۱۷۶۷۷/۴۰	۱۱۳۶۴/۰۴	۶۰۶۰۸/۲۲	۳۲۱۹۸/۱۲
۸- بذر	۴۷۰۴	۴۷۰۴	۳۵۲۸	۳۵۲۸	-	-
کل انرژی نهاده‌ها	۴۲۵۹۰/۰۹	۴۷۵۹۱/۵۲	۳۵۴۹۵/۶۸	۳۹۳۳۶/۱۵	۷۹۸۶۸/۹۹	۸۰۸۸۵/۶۷
نهاده‌های خروجی						
۱- یونجه (۱۵٪ رطوبت)	-	-	-	-	۲۵۴۳۸۰	۲۳۲۲۶۰
۲- گندم	۸۳۷۹۰	۸۶۷۳۰	-	-	-	-
۳- جو	-	-	۷۷۹۱۰	۸۲۳۲۰	-	-
۴- کاه و کلش	۴۳۷۵۰	۵۰۰۰۰	۳۱۲۵۰	۳۷۵۰۰	-	-
کل انرژی خروجی	۱۲۷۵۴۰	۱۳۶۷۳۰	۱۰۹۱۶۰	۱۱۹۸۲۰	۲۵۴۳۸۰	۲۳۲۲۶۰

نیروی کارگری کمتری نسبت به سامانه (۱) نیاز است که این امر به دلیل استفاده از نیروی کارگری کمتر برای انجام آبیاری در این سامانه است. نتایج مشابهی در مطالعات دیگر گزارش شده است

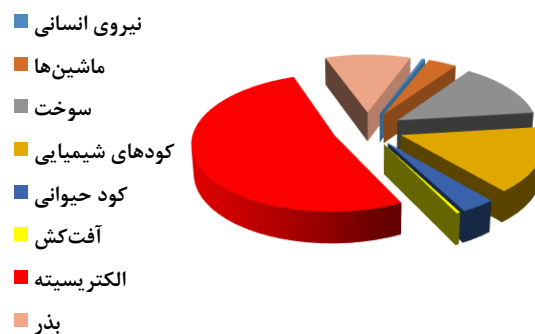
دو نهاده نیروی کارگری و آفت‌کش‌ها کمترین میزان مصرف انرژی برای تمام محصولات مزرعه و در هر دو سامانه را به خود اختصاص داده بودند. نتایج همچنین نشان داد در سامانه (۲)

تحت فشار علاوه بر افزایش بهره‌وری آب، باعث کاهش نیاز به نیروی کارگری می‌شود و بهبود کارایی اقتصادی مزرعه نیز می‌گردد (Darouich *et al.*, 2017).

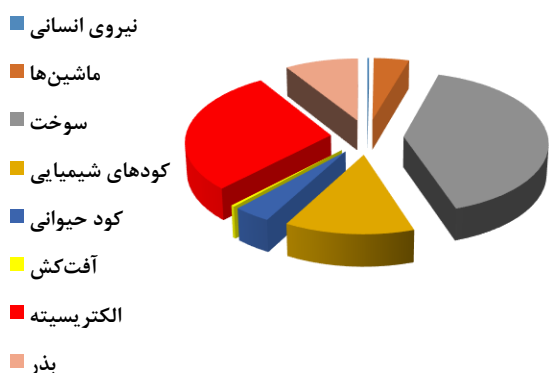
که نیروی کارگری بخش کمی از انرژی ورودی در تولید محصولات را به خود اختصاص داده است (Kizilaslan, 2009; Mohammadi *et al.*, 2014; Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2016). به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت استفاده از سامانه آبیاری



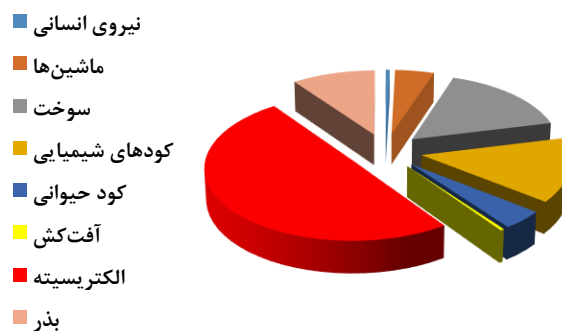
گندم (سامانه ۲)



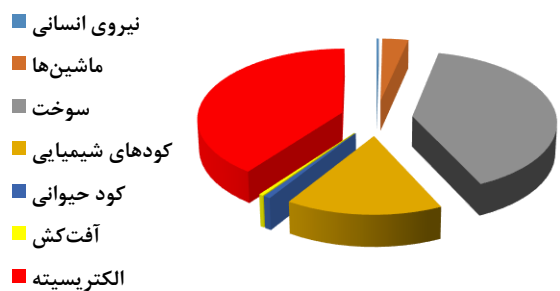
گندم (سامانه ۱)



جو (سامانه ۲)



جو (سامانه ۱)



یونجه (سامانه ۲)



یونجه (سامانه ۱)

شکل ۱- سهم نهاده‌ها در تولید محصولات

انرژی در سامانه (۱) بیشتر از سامانه (۲) به دست آمد. این موضوع نشان می‌دهد با وجود این که سامانه (۲) از نهاده‌های ورودی به خصوص آب و نیروی انسانی به صورت کارا استفاده می‌کند، ولی به علت بالا بودن مصرف سوخت فسیلی و الکتریسیته، بازده در این سامانه کمتر است. به عبارت دیگر استفاده از موتور دیزلی مجزا برای پمپاژ آب سبب کاهش کارایی مصرف انرژی در محصولات مورد بررسی می‌شود. شاید بهترین راه حل برای این موضوع استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر سامانه‌های فتوولتائیک باشد. با توجه به نتایج جدول (۳) مشاهده می‌گردد در تمامی محصولات مورد بررسی شاخص بهره‌وری آب در سامانه (۲) بهتر از سامانه (۱) می‌باشد. همان طور که قبلاً هم اشاره شد، استفاده از سامانه آبیاری تحت فشار باعث صرفه‌جویی بالایی در مصرف نهاده آب می‌شود. این موضوع به خاطر کاهش حجم ذخایر آب‌های زیرزمینی در منطقه که به عنوان مهم‌ترین منبع تأمین آب کشاورزی هستند، می‌تواند بسیار جذاب باشد.

در جدول (۳) همچنین مقدار هر یک از انواع انرژی شامل انرژی مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در تولید محصولات ارائه شده است. همان طور که مشخص است در تمامی محصولات مورد بررسی سهم انرژی‌های مستقیم به مراتب بیشتر از انرژی‌های غیرمستقیم است. دلیل این موضوع، مصرف بالای نهاده‌های الکتریسیته و سوخت می‌باشد. در تقسیم‌بندی دیگر همان طور که مشاهده می‌شود، سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر بسیار بیشتر از انرژی‌های تجدیدپذیر است. نتایج نشان داد سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر در تولید تمامی محصولات بالاتر از ۸۵ درصد است. این موضوع وابستگی شدید تولیدات محصولات کشاورزی در منطقه به منابع تجدیدناپذیر را نشان می‌دهد.

بررسی میزان مصرف انرژی نشان داد در هر سه محصول مورد مطالعه میزان مصرف انرژی در سامانه (۲) بیشتر از سامانه (۱) بود. نتایج مشابهی در برخی مطالعات گزارش شده که استفاده از سامانه آبیاری تحت فشار علی‌رغم اینکه باعث افزایش کارایی آبیاری می‌شود، اما مصرف انرژی در تولید محصولات را نیز افزایش می‌دهد که این می‌تواند باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای شود (Lal, 2004; Tarjuelo et al., 2015). همان طور که اشاره شد در مزرعه مورد مطالعه از یک موتور دیزلی برای پمپاژ آب به آب‌پاش‌ها استفاده می‌شود که این مسئله باعث مصرف بالای سوخت می‌شود. با بررسی انجام شده، اگر بتوان مصرف سوخت را از انرژی خورشیدی و با استفاده از سامانه فتوولتائیک تأمین کرد؛ می‌توان در مصرف انرژی نهاده‌های محصولات مورد بررسی صرفه‌جویی کرد. در این صورت همزمان با کاهش مصرف آب، مصرف نهاده‌های سوخت و الکتریسیته نیز کاهش خواهد یافت. به طور کلی علی‌رغم اینکه استفاده از سامانه آبیاری تحت فشار باعث استفاده بهینه از نهاده‌های آب، نیروی انسانی و الکتریسیته می‌شود، اما به دلیل نیاز به سوخت فسیلی بیشتر برای پمپاژ آب به آب‌پاش‌ها، باعث افزایش این نهاده و در نهایت کل انرژی ورودی در محصولات تولیدی مزرعه می‌شود. این مسئله علی‌رغم هزینه زیادی که دارد، به خاطر نیاز بیشتر به سوخت‌های فسیلی، باعث افزایش اثرات زیست‌محیطی تولید این محصولات می‌شود.

نتایج مربوط به شاخص‌های انرژی برای محصولات مورد بررسی در جدول (۳) نشان داده شده است. نسبت انرژی که به عنوان شاخصی برای بررسی کارایی انرژی در تولید محصولات کشاورزی به کار می‌رود، برای تمامی محصولات مزرعه بزرگتر از یک به دست آمد. در تمامی محصولات مورد بررسی شاخص نسبت

جدول ۳- شاخص‌های انرژی و آب در تولید محصولات مزرعه

شاخص‌ها	واحد	گندم		جو		یونجه	
		سامانه (۱)	سامانه (۲)	سامانه (۱)	سامانه (۲)	سامانه (۱)	سامانه (۲)
نسبت انرژی	-	۲/۹۹	۲/۸۷	۳/۰۸	۳/۰۵	۳/۱۸	۲/۸۷
بهره‌وری انرژی*	Kg/MJ	۰/۲۱۶	۰/۲۰۸	۰/۲۲۰	۰/۲۱۹	۰/۲۰۲	۰/۱۸۲
افزوده خالص انرژی	MJ/ha	۸۴۹۵۰	۸۹۱۳۸	۷۳۶۶۴	۸۰۴۸۴	۱۷۴۵۱۱	۱۵۱۳۷۴
بهره‌وری آب*	kg/m <sup>3</sup>	۲/۰۳	۳/۴۰	۲/۱۵	۳/۶۹	۱/۲۹	۲/۲۲
انرژی مستقیم	MJ/ha	۲۷۹۹۱	۳۲۷۷۶	۲۳۵۴۴	۲۷۳۳۵	۶۴۰۷۲۲	۶۴۴۴۷
انرژی غیرمستقیم	MJ/ha	۱۴۵۹۹	۱۴۸۱۶	۱۱۹۵۲	۱۲۰۰۱	۱۵۷۹۷	۱۶۴۳۹
انرژی تجدیدپذیر	MJ/ha	۶۴۰۰	۶۲۹۴	۵۱۹۶	۵۱۰۹	۹۱۱	۸۰۸
انرژی تجدیدناپذیر	MJ/ha	۳۶۱۹۰	۴۱۲۹۸	۳۰۳۰۰	۳۴۲۲۸	۷۸۹۵۸	۸۰۰۷۷

\* بهره‌وری انرژی و آب برای محصولات گندم و جو با احتساب وزن دانه و کاه انجام شده است.

به‌عبارت دیگر در مقایسه با روش آبیاری غرق‌آبی، سامانه آبیاری تحت‌فشار در تولید محصولات گندم، جو و یونجه به‌ترتیب ۱۹، ۱۸ و ۳۵ درصد مصرف انرژی کمتری دارد. این موضوع اهمیت استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری در کشاورزی (بدون وابستگی به سوخت‌های فسیلی) را نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه، انرژی مصرفی در تولید سه محصول گندم، جو و یونجه در دو سامانه آبیاری غرق‌آبی و تحت‌فشار مورد بررسی قرار گرفت. مهم‌ترین نتایج این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

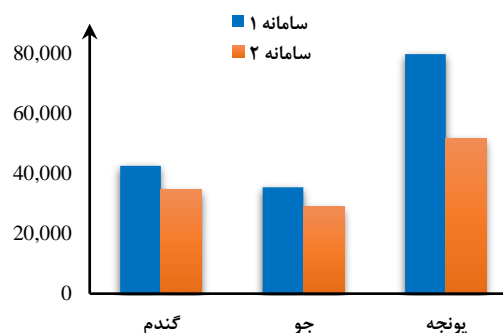
برای هر سه محصول مورد مطالعه، مصرف انرژی در سامانه آبیاری تحت‌فشار بیشتر از سامانه آبیاری غرق‌آبی بود. این موضوع به‌خاطر مصرف بالای سوخت فسیلی در سامانه آبیاری مزرعه بود که از یک پمپ مجزا با سوخت فسیلی بهره می‌گیرد.

نهاده الکتریسیته در سامانه آبیاری غرق‌آبی و نهاده‌های الکتریسیته و سوخت فسیلی در سامانه آبیاری تحت‌فشار، بیشترین میزان انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده‌اند که این امر وابستگی شدید تولید محصولات مزرعه (به‌خصوص در سامانه آبیاری تحت‌فشار) به انرژی‌های تجدیدناپذیر را نشان می‌دهد.

استفاده از روش‌های نوین آبیاری به‌واسطه افزایش راندمان استفاده از آب، تا حدودی باعث افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید محصولات می‌شود.

وابستگی شدید تولید محصولات به انرژی‌های تجدیدناپذیر، به‌خصوص در سامانه آبیاری تحت‌فشار، بیانگر ناپایداری سامانه آبیاری تحت‌فشار در مزرعه مورد مطالعه است. پیشنهاد می‌شود مطالعاتی در راستای امکان استفاده از سامانه‌های فتوولتائیک برای استحصال و پمپاژ آب انجام شود.

در تولید یونجه، انرژی‌های تجدیدپذیر تنها ۱ درصد از کل انرژی ورودی را شامل می‌شود. این نتایج در راستای نتایج مطالعات زیادی است (Kizilaslan, 2009; Mohammadi and Omid., 2010; Ghasemi-Mobtaker et al., 2012). بررسی‌های بیشتر نشان داد استفاده از روش‌های نوین آبیاری به‌واسطه افزایش راندمان استفاده از آب، تا حدودی باعث افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید محصولات می‌شود.



شکل ۲- مصرف انرژی در دو سامانه مورد بررسی (بدون احتساب سوخت فسیلی مورد نیاز برای پمپاژ آب)

همان‌طور که نتایج نشان داد، علی‌رغم اینکه استفاده از سامانه آبیاری تحت‌فشار باعث استفاده کارا از نهاده‌های آب، نیروی انسانی و الکتریسیته می‌شود، اما به‌دلیل نیاز به سوخت فسیلی بیشتر برای پمپاژ آب به آبپاش‌ها، باعث افزایش کل انرژی ورودی در محصولات تولیدی مزرعه می‌شود. لذا در این مطالعه مصرف انرژی ورودی دو سامانه بدون احتساب سوخت فسیلی مورد نیاز برای پمپاژ آب مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲). نتایج نشان داد بدون احتساب سوخت فسیلی مورد نیاز برای پمپاژ آب، میزان مصرف انرژی در سامانه (۲) کمتر از سامانه (۱) بود.

## REFERENCES

- Andrés, R. & Cuchí, J. A. (2014). Analysis of sprinkler irrigation management in the LASESA district, Monegros (Spain). *Agricultural Water Management*, 131, 95–107.
- Bilalis, D. Kamariari, P. E. Karkanis, A. Efthimiadou, A. Zorpas, A. & Kakabouki, I. (2013). Energy Inputs, Output and Productivity in Organic and Conventional Maize and Tomato Production, under Mediterranean Conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 41(1), 190–194.
- Darouich, H. Cameira, M. R. Gonçalves, J. M. Paredes, P. & Pereira, L. S. (2017). Comparing sprinkler and surface irrigation for wheat using multi-criteria analysis: water saving vs. economic returns. *Water*, 9(1), 50.
- Erdal, G. Esengun, K. Erdal, H. & Gunduz, O. (2007). Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*, 32, 35–41.
- Ghasemi-Mobtaker, H. Akram, A. & 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. & Akram, A. (2010). Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 137, 367–372.
- Hülsbergen, K. J. Feil, B. Biermann, S. Rathke, G. W. Kalk, W. D. & Diepenbrock, W. (2001). A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 86, 303–321.
- Khan, S. Khan, M. A. Hanjra, M. A. & Mub, J. (2009). Pathways to reduce the environmental footprints of water and energy inputs in food production.



- Food policy*, 34, 141–149.
- Kitani, O. (1999). CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Vol. 5., Energy and Biomass Engineering. ASAE publication, St Joseph, MI.
- Kizilaslan, H. (2009). Input–output energy analysis of cherries production in Tokat province of Turkey. *Applied Energy*, 86, 1354–1358.
- Lal, R. (2004). Carbon emission from farm operations. *Environment International*, 30(7), 981–990.
- Mohammadi, A. & Omid, M. (2010). Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. *Applied Energy*, 87, 191–196.
- Mohammadi, A. Rafiee, S. Jafari, A. Keyhani, A. Mousavi-Avval, S. H. & Nonhebel, S. (2014). Energy use efficiency and greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 724–733.
- Mousavi-Avval, S. H. Rafiee, S. Jafari, A. & Mohammadi, A. (2011). Energy flow modeling and sensitivity analysis of inputs for canola production in Iran. *Journal of Cleaner Production*, 19, 1464–1470.
- Nabavi-Pelesaraei, A. Hosseinzadeh-Bandbafha, H. Qasemi-Kordkheili, P. Kouchaki-Penchah, H. & Riahi-Dorcheh, F. (2016). Applying optimization techniques to improve of energy efficiency and GHG (greenhouse gas) emissions of wheat production. *Energy*, 103, 672–678.
- Nabavi-Pelesaraei, A. Rafiee, S. Mohtasebi, S. S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H. & Chau, K. (2017). Energy consumption enhancement and environmental life cycle assessment in paddy production using optimization techniques. *Journal of Cleaner Production*, 162, 571–586.
- Nasseri, A. (2019). Energy use and economic analysis for wheat production by conservation tillage along with sprinkler irrigation. *Science of the Total Environment*, 648, 450–459.
- Pagani, M. Johnson, T.G. & Vittuari, M. (2017). Energy input in conventional and organic paddy rice production in Missouri and Italy: a comparative case study. *Journal of Environmental Management*, 188, 173–182.
- Pahlavan, R. Omid, M. Rafiee, S. & Mousavi-Avval, S. H. (2012). Optimization of energy consumption for rose production in Iran. *Energy for Sustainable Development*, 16 (2), 236–241.
- Panwar, N. L. Kaushik, S. C. & Kothari, S. (2011). Solar greenhouse an option for renewable and sustainable farming. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 3934–3945.
- Tabatabaeefar, A. Emamzadeh, H. Ghasemi Varnamkhasti, M. Rahimizadeh, R. & Karimi, M. (2009). Comparison of energy of tillage systems in wheat production. *Energy*, 34, 41–45.
- Tarjuelo, J. M. Rodriguez-Diaz, J. A. Abadía, R. Camacho, E. Rocamora, C. & Moreno, M. A. (2015). Efficient water and energy use in irrigation modernization: lessons from Spanish case studies. *Agricultural Water Management*, 162, 67–77.
- Zangeneh, M. Omid, M. & 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.