تحلیل مقایسه‌ای بهره‌وری انرژی و راندمان کاربرد آب در سامانه‌های آبیاری تحت فشار و سطحی مطالعه موردی: تولید گندم در شهرستان اهواز

ندا بهرامی بوانی[1*]، هوشنگ بهرامی[2]، نیما نصیریان[3]، امیر سلطانی محمدی[4]

تاریخ دریافت: 92/07/28 تاریخ پذیرش: 93/08/24

1-دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

2-دانشیار گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

3-استادیار گروه مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر

4-استادیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

*مسئول مکاتبه: Email: neda.bahrami5@gmail.com

چکیده

این مطالعه به منظور بررسی بهره‌وری انرژی و آب در سه مزرعه با مساحت 42 هکتار که دارای سامانه آبیاری تحت فشار بارانی و دو مزرعه دیگر با مساحت‌های 33 و 45 هکتار مجهز به سامانه آبیاری سطحی از نوع کرتی در منطقه شمال اهواز در سال زراعی 92-91 انجام شد. بخشی از داده‌ها با استفاده از پرسشنامه و مصاحبه حضوری و بخش دیگر از طریق داده‌برداری عملی از مزارع بدست آمده است. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که بالاترین میزان مصرف انرژی مربوط به عملیات آبیاری بوده که در مزرعه سامانه آبیاری بارانی به میزان 15334/24 مگاژول بر هکتار معادل 33 درصد، در مزرعه 33 هکتاری سامانه آبیاری سطحی به میزان 17544/18 مگاژول بر هکتار معادل 36 درصد و در مزرعه 45 هکتاری سامانه آبیاری سطحی به میزان 19089/83 مگاژول بر هکتار معادل 35 درصد را به خود اختصاص داده است. شاخص‌های بهره‌وری آب، بهره‌وری جزئی انرژی و راندمان کاربرد آب در مزرعه سامانه آبیاری بارانی به ترتیب برابر با 0/665 کیلوگرم بر متر مکعب، 2/45 کیلوگرم بر کیلووات ساعت و 2857/14 مترمکعب بر هکتار می‌باشند. این شاخص‌ها برای سامانه آبیاری سطحی در مزرعه 33 هکتاری به ترتیب برابر با 0/22 کیلوگرم بر مترمکعب، 4/76 کیلوگرم بر کیلووات ساعت و 10091 مترمکعب بر هکتار و در مزرعه 45 هکتاری به ترتیب برابر با 0/28 کیلوگرم برمترمکعب، 2/88 کیلوگرم بر کیلووات ساعت و 7750 مترمکعب بر هکتار برآورد گردید.

واژه‌های کلیدی: اهواز، بهره‌وری انرژی، راندمان کاربرد آب، سامانه آبیاری بارانی، سامانه آبیاری سطحی، گندم

A Comparative Analysis of Energy Productivity and Water Application Efficiency in Sprinkler and Surface Irrigation Systems Case Study: Wheat Production in Ahwaz

Neda Bahrami Bavani[1*], Houshang Bahrami[2], Nima Nasirian[3], Amir Soltani Mohammadi[4]

Receieved: October 20, 2013 Accepted: November 15, 2014

1-MSc Student, Dept. of Mechanics of Agricultural Machinery and Mechanization, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Golestan Blvd, Ahvaz, Iran.
2- Assoc. Prof., Dept. of Mechanics of Agricultural Machinery and Mechanization, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Golestan Blvd, Ahvaz, Iran.
3- Assoc. Prof., Dept. of Agricultural Mechanization, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University of Shoushtar, Iran.
4- Assoc. Prof., Dept of Irrigation and drainage, Faculty of Water Science Engineering. Shahid Chamran University of Ahvaz, Golestan Blvd, Ahvaz, Iran.
*Corresponding Author: neda.bahrami5@gmail.com

Abstract

This study investigates energy productivity and water use efficiency in three separate farms, 42 hectare area equipped with sprinkler irrigation system, 33 and 45 hectare areas armed with surface irrigation system, in Ahwaz area through a 1-year period from 1391. Data were collected using face-to-face surveys from the farmers and practical operation examination in the farms. The results indicated the highest proportion of energy consumption was related to the operation of irrigation system. This energy was 15334.24 $MJ.ha^{-1}$ equivalents to 33.24% for farm with sprinkler irrigation, 17544.18 $MJ.ha^{-1}$ equivalents to 36.29% for the 33-hectare area, and 19089.83 $MJ.ha^{-1}$ equivalents to 35.21% for 45-hectare area, respectively. The water productivity, partial energy productivity and water application efficiency were 0.665 $kg.m^{-3}$, 2.45 $kg.kWh^{-1}$ and 2857.14 $m^3.ha^{-1}$ in sprinkler irrigation system, respectively. In addition, the mentioned water and energy indexes for 33 and 45 hectare areas which were equipped with surface irrigation system were 0.22 $kg.m^{-3}$, 4.76 $kg.kWh^{-1}$, 10091 $m^3.ha^{-1}$ and 0.28 $kg.m^{-3}$, 2.88 $kg.kWh^{-1}$ and 7750 $m^3.ha^{-1}$ respectively.

Keywords: Ahwaz, Energy Productivity, Sprinkler Irrigation System, Surface Irrigation System, Water Application Efficiency, Wheat

مقدمه

انرژی یکی از مهمترین عوامل ضروری برای توسعه کشور می‌باشد. از طرف دیگر مصرف انرژی منجر به کاهش و در نهایت اتمام منابع انرژی می‌شود. به طور کلی مصرف انرژی طی دو دهه گذشته تابع عواملی از قبیل رشد اقتصادی، رشد جمعیت و

شهرنشینی، پایین بودن قیمت نسبی انرژی، توسعه صنایع انرژی‌بر و دیگر موارد بوده است. اهمیت روز افزون منابع انرژی در شکل‌گیری و رشد فرایندهای اقتصادی و همچنین ضرورت بهره‌برداری از این منابع بر پایه ملاحظات زیست‌محیطی و توسعه پایدار اقتصادی و اجتماعی، موضوع مدیریت در مصرف انرژی را به عنوان مسأله مهم در بخش انرژی در دنیا مطرح می‌کند (سان 2000). با توجه به بحران انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی تمام تلاش‌ها بر آن است که مصرف انرژی تا حد امکان کاهش یابد. بخش کشاورزی نیز از این موضوع مستثنی نیست. اکثر کشورهای پیشرفته و در حال توسعه، انرژی وارد شده در واحد سطح برای تولید محصولات مختلف کشاورزی را بررسی و با محاسبه شاخص کارایی انرژی سعی کرده‌اند سیستم کشاورزی خود را از نظر مصرف انرژی بهینه کنند (نصیریان و همکاران 1385). مطالعات مختلف نشان داده‌اند که طی پنج دهه اخیر مصرف انرژی در کشاورزی افزایش پیدا کرده و کشاورزی مدرن در زمینه انرژی بسیار پرمصرف شده است. بیشتر انرژی مصرفی برای تولید محصولات کشاورزی بدلیل استفاده از نهاده‌هایی مانند ماشین‌آلات، سوخت‌های فسیلی، کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها است که استفاده نامناسب از این نهاده‌ها ضمن پایین آوردن کارآیی مصرف انرژی در تولید، باعث ایجاد مشکلاتی برای سلامتی انسان و محیط‌زیست نیز می‌شود (احمدی و آقاعلیخانی 1390). خوشبختانه در سال‌های اخیر روند مطالعه بر روی سیر مصرف انرژی در کشاورزی رشد چشمگیری داشته است و همگی به اتفاق مصرف عمده انرژی در مرحله داشت را به عملیات آبیاری، کودهای شیمیایی و سوخت‌های فسیلی اختصاص داده‌اند (احسانی و خالدی 1382). با بررسی و مطالعه انرژی در کشت نیشکر در کشت و صنعت دعبل خزایی، پس از ارزیابی سهم عوامل مصرف کننده انرژی، سهم تأمین انرژی الکتریکی برای عملیات استحصال پمپاژ و سامانه آبیاری هیدروفلوم 43 درصد از کل انرژی مصرفی تعیین شد (کریمی و همکاران 2008). ازآن رو که آب به عنوان منبع و سرچشمه حیات یکی از اصلی‌ترین عوامل رشد و توسعه در جوامع بشری و همچنین توزیع گونه‌های گیاهی در سطح زمین به شمار می‌آید. از سوی دیگر بخش کشاورزی که تأمین کننده اصلی غذا است، کاملاً وابسته به منابع آبی می‌باشد. به طوری که بیشترین میزان مصرف آب در جهان (حدود 75 درصد) به بخش کشاورزی اختصاص یافته است که این رقم در کشورهای در حال توسعه به بیش از90 درصد می‌رسد. اما متأسفانه باید گفت که به دلیل رواج شیوه‌های آبیاری سنتی درکشور که از راندمان پایینی برخوردارند، عملاً بیش از 75 درصد آب مصرفی در بخش کشاورزی به هدر رفته و نقش مؤثری در تولید محصول ایفا نمی‌نماید (احسانی و خالدی 1382). استفاده از سامانه‌های آبیاری مدرن به جای سامانه‌های سنتی می‌تواند به عنوان گامی مؤثر در صرفه‌جویی آب و هم‌چنین مدیریت انرژی برای استحصال، آبرسانی و آبیاری محسوب شود. با توجه به محدودیت منابع آب کشاورزی و بحران شدید آبی در ایران، برای صرفه‌جویی در مصرف آب، رویکرد به سمت سامانه‌های آبیاری تحت فشار می‌باشد (نی ریزی 1378). بنابراین روند استفاده از روش‌های جدید و علمی مدیریت و بهره‌وری آب در کشاورزی می‌بایست برای کمبود آب در آینده و به منظور صرفه‌جویی در انرژی گسترش یابند. افزایش بهره‌وری از آب اصولاً از دو طریق امکان‌پذیر است 1) به ازای ثابت نگاه داشتن میزان تولید محصول در سطح کنونی و کاهش آب مصرفی و 2) افزایش عملکرد به ازای واحد آب مصرفی، بدین معنی که با حفظ منابع آبی موجود میزان محصول تولیدی را افزایش دهیم (زوارت و باستیانسن 2000).

مطالعات متعددی در زمینه بررسی سیر مصرف انرژی محصولات زراعی صورت گرفته است. در این بخش به چند نمونه از مطالعات داخلی و خارجی اشاره خواهیم کرد. کریمی وهمکاران (2008) با بررسی و مطالعه انرژی در کشت نیشکر در کشت و صنعت دعبل

خزایی توانستند سهم عوامل مصرف کننده انرژی را ارزیابی کنند. در این تحقیق با ممیزی انرژی در تولید محصول، سهم انرژی عملیات آبیاری 43 درصد از کل انرژی مصرفی به منظور تأمین انرژی الکتریکی پمپاژ آب در سامانه آبیاری هیدروفلوم برآورد گردیده است. در همین راستا بهشتی تبار و همکاران (2010) نیز طی مطالعه‌ای میزان مصرف انرژی درحوضه زراعی کشور ایران را تعیین کرده که عملیات آبیاری با 13800 مگاژول بر هکتار، 40 درصد از کل انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده است. جکسون و همکاران (2010) به بررسی و تحلیل مقایسه‌ای کاربرد آب و مصرف انرژی در سطح مزرعه در دو منطقه آبیاری در استرالیا، در منطقه نیوسالت ولز با منبع تأمین آب، آب‌های سطحی و در منطقه استرالیای جنوبی، آب‌های زیرزمینی پرداختند. در این تحقیق بیان شد که اکثر سیاست‌های دولت، برای کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی، تبدیل آبیاری سطحی به آبیاری تحت فشار می‌باشد. پتانسیل کاهش مصرف انرژی به سبب افزایش کارایی مصرف آب وجود دارد، در نهایت به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی و آب در مناطقی که نیاز به استخراج آب از آب‌های زیرزمینی می‌باشد، استفاده از سامانه آبیاری تحت فشار توصیه گردید، در حالی که آبیاری سطحی، همراه با مدیریت خوب، در مناطقی با منبع تأمین آب، آب‌های سطحی، یک روش مؤثر می‌باشد. توپاک و همکاران (2010) در تحقیقی مصرف انرژی رژیم‌های مختلف آبیاری در تولید چغندرقند در منطقه نیمه خشک ترکیه را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه سه سطح آبیاری قطره‌ای، شامل دو تیمار کم آبیاری 75 و 50 درصد آبیاری کامل در مقایسه با یک تیمار آبیاری کامل بررسی شد. میزان عملکرد ریشه، عملکرد انرژی خالص[1]، کارایی تولید انرژی[2] و کارایی مصرف انرژی آب[3] و سهم انرژی آبیاری تحت تیمارهای مختلف نیز محاسبه شد. نتایج نشان داد که مصرف انرژی آبیاری حدود 60 درصد از کل انرژی ورودی در تولید چغندرقند، تحت تیمار آبیاری کامل و کم آبیاری را به خود اختصاص داده است. چغندرقند دارای بیش‌ترین مقدار بهره‌وری انرژی به میزان 6/29 تحت تیمار کم آبیاری جزئی (75 درصد) بود که نشان می‌دهد روش کم آبیاری جزئی در تولید چغندرقند می‌تواند کاربرد داشته باشد. در عمل، روش کم آبیاری باعث کاهش آب آبیاری تا میزان 25 درصد در مقایسه با آبیاری کامل شد. آهامد و همکاران (2006) در تحقیقی به منظور ارزیابی وضعیت انرژی در بنگلادش مقدار انرژی مورد استفاده، انرژی مورد نیاز و کمبود انرژی 5 روش آبیاری مختلف در دو فصل برداشت را مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور از روش سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده و سپس با استفاده از این مدل نقشه انرژی ارائه شد. روش سیستم اطلاعات جغرافیایی نسبتا سریع و آسان برای دستیابی به اطلاعات و استفاده از نقشه‌های خاص و داده‌های عددی می‌باشد. این مطالعه دو هدف عمده را بررسی نمود: اول انتخاب تکنولوژی مناسب برای سامانه آبیاری و دوم بررسی انرژی هر کدام از تکنولوژی‌های آبیاری. با استفاده از مدل چند لایه‌ای نقشه مکانی مقدار انرژی مورد استفاده، انرژی مورد نیاز و کمبود انرژی در مناطق مورد نظر نمایش داده شد.

شهرستان اهواز، مرکز استان خوزستان با مساحتی معادل 200 کیلومتر مربع در جنوب غربی ایران واقع شده است. این استان به دلیل دارا بودن خاک حاصلخیز و منابع آبی نظیر رودخانه کرخه و کارون مقام دوم کشوری را از نظر تولید محصول گندم به خود اختصاص داده است. در منطقه مورد مطالعه این تحقیق، منبع تامین آب، رودخانه کرخه بوده و هدف از انتخاب این منطقه بحران خشکسالی اخیر آب این رودخانه با استناد به گزارشات اعلام شده از سازمان آب و برق استان خوزستان و جهاد کشاورزی شهرستان اهواز می‌باشد. بنا به این مهم، در این مطالعه تلاش گردید، سامانه‌های آبیاری مختلف تولید گندم در این منطقه از

[1] Net Energy Yield
[2] Efficiency of Energy Production
[3] Energy Water Use Efficiency

لحاظ میزان مصرف آب و مصرف انرژی مورد بررسی و مقایسه قرار گیرند.

با توجه به تحقیقات انجام شده در ایران و دنیا و همچنین نیاز به بررسی سیر مصرف انرژی و تعیین سهم انرژی هر عملیات کشاورزی از کل انرژی مصرفی، این مطالعه به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات مربوط به کشت گندم در منطقه شمال اهواز انجام گردید. این تحقیق اهداف زیر را دنبال می‌کند:

1-بررسی سیر مصرف انرژی و آب در تولید محصول گندم.

2-مقایسه راندمان کاربرد آب و بهره‌وری انرژی در سامانه‌های آبیاری بارانی و کرتی.

مواد و روش‌ها

عملیات مزرعه‌ای مربوط به این پژوهش، در سال زراعی 1392-1391و در سه مزرعه محصول گندم یکی 42 هکتار مجهز به سامانه آبیاری تحت فشار بارانی از نوع کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک و دو مزرعه 33 و 45 هکتاری با سامانه آبیاری سطحی از نوع کرتی با منبع تأمین آب کانال کوثر متصل به رودخانه کرخه در منطقه شمال شهرستان اهواز به انجام رسید. منطقه مورد مطالعه با توجه به خشکسالی اخیر رودخانه کرخه از اراضی تحت پوشش این حوضه انتخاب شده است. در هر مزرعه مورد مطالعه، دوره کشت گندم زمستانه حدوداً 7-6 ماه و تمامی عملیات کشاورزی، در مراحل تهیه زمین، کاشت و برداشت یکسان بود و تفاوت در مزارع در عملیات آبیاری و عملکرد محصول می‌باشد. در این تحقیق به منظور تعیین انرژی مصرفی نهاده‌های مصرفی و انرژی خروجی (عملکرد محصول)، پرسشنامه تهیه و در اختیار کشاورزان قرار گرفت. پس از تکمیل پرسشنامه‌ها از طریق مصاحبه و پرسش حضوری، داده‌های بدست آمده با در نظر گرفتن محتوای انرژی هر نهاده وارد نرم افزار اکسل شده و سپس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جدول 1 محتوای انرژی نهاده‌های مصرفی در تولید محصول گندم را نشان می‌دهد. انرژی ورودی به صورت انرژی مستقیم و غیرمستقیم در نظر گرفته می‌شود که انرژی مستقیم شامل انرژی‌های نیروی انسانی، سوخت، آبیاری (الکتریسیته) و آب و انرژی غیرمستقیم شامل انرژی‌های بذر، کودهای شیمیایی، سموم، ادوات و ماشین‌ها و آبیاری (شامل انرژی پمپ، تجهیزات، تأسیسات آبیاری و مواد مصرفی ساخت کانال و لوله) می‌باشد (خان و همکاران 2009). برای محاسبه انرژی ورودی نهاده‌های مصرفی، میزان مصرف هر نهاده در هکتار در محتوای انرژی آن نهاده ضرب می‌شود. برای انرژی ماشین وادوات لازم است جرم ماشین‌ها، عمر مفید آن‌ها، ساعات استفاده از هر کدام و نیز سطح متوسطی را که طی عمر، روی آن کار می‌کند در دسترس باشد. سپس با استفاده از رابطه 1، انرژی مربوط به ساخت و استهلاک ماشین‌ها محاسبه می‌گردد (سینگ 2002).

$$M_{pe} = \frac{GM_pT}{AW} \qquad [1]$$

که در این رابطه:

M_{pe}: انرژی ساخت و استهلاک بر حسب مگاژول بر هکتار

G: جرم ماشین بر حسب کیلوگرم

M_p: انرژی ساخت بر حسب مگاژول بر کیلوگرم

T: ساعت کارکرد

W: عمر اقتصادی ماشین بر حسب ساعت

A: سطح کارکرد بر حسب هکتار

محاسبه شاخص‌های انرژی

بهره‌وری انرژی[1]

بهره‌وری انرژی شاخصی است که نشان می‌دهد به ازای هر واحد انرژی مصرف شده چه مقدار محصول تولید شده است (ازکان و همکاران 2004).

$$Energy\ productivity = \frac{Grain\ yield(kg)}{Total\ energy\ input\ (MJ)} \qquad [2]$$

[1] Energy Productivity

جدول 1- محتوای انرژی نهاده‌های مورد استفاده در تولید محصول گندم

نهاده (واحد)	محتوای انرژی (مگاژول بر واحد نهاده)	منبع
سوخت دیزل (لیتر)	47/80	(کیتانی 1999)
نیروی انسانی (نفر ساعت)	1/96	(سینگ 2002)
تراکتور و ماشین های خودگردان (کیلوگرم)	93/61	(کاناکچی و همکاران 2005)
ادوات (کیلوگرم)	62/7	(سینگ 2002)
الکتروموتور (کیلوگرم)	64/8	(سینگ 2002)
کود ازته (کیلوگرم)	60/60	(سینگ 2002)
کود فسفاته (کیلوگرم)	11/10	(سینگ 2002)
قارچ کش (کیلوگرم)	216	(اردال و همکاران 2007)
علف کش (لیتر)	199	(اسنگان و همکاران 2007)
الکتریسته (کیلووات ساعت)	3/6	(ازکان و همکاران 2004)
آب آبیاری (مترمکعب)	1/02	(آکاروغلو و آکسای 2005)
بذر گندم (کیلوگرم)	25	(ازکان و همکاران 2004)
محصول گندم (کیلوگرم)	14/7	(ازکان و همکاران 2004)
لوله پلی اتیلن شعاع 50 میلی متر (متر طول)	13/5	(گوژمن و آلونسو 2008)
لوله پلی اتیلن شعاع 16 میلی متر (متر طول)	3/9	(گوژمن و آلونسو 2008)
بتون (مترمکعب)	1963/82	(بی‌نام 1381)

بهره‌وری جزئی انرژی

نشان دهنده میزان ماده تولیدی گیاه به ازای واحد انرژی مصرفی آبیاری می‌باشد (خان و همکاران 2009).

$$Partial\ energy\ productivity = \frac{Grain\ yield\ (kg)}{Total\ energy\ input\ (kWh)} \quad [3]$$

محاسبه شاخص‌های آب

بهره‌وری آب[1]

این شاخص رابطه کمی بین رشد (عملکرد) گیاه و میزان آب آبیاری مصرفی را نشان می‌دهد و براساس رابطه 4 بیان کننده میزان ماده تولیدی گیاه به ازای واحد آب مصرفی آبیاری است (خان و همکاران 2009).

$$Water\ productivity = \frac{Grain\ yield\ (kg)}{water\ applied\ (m^3)} \quad [4]$$

کاربرد آب[2]

این شاخص بیان کننده میزان آب تأمین شده برای محصول موردنظر در واحد هکتار می‌باشد که برای مقایسه میزان آب مصرفی در سامانه‌های آبیاری و مقدار تلفات آن سامانه کاربرد دارد (سوتوگارسیو و همکاران 2013).

$$Water\ application = \frac{water\ applied\ (m^3)}{Irrigated\ area\ (ha)} \quad [5]$$

نتایج و بحث

در این قسمت با توجه به میزان مصرف هر یک از نهاده‌های ورودی در تولید محصول گندم و همچنین میزان عملکرد این محصول، با استفاده از جدول 1، سهم انرژی هر یک از نهاده‌ها، میزان انرژی خروجی و

1- Water Productivity

2- Water Application

شاخص‌های انرژی محاسبه گردید. در هر سه مزرعه مورد مطالعه تمامی عملیات کشاورزی، شامل مراحل تهیه زمین، کاشت و برداشت یکسان می‌باشد، بنابراین در بررسی سیر مصرف انرژی، با توجه به تفاوت مزارع در بخش آبیاری و عملکرد محصول در جدول 2 انرژی مصرفی تمامی نهاده‌های ورودی هر سه مزرعه، بدون احتساب بخش آبیاری ملاحظه می‌شود. جدول انرژی مصرفی آبیاری و عملکرد محصول در مزارع به صورت جداگانه بدست آمده است.

جدول 2- انرژی مصرفی برای تولید محصول گندم

نهاده (واحد)	میزان مصرف در هکتار	انرژی معادل (مگاژول بر هکتار)
	ورودی ها	
انرژی مستقیم		
نیروی انسانی(نفر ساعت)	15/35	30/09
سوخت (لیتر)	242	11567/6
انرژی غیرمستقیم		
ادوات و ماشین ها (کیلوگرم)	-	857/6
کود ازته (کیلوگرم)	300	8362/8
کود فسفاته (کیلوگرم)	150	3483/9
قارچ کش (کیلوگرم)	0/3	64/8
علف کش (لیتر)	1	199
بذر (کیلوگرم)	250	6250
انرژی ورودی	-	30815/79

سیر انرژی مصرفی آبیاری

انرژی مصرفی آبیاری به صورت کاملاً تفکیک شده و همچنین میزان عملکرد محصول در هر مزرعه، در جدول 3 مشخص شده است. میزان انرژی مصرفی سامانه آبیاری تحت فشار برای تولید محصول گندم 15334/24 مگاژول بر هکتار می‌باشد که سهم عمده میزان مصرف انرژی را نهاده الکتریسیسته با میزان 9286 مگاژول بر هکتار به دلیل استفاده از پمپ فشار قوی به منظور انتقال آب از حوضچه تا سر آبپاش توسط لوله‌های تحت فشار و تأمین فشار مورد نیاز کارکرد آبپاش‌ها به خود اختصاص داده است. انرژی غیرمستقیم در این سامانه شامل انرژی ساخت و تولید تجهیزات سامانه از قبیل انرژی لوله‌گذاری و متعلقات، پمپ، الکتروموتور، ساخت حوضچه وغیره بوده که میزان آن 3066/76 مگاژول بر هکتار که در حدود 19 درصد انرژی مستقیم برآورد گردیده است. کل میزان انرژی مصرفی برای تولید گندم در این سامانه 46150/03 مگاژول بر هکتار و انرژی خروجی کل نیز 27930 مگاژول بر هکتار برآورد گردید. توپاک و همکاران (2010) در بررسی انرژی سامانه آبیاری تحت فشار در تولید چغندرقند، میزان مصرف انرژی را برای تولید محصول چغندرقند برابر با 52730 مگاژول برهکتار و انرژی مصرفی سامانه آبیاری را 12671 مگاژول برهکتار گزارش کردند، تفاوت در نوع محصول و نیاز آبی آن تفاوت در مقادیر این تحقیق با مطالعه حاضر را توجیه می‌کند.

در مزارع سامانه آبیاری سطحی، مزرعه 33 هکتاری بیشترین سهم انرژی مصرفی آبیاری را نهاده

آب با میزان 10292/7 مگاژول بر هکتار و در مزرعه 45 هکتاری نهاده الکتریسیته با میزان 9200 مگاژول بر هکتار به خود اختصاص داده است. دلیل اختلاف در میزان نهاده الکتریسیته در دو سامانه آبیاری سطحی تفاوت در نوع پمپ و الکتروموتور آن‌ها می‌باشد. میزان آب مصرفی در مزرعه 33 هکتاری نسبت به مزرعه 45 هکتاری به دلیل وجود کانال خاکی سنتی در مسیر انتقال آب و با توجه به راندمان انتقال کانال‌های خاکی و از دسترس خارج شدن آب توسط نفوذ عمقی آب در خاک در مسیر انتقال آب، بیشتر می‌باشد.

جدول 3- انرژی مصرفی در سامانه‌های آبیاری

نهاده (واحد)	میزان مصرف در هکتار			انرژی معادل (مگاژول بر هکتار)		
	آبیاری بارانی	آبیاری کرتی		آبیاری بارانی	آبیاری کرتی	
	42 هکتار	33 هکتار	45 هکتار	42 هکتار	33 هکتار	45 هکتار
	ورودی ها					
نیروی انسانی (نفر ساعت)	34/3	40/7	21/3	67/2	79/83	41/81
الکتریسیته (کیلووات ساعت)	773/81	462/42	766/66	9286	5549	9200
آب (مترمکعب)	2857/14	10091	7750	2914/28	10292/7	7905
انرژی مستقیم	-	-	-	12267/48	15921/53	17146/81
انرژی غیرمستقیم	-	-	-	3066/76	1622/65	1943/02
انرژی آبیاری	-	-	-	15334/24	17544/18	19089/83
انرژی ورودی کل	-	-	-	46150/03	48359/97	49905/62
	خروجی					
محصول (کیلوگرم)	1900	2200		27930	32340	

انرژی غیرمستقیم در مزرعه 45 هکتاری به میزان 1943/02 مگاژول بر هکتار و در دیگری به میزان 1622/65 مگاژول بر هکتار می‌باشد. انرژی مصرفی آبیاری مزرعه 33 هکتاری به میزان 17544/18 مگاژول بر هکتار و در مزرعه 45 هکتاری به میزان 19089/83 مگاژول بر هکتار می‌باشد. کل انرژی مصرفی برای تولید گندم در مزرعه 33 هکتاری به میزان 48359/97 مگاژول بر هکتار و در مزرعه 45 هکتاری 49905/62 مگاژول بر هکتار و انرژی خروجی کل نیز برای این محصول در هر دو مرزعه 32340 مگاژول بر هکتار برآورد گردید. قربانی و همکاران (2011) در بررسی محصول گندم در مزرعه سامانه آبیاری سطحی، میزان مصرف انرژی را برای تولید محصول گندم برابر با 45367/63 مگاژول بر هکتار گزارش کردند. میزان آب مصرفی برابر با 6000 مترمکعب در هکتار محاسبه شد، که مصرف آب کم‌تر به دلیل تفاوت در راندمان انتقال آب این مزرعه در مقایسه با مطالعه حاضر می‌باشد. بیش‌ترین سهم مصرف انرژی در تولید محصول گندم، مربوط به عملیات آبیاری بوده که سهم این میزان در مزرعه سامانه آبیاری بارانی 33 درصد، مزرعه 33 هکتاری 36 درصد و مزرعه 45 هکتاری 35 درصد از کل انرژی مصرفی می‌باشد. در نتایج به دست آمده از طرح تحقیقاتی بهشتی‌تبار و همکاران (2010)، در بررسی مصرف انرژی چند محصول زراعی در مزارع آبیاری سطحی در ایران، به طور متوسط عملیات آبیاری با 13800 مگاژول بر هکتار،

40 درصد از کل انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده است.

محاسبه شاخص‌های انرژی و آب

بهره‌وری انرژی مزرعه سامانه تحت فشار براساس جدول 4 معادل 0/041 کیلوگرم بر مگاژول، مزرعه سطحی 33 هکتاری معادل 0/045 کیلوگرم بر مگاژول و برای مزرعه سطحی 45 هکتاری معادل 0/044 کیلوگرم بر مگاژول می‌باشد که نشان دهنده میزان عملکرد محصول به ازای هر یک واحد انرژی مصرف شده می‌باشد. در مورد این محصول به دلیل عدم تعادل بین انرژی نهاده و انرژی ستانده، می‌بایست ضمن مدیریت صحیح در مصرف انرژی و کاهش تلفات، در جهت بالابردن تولید محصول در واحد سطح تلاش شود. بهره‌وری جزئی انرژی در مزرعه سامانه آبیاری تحت فشار برابر با 2/45 کیلوگرم بر کیلووات ساعت، مزرعه سامانه آبیاری سطحی 33 هکتاری برابر 4/76 کیلوگرم بر کیلووات ساعت و در مزرعه 45 هکتاری برابر با 2/88 کیلوگرم بر کیلووات ساعت است، که این شاخص بیان کننده میزان عملکرد محصول به ازای انرژی مصرفی پمپ می‌باشد. در سامانه آبیاری تحت فشار به دلیل استفاده از پمپ و الکتروموتور فشار قوی به منظور تأمین فشار مورد نیاز کارکرد آبپاش‌ها، بهره‌وری جزئی انرژی پایین‌تر نسبت به مزارع سامانه آبیاری سطحی دارد. در مزرعه سامانه آبیاری سطحی 45 هکتاری به دلیل مسافت زیاد تا ایستگاه پمپاژ و تأمین فشار پمپاژ آب در مسیرانتقال لوله‌گذاری، از پمپ و الکتروموتور با توان مصرفی بالاتر استفاده می‌شود بنابراین باعث کاهش بهره‌وری جزئی انرژی نسبت به مزرعه 33 هکتاری شده است. بهره‌وری آب در مزرعه سامانه آبیاری تحت فشار برابر با 0/665 کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. نتایج حاصل از این شاخص نشان می‌دهد، با وجود عملکرد پایین‌تر مزرعه تحت فشار به دلیل خرابی سامانه آبیاری بارانی و به تعویق افتادن دور اول آبیاری، در مقایسه با مزارع سامانه آبیاری سطحی با توجه به میزان آب مصرفی کمتر، بهره‌وری آب بالاتری دارد. شاخص راندمان کاربرد آب در مزرعه آبیاری تحت فشار 2857/14 مترمکعب بر هکتار، مزرعه 33 هکتاری برابر با 10091 مترمکعب بر هکتار و مزرعه 45 هکتاری 7750 مترمکعب بر هکتار محاسبه شده است. تلفات آب نسبت به مزرعه آبیاری تحت فشار در مزرعه 33 هکتاری برابر با 72 درصد و در مزرعه 45 هکتاری برابر با 63 درصد برآورد می‌گردد. براساس گزارشات اعلام شده از سازمان آب و برق استان خوزستان و جهاد کشاورزی شهرستان اهواز، مبنی بر بحران خشکسالی آب رودخانه کرخه، در سال زراعی 1392-1391 اجازه کشت 36 درصد از مزارع تحت پوشش این حوضه داده شده است (بی‌نام 1390) بنابراین با توجه به شاخص کاربرد آب، استفاده از آبیاری بارانی باعث صرفه‌جویی 60 درصدی در مصرف آب نسبت به سامانه آبیاری سطحی می‌شود، بدین‌طریق با استفاده از سامانه آبیاری بارانی در این منطقه امکان بالابردن سطح زیر کشت، بدون مشکلات کم آبی می‌باشد. با این میزان صرفه‌جویی در مصرف آب می‌توان 60 درصد از اراضی را زیر کشت محصول قرار داد. در تحقیقی مشابه، خان و همکاران (2009) در بررسی محصول گندم در سامانه آبیاری تحت فشار، شاخص کاربرد آب برابر با 2852 مترمکعب بر هکتار گزارش کردند. با توجه به میزان عملکرد محصول 4868 کیلوگرم بر هکتار، بهره‌وری آب برابر با 1/71 کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شد که به علت عملکرد بالاتر محصول نسبت به این تحقیق مغایر با میزان شاخص موجود در این مطالعه می‌باشد. بهره‌وری جزئی انرژی برابر با 1/61 کیلوگرم بر هکتار گزارش شد، که به دلیل تفاوت در انتخاب نوع پمپ، با عدد به دست آمده در این تحقیق مغایرت دارد.

جدول 4- شاخص های انرژی و آب در محصول گندم

مزارع	بهره وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)	بهره‌وری جزئی انرژی (کیلوگرم بر کیلو وات ساعت)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	کاربرد آب (مترمکعب بر هکتار)
بارانی	0/041	2/45	0/665	2857/14
سطحی 33 هکتار	0/045	4/76	0/22	10091
سطحی 45 هکتار	0/044	2/88	0/28	7750

در تحقیقی که توسط جکسون و همکاران (2010)، روی دو سامانه آبیاری سیلابی و سنترپیوت انجام شد، نتایج حاصل نشان داد جایگزینی سامانه آبیاری تحت فشار به جای آبیاری سطحی منجر به کاهش کاربرد آب به میزان 10 تا 16 درصد شد، با این جایگزینی در منطقه‌ای که منبع تأمین آب، آب‌های سطحی بود، مصرف انرژی 163 درصد افزایش یافت و در منطقه وابسته به آب‌های زیرزمینی به میزان 12 تا 44 درصد کاهش یافت. در نهایت بیان شد به منظور بهینه سازی مصرف انرژی و آب در مناطقی که نیاز به استخراج آب از آب های زیرزمینی می باشد، استفاده از سامانه آبیاری تحت فشار توصیه می‌شود، در حالی که آبیاری سطحی، همراه با مدیریت خوب، در مناطقی با منبع تأمین آب، آب‌های سطحی، یک روش مؤثر می‌باشد.

با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه، درصورتی که در سامانه آبیاری سطحی، پمپ و الکتروموتور به درستی و با توجه با نیاز انتخاب شده و کانال انتقال آب نیز مدرن باشد، معمولاً تلفات انتقال زیاد نیست و بسته به نوع کانال، نوع بتن‌ریزی، سطح مقطع و رویش گیاه و ته‌نشینی رسوب در کانال، ممکن است به خاطر تبخیر و تراوش از کانال حدود 10 تا 20 درصد از آب از دست برود و راندمان انتقال حدود 80 تا 90 درصد شود، در این صورت استفاده از سامانه آبیاری سطحی پیشنهاد می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه با بررسی سیر مصرف انرژی و تعیین سهم انرژی هر نهاده از کل انرژی مصرفی تولید محصول گندم در سامانه‌های آبیاری سطحی از نوع کرتی و آبیاری تحت فشار بارانی در شمال شهرستان اهواز نتایج زیر حاصل شد:

بالاترین میزان مصرف انرژی در هر سه مزرعه مربوط به عملیات آبیاری بوده که در مزرعه سامانه آبیاری بارانی معادل 33 درصد، مزرعه 33 هکتاری سامانه آبیاری سطحی معادل 36 درصد و مزرعه 45 هکتاری سامانه آبیاری سطحی 35 درصد از کل انرژی ورودی تولید محصول گندم را به خود اختصاص داده است.

راندمان کاربرد آب در مزرعه آبیاری تحت فشار 2857/14 مترمکعب بر هکتار، مزرعه 33 هکتاری برابر با 10091 مترمکعب بر هکتار و مزرعه 45 هکتاری 7750 مترمکعب بر هکتار محاسبه شده است، نتایج نشان می‌دهد در سامانه آبیاری تحت فشار در صورتی که آبیاری براساس مدیریت صحیح صورت گیرد به صورت میانگین باعث کاهش 67 درصدی آب نسبت به سامانه آبیاری سطحی می‌شود.

بهره‌وری جزئی انرژی در مزرعه سامانه آبیاری تحت فشار برابر با 2/45 کیلوگرم بر کیلووات ساعت، مزرعه سامانه آبیاری سطحی 33 هکتاری برابر 4/76 کیلوگرم بر کیلووات ساعت و در مزرعه 45 هکتاری برابر با 2/88 کیلوگرم بر کیلووات ساعت است، استفاده از سامانه آبیاری تحت فشار موجب کاهش بهره‌وری جزئی انرژی نسبت به سامانه آبیاری سطحی می‌شود.

منابع مورد استفاده

احسانی م و خالدی ه، 1382. بهره وری آب کشاورزی، انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

احمدی م و آقاعلیخانی م، 1390. تجزیه و تحلیل مصرف انرژی در زراعت پنبه (*Gossypium hirsutum* L) در استان گلستان به منظور ارائه راهکار جهت افزایش بهره‌وری منابعف نشریه بوم شناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، 4(2): 158-151.

بی‌نام، 1390. آمارنامه کشاورزی استان خوزستان. سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان.

بی‌نام، 1381. انرژی مورد نیاز تولید مصالح و ساخت دو برج مسکونی در تهران با اسکلت فولادی و بتونی، شرکت ملی نفت ایران.

رحیمی زاده م، مدنی ح، رضا دوست س، مهربان ا و مرجانی ع، 1386، تجزیه و تحلیل انرژی در بوم نظام‌های کشاورزی و راه‌کارهای افزایش کارآیی انرژی، مجموعه مقالات ششمین همایش ملی انرژی، کمیته ملی انرژی جمهوری اسلامی ایران، تهران، 14.

نصیریان ن، الماسی م، مینایی س و باخدا س، 1385، سیر مصرف انرژی در تولید نیشکر در واحد کشت و صنعت جنوب اهواز، چهارمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه تبریز، 12.

نی ریزی، س. 1378. کاربرد انرژی ثقل در راهبری شبکه های آبیاری تحت فشار، هفتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، دانشگاه تهران، 9.

Acaroglu M and Semi Aksoy A, 2005. The cultivation and energy balance of *Miscanthus giganteus* production in Turkey, Biomass and Bioenergy, 29: 42–48.

Ahamed A, Takigawa T, Koike M, Hossain MM, Huq MM, and Faruk MO, 2006. Assessment of energy status for irrigation technology in Bangladesh: A GIS approach, Energy, 31: 3017–3040.

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.

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.

Erdal G, Esengun K, Erdal H and Gunduz O, 2007. Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey, Energy, 32: 35-41.

Esengun K, Gunduz O and Erdal G, 2007. Input-output energy analysis in dry apricot production of Turkey, Energy Conversion and Management, 48: 592–598.

Guzman GI and Alonso Am, 2008. A comparison of energy use in conventional and organic olive oil production in Spain, Agricultural Systems, 98: 167–176.

Karimi M, Rajabi Pour A, Tabatabaeefar A and Borghei A, 2008. Energy Analysis of Sugarcane Production in Plant Farms a Case Study in Debel Khazai Agro-industry in Iran, American-Eurasian Journal of Agricultural.& Environmental Sciences, 4 (2): 165-171.

Kitani O, 1999. Energy and Biomass Engineering. Commission Internationale du Genie Rural Handbook of Agricultural Engineering, Vol. V, ASAE.

Khan S, Khan MA, Hanjra MA and Mub J, 2009. Pathways to reduce the environmental footprints of water and energy inputs in food production, Food Policy, 34: 141–149.

Jackson TM, Khan SH and Hafeez M, 2010. A comparative analysis of water application and energy consumption at the irrigated field level, Agricultural Water Management, 97: 1477–1485.

Safa M, Samarasinghe S and Mohssen M, 2011. A field study of energy consumption in wheat production in Canterbury, New Zealand. Energy Conversion and Management, 52: 2526–2532.

Singh JM, 2002. On farm energy use pattern in differenet cropping system in Haryana, India. University of Flusbergen. In partial fulfillment of requirement for the award of degree of master of science in sustainable Energy System and Management.

Soto Garcia M, Martin Gorriz B, Garcia Bastida PA, Alcon F and Martinez Alvarez V, 2013. Energy Consumption for crop irrigation in a semiarid climate (South- Eastern Spain), Energy, 34:1-10.

Sun JW, 2000. Energy demand in the fifteen European Union countries by A Forecasting model based on the decompotion on approach, Energy 26: 594 -560.

Ozkan B, Akcaoz H and Fert C, 2004. Energy input-output energy analysis in Turkish agriculture, Renewable Energy, 29: 39–51.

Topak R, Süheri S and Acar b, 2010. Comparison of energy of irrigation regimes in sugar beet production in a semi-arid region, Energy, 35: 5464-5471.

Zwart SJ and Bastiaanssen WGM, 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize, Agricultural Water Management, 69(2): 115-133.