مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۱۶/ شماره ۳/سال ۱۳۹۴/ص ۴۴-۳۱

بررسی بهره‌وری انرژی-آب و بهره‌وری اقتصادی انرژی در سامانه‌های آبیاری بارانی و سطحی در شرایط بهره‌برداری از آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت قزوین)

زینب غلامی، حامد ابراهیمیان* و حمیده نوری**

* نگارنده مسئول: گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. ص. پ: ۴۱۱۱، تلفن: ۳۲۲۴۱۱۱۹(۰۲۶)، پیام‌نگار: ebrahimian@ut.ac.ir

** به ترتیب: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استادیاران گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۵/۳۱

چکیده

منابع آب و انرژی در دنیا محدود است و به علت بالا رفتن جمعیت و تقاضای غذا، مصرف آب و انرژی برای تولید محصولات کشاورزی نیز افزایش می‌یابد. هدف از این پژوهش مقایسهٔ بهره‌وری انرژی-آب و بهره‌وری اقتصادی انرژی در سامانه‌ها یا سیستم‌های آبیاری بارانی و سطحی در شرایط بهره‌برداری از آب زیرزمینی است. برای رسیدن به این هدف از اطلاعات و داده‌های تفصیلی سیستم‌های آبیاری و عملکرد محصولات تحت کشت این سیستم‌ها در سال ۱۳۹۰ در دشت قزوین استفاده شده است. اطلاعات مورد نیاز با مراجعهٔ حضوری به مزارع و تکمیل پرسشنامه و مطالعهٔ دفترچه‌های طراحی سیستم‌های آبیاری تحت بهره‌برداری در مزارع مورد مطالعه و سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین جمع‌آوری شده است. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، دامنهٔ بهره‌وری انرژی در آبیاری بارانی بر حسب کیلوگرم به ازای هر کیلووات ساعت در مزارع انتخابی برای گندم بین ۲/۶۲ تا ۹/۰۰، برای جو بین ۲/۰۹ تا ۷/۷۹، برای ذرت دانه‌ای بین ۱/۰۹ تا ۸/۶۴ و برای یونجه بین ۰/۳۴ تا ۳/۷۴ و در آبیاری سطحی به ترتیب بین ۲/۴۸ تا ۱۲/۰۲ برای گندم، ۱/۹۶ تا ۱۳/۶۹ برای جو، ۱/۵۲ تا ۱۵/۲۰ برای ذرت دانه‌ای و ۰/۳۵ تا ۶/۳۰ برای یونجه به دست آمده است. بهره‌وری اقتصادی انرژی در آبیاری سطحی و بارانی برای گندم بیشتر از سه محصول دیگر است. نتایج همچنین نشان می‌دهد که در حالت بهره‌برداری تلفیقی از آب زیرزمینی و کانال آبیاری، بهره‌وری انرژی در سیستم‌های آبیاری به مراتب بیشتر از بهره‌وری انرژی در حالت بهره‌برداری از آب زیرزمینی است.

واژه‌های کلیدی

انرژی، بهره‌وری اقتصادی، بهره‌وری انرژی، بهره‌برداری تلفیقی، پمپاژ

مقدمه

سفره‌های آب زیرزمینی در بسیاری از کشورها از جمله در ایران یکی از منابع مهم تأمین آب برای کشاورزی است و با توجه به کمبود منابع آب سطحی و نیز رشد سریع جمعیت و گسترش شهرنشینی، انرژی نقش مهمی در بخش کشاورزی و سیستم‌های آبیاری دارد. در واقع انرژی مؤلفه‌ای ضروری برای هر سیستم آبیاری تحت فشار است. بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی سبب افت سطح آب و در نتیجه افزایش انرژی مورد نیاز در پمپاژ آب زیرزمینی شده است. بالا بردن بهره‌وری انرژی یکی از راه‌حل‌های این چالش شناخته شده است. از این‌رو آگاهی یافتن از میزان بهره‌وری

© 2017,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

انرژی درسیستم‌های آبیاری اولین گام در جهت مدیریت و بهینه کردن استفاده از انرژی است. با توجه به رشد روز افزون جمعیت، امنیت غذایی از مسائل مهم هر کشوری است که این امر توجه بیشتر به بخش کشاورزی را طلب می‌کند. تولیدات کشاورزی و امنیت غذایی وابسته به انرژی و آب است.

پناهی و کافی (Panahi & Kafi, 2012) به ارزیابی و بهره‌وری انرژی در مزارع تولید سیب‌زمینی در استان کردستان پرداختند. نتایج تحقیقات آنها نشان می‌دهد که متوسط بهره‌وری انرژی در این مزارع ۱/۴ کیلوگرم به ازای هر کیلووات ساعت است. جکسون و همکاران (Jackson *et al.*, 2010) با بررسی مصرف انرژی در سیستم‌های آبیاری تحت فشار در مناطقی از استرالیا نشان دادند که علی رغم اینکه روش‌های آبیاری تحت فشار راهکاری برای کاهش مصرف آب در بخش آبیاری در نظر گرفته شده است، ولی این روش‌ها باعث افزایش در الگوی مصرفی انرژی می‌شود و مصرف انرژی تا حدود ۱۶۳ درصد افزایش می‌دهد. مارتین و همکاران (Martin *et al.*, 2014) با بررسی مصرف انرژی برای آبیاری محصولات در آب و هوای نیمه خشک جنوب شرقی اسپانیا به این نتیجه دست یافتند که بهره‌وری انرژی در سیستم آبیاری قطره‌ای برای کاهو، لیمو و خربزه به ترتیب برابر ۶/۰۷، ۶/۹۷ و ۵/۶۴ کیلوگرم به ازای هر کیلووات ساعت و میزان انرژی مصرفی برای این سه محصول به ترتیب ۵۰۷۵، ۵۹۳۶ و ۶۵۷۴ کیلووات ساعت به ازای هر هکتار به دست آمد. علیزاده و خلیلی (Alizadeh & Khalili, 2009) با بررسی بهره‌وری آب- انرژی در زراعت چغندر در استان خراسان رضوی گزارش داده‌اند که بهره‌وری انرژی مصرفی برای چغندر در آبیاری جویچه‌ای و تحت‌فشار به ترتیب برابر ۱/۷۵ و ۱/۵۶ کیلوگرم به ازای هر کیلووات ساعت است.

نبوی و همکاران (Nabavi *et al.*, 2013) با بررسی مصرف انرژی و تجزیه و تحلیل اقتصادی بادمجان در استان گیلان اعلام کردند که راندمان مصرف انرژی (نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی) و بهره‌وری انرژی (عملکرد محصول به انرژی مصرفی) به ترتیب برابر ۳۲/۵۰ و ۵/۵ کیلوگرم به ازای هر کیلووات ساعت است. آبادیا و همکاران (Abadia *et al.*, 2010) پس از بررسی بهره‌وری انرژی در اسپانیا گزارش داده‌اند که هزینهٔ انرژی مصرفی در آبیاری بارانی بین ۲۸۷/۷۱ تا ۵۴۳/۳۵ یورو به ازای هر هکتار (۴/۰۱ تا ۷/۵۷ میلیون ریال به ازای هکتار بر اساس متوسط قیمت یورو در سال ۱۳۸۹ (۲۰۱۰ میلادی)) و برای آبیاری سطحی ۱۰/۶۷ تا ۲۴۵/۹۸ یورو به ازای هر هکتار (۰/۱۵ تا ۳/۴۳ میلیون ریال به ازای هر هکتار براساس متوسط قیمت یورو در سال ۱۳۹۰) است. در گزارش این محققان گفته شده است که میزان انرژی مصرفی در آبیاری بارانی بین ۴۵۸۴/۲۰ تا ۶۲۲۹/۹۰ و برای آبیاری سطحی ۹۲/۳۲ تا ۱۶۱۸/۶۴ کیلووات ساعت به ازای هر هکتار است.

محدودیت منابع تأمین آب کشاورزی در کشور، لزوم توسعهٔ سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار، افزایش هزینهٔ انرژی در بخش کشاورزی در سال‌های اخیر و افزایش محتمل آن در سال‌های آینده (برنامهٔ هدفمندسازی یارانه) موجب شده است که بررسی وضعیت موجود بهره‌وری انرژی در سیستم‌های آبیاری تحت بهره‌برداری اهمیت بیشتری بیابد. بررسی بهره‌وری انرژی در تولید محصولات زراعی مختلف و سیستم‌های آبیاری مختلف می‌تواند معیاری در اولویت‌بندی کشت گیاهان زراعی و برنامهٔ توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار در هر منطقه به دست دهد. هدف از این مطالعه بررسی و مقایسهٔ شاخص‌های بهره‌وری انرژی و بهره‌وری اقتصادی انرژی در سیستم‌های آبیاری سطحی و بارانی برای محصولات عمدهٔ زراعی

(گندم، جو، یونجه و ذرت) در دشت قزوین در شرایط بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و بهره‌برداری تلفیقی از آب زیرزمینی و کانال آبیاری است.

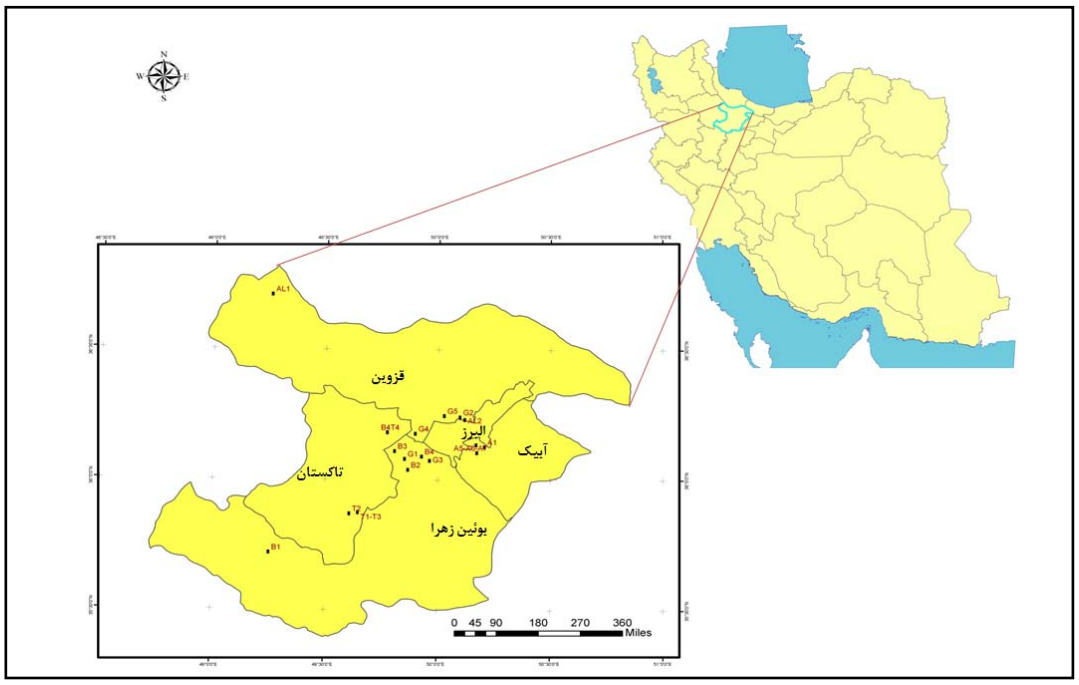
مواد و روش‌ها

این تحقیق در دشت قزوین اجرا شد که یکی از قطب‌های مهم کشاورزی در ایران است. در برخی از مناطق دشت قزوین از آب زیرزمینی به عنوان تنها منبع آب آبیاری استفاده می‌کنند و بخش دیگری از آن تحت پوشش شبکه آبیاری است. در برخی مناطق دشت قزوین با بهره‌برداری تلفیقی از آب کانال (شبکه) و چاه، زمین‌های کشاورزی را آبیاری می‌کنند. کشت عمده محصولات زراعی در این منطقه شامل گندم، جو، ذرت و یونجه است. با توجه به اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی در خصوص محصولات کشاورزی، استان قزوین به پنج شهرستان قزوین، تاکستان، آبیک، بویین‌زهرا و البرز تقسیم می‌شود و بر این اساس ۲۲ مزرعه از پنج شهرستان انتخاب شد، مشخصات و موقعیت این مزارع در (جدول ۱ و شکل ۱) نشان داده شده است. اطلاعات مورد نیاز در این مطالعه از طریق مراجعه حضوری به مزارع انتخابی و تکمیل پرسشنامه، دفترچه‌های طراحی سیستم‌های آبیاری تحت بهره‌برداری در مزارع مورد مطالعه و سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین جمع‌آوری گردید. بر اساس اطلاعات استخراج شده از تحقیق میدانی و پرسشنامه‌ای و مستندات موجود در دفترچه‌های طراحی و سازمان جهاد کشاورزی، بهره‌وری انرژی و بهره‌وری اقتصادی در هر یک از مزارع انتخابی محاسبه شد و تأثیر نوع سیستم آبیاری و محصول زراعی بر آنها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. شش مزرعه مجهز به سیستم آبیاری بارانی که به صورت تلفیقی از کانال و چاه آبیاری می‌شدند در این پژوهش در نظر گرفته شد (مزارع A2 تا A7). در شرایط استفاده از آب کانال برای آبیاری، انرژی مورد نیاز برای پمپاژ آب آبیاری از کانال برابر با صفر لحاظ شد. در این شرایط، فشار مورد نیاز برابر با فشار سیستم آبیاری در نظر گرفته شد. مصرف انرژی در این مزارع در شرایطی که از سیستم آبیاری سطحی استفاده شود نیز مورد بررسی قرار گرفت. در این شرایط، فشار مورد نیاز سیستم آبیاری برابر صفر و انرژی مورد نیاز برابر با انرژی پمپاژ آب از چاه محاسبه شد. در شرایط بهره‌برداری تلفیقی، مدت زمان کارکرد بهره‌برداری از چاه و کانال به صورت جداگانه مورد محاسبه قرار گرفت.

بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از کشاورزان، در حالت بهره‌برداری تلفیقی، کانال آبیاری نسبت به چاه نقش بیشتری دارد و از چاه در مواقعی استفاده می‌شود که آب در شبکه آبیاری وجود نداشته باشد و شرایط بحرانی باشد. کشاورز حتی المقدور سعی می‌کند از شبکه آبیاری استفاده کند تا مصرف انرژی و در نتیجه هزینه تولید به حداقل برسد. به طور میانگین، در مزارع انتخابی بیش از ۶۰ درصد حجم آب آبیاری در سراسر فصل رشد از شبکه آبیاری و کمتر از ۴۰ درصد از چاه‌ها تأمین می‌شود.

جدول ۱- مشخصات مزارع مورد مطالعه در دشت قزوین

کد مزرعه	نام کشاورز/ شرکت	نام روستا	منطقه	عمق آب زیرزمینی (متر)	مساحت (هکتار)				مساحت کل
					جو	گندم	یونجه	ذرت	
A1	عارف رحمانیان	ماجین بخش بشاریات	آبیک	۲۵	۳	۳	-	۶	۱۲
A2	کشت و صنعت شریف آباد	خاک علی	آبیک	۵۸	-	-	۷۰	۷۵	۱۴۵
A3	کشت و صنعت شریف آباد	خاک علی	آبیک	۵۸	-	-	۳۰	۳۰	۶۰
A4	کشت و صنعت شریف آباد	خاک علی	آبیک	۵۸	-	-	۱۵۰	۵۰۰	۶۵۰
A5	کشت و صنعت هزار جلفا	خاک علی	آبیک	۸۶	-	-	۵۷	-	۵۷
A6	کشت و صنعت هزار جلفا	خاک علی	آبیک	۸۶	-	۲۲	-	۲۲	۴۴
A7	کشت و صنعت هزار جلفا	خاک‌علی	آبیک	۸۶	-	-	۲۲	۲۲	۴۴
AL1	حسین طاهر خانی	کلج	قزوین	۲۰	۱	۱	۱	۱	۴
AL2	محسن جلیلوند	بیدستان	البرز	۲۳	-	۱۳	-	۱۴	۲۷
B1	فرزانه الهام اقدس رحیمی	نجف آباد	بویین زهرا	۲۳	۷/۶	۷/۶	۷/۵	۷/۵	۳۰/۲
B2	رضای اینانلو مرانلو	خادیک	بویین زهرا	۸۰	۱۲	۱۲	-	۲۴	۴۸
B3	موسی احمدی	حسن آباد	بویین زهرا	۳۰	۵/۵	۵/۵	۵/۳	۵/۵	۲۱/۸
B4	حبیب خدابنده	قمیک	بویین زهرا	۳۵	۱/۵	۱/۵	-	-	۳
G1	علی فلاح شیروانی	مهدی آباد	بویین زهرا	-	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۲
G2	تقی فلاح جعفری	جهان آباد	قزوین	-	۰/۸	۰/۸	-	۰/۸	۲/۴
G3	علی ملا زینعلی	میانچال	بویین زهرا	۴۵	-	-	۱	-	۱
G4	محمد مراد جنتی	جنت آباد اقبال	قزوین	۳۸	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۵
G5	یوسف شعبانی	اقبالیه	قزوین	۴۰	۳/۵	۳/۵	۲	۲	۱۱
T1	قربان فرجی	اسفروین	تاکستان	۹۰	۱	۱	۰/۵	۰/۵	۳
T2	فضل علی حاجی زاده	طرویزک	تاکستان	۹۰	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۲
T3	نوراله محمدی	اسفراین	تاکستان	۸۰	۱	۱	۰/۵	۰/۵	۳
T4	سید عادل رضوی	قمیک	تاکستان	۴۰	۲	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۶/۵



شکل ۱- موقعیت شهرستان‌های مورد مطالعه در استان قزوین

بهره‌وری اقتصادی انرژی با توجه به درآمد حاصل از فروش محصول و انرژی مصرفی، طبق رابطهٔ ۱ محاسبه شد (Kitani *et al*., 1999):

$$EEP = \frac{P}{E} \qquad (۱)$$

که در آن،

EEP= بهره‌وری اقتصادی (ریال به ازای هر کیلووات ساعت)؛ P= درآمد حاصل از محصول کشاورزی (سود ناخالص) (ریال)؛ و E= انرژی مصرفی (کیلووات ساعت) است. قیمت محصولات از آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۰ (Anon, 2011) استخراج شده است.

بهره‌وری انرژی با توجه به انرژی مصرفی و عملکرد محصول طبق رابطهٔ۲ محاسبه شد (Kitani *et al*., 1999):

$$EP = \frac{Y}{E} \qquad (۲)$$

که در آن،

EP= بهره‌وری انرژی (کیلوگرم به ازای هر کیلو وات ساعت)؛ Y= عملکرد محصول بر حسب وزن خشک (کیلوگرم)؛ و E= انرژی مصرفی (کیلو وات ساعت) است.

قدرت پمپ (کیلووات) با استفاده از رابطهٔ ۳ محاسبه شد:

$$P = \frac{\gamma Q H}{1000\mu} \qquad (۳)$$

که در آن،

رابطه γ= وزن مخصوص آب (۹۸۱۰ نیوتون بر متر مکعب)؛ Q= دبی سیستم (مترمکعب بر ثانیه)؛ H= ارتفاع پمپاژ (فشار سیستم آبیاری به‌علاوه عمق آب زیرزمینی (متر))؛ و μ= بازده الکتروپمپ (درصد) است.

برای آبیاری سطحی نیز از رابطهٔ ۳ برای قدرت پمپ استفاده شد و در قسمت ارتفاع پمپاژ، فشار سیستم آبیاری

برابر صفر در نظر گرفته شد. در این مطالعه حجم آب آبیاری در سیستم آبیاری بارانی از حاصلضرب دبی در ساعت آبیاری به دست آمد. اطلاعات دقیقی دربارهٔ حجم آب آبیاری در سیستم‌های آبیاری سطحی از کشاورزان قابل حصول نبود. به همین دلیل بر اساس مطالعات سهرابی و بروجنی (Sohrabi & Brojeni, 2005) در دشت قزوین، میزان حجم آب آبیاری در آبیاری سطحی به دست آمد که در آن متوسط راندمان کاربرد آبیاری در روش‌های آبیاری سطحی و بارانی به ترتیب ۳۹/۳ و ۶۹/۲ درصد گزارش شده است. بنابراین، با توجه به رابطهٔ راندمان کاربرد آبیاری (نسبت تبخیر-تعرق به حجم کل آب آبیاری)، در این مطالعه حجم آب آبیاری در سیستم‌های آبیاری سطحی ۱/۷۶ برابر بیشتر از سیستم‌های آبیاری بارانی در نظر گرفته شد. مدت زمان کارکرد سالانه (ساعت) دفترچه طراحی برای محصولات مختلف زراعی به دست آمد. انرژی مصرفی نیز از رابطهٔ ۴ محاسبه شد:

$$E = T \times P \qquad (۴)$$

که درآن،

E= انرژی (کیلووات ساعت)؛ و T= ساعت کارکرد سالانه است.

در تمامی مزارع مورد مطالعه از انرژی برق برای پمپاژ آب آبیاری استفاده می‌کنند. با افزایش قیمت حامل‌های انرژی، بسیاری از کشاورزان به‌جای استفاده از سوخت دیزلی از انرژی برقی استفاده می‌کنند.

مشخصات سیستم‌های آبیاری بارانی در مزارع انتخاب شده مورد مطالعه مانند نوع سیستم آبیاری، نوع پمپ، دبی، فشار سیستم، عمق سطح ایستابی، راندمان پمپ و قدرت پمپ در جدول ۲ آمده است. بیست و دو (۲۲) مزرعه مجهز به سیستم آبیاری بارانی انتخاب شد. سیستم‌های آبیاری بارانی در دشت قزوین بیشتر از نوع کلاسیک ثابت هستند. منبع تأمین آب آبیاری در همهٔ مزارع، به جز دو مزرعه G1 و G2، چاه است. بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده، محاسبات مربوط به بهره‌وری انرژی و بهره‌وری اقتصادی در سیستم‌های آبیاری بارانی و سطحی برای چهار محصول عمدهٔ زراعی انجام شد.

جدول ۲- مشخصات سیستم‌های آبیاری بارانی مورد استفاده در مزارع مورد مطالعه

کد مزرعه	سیستم آبیاری	منبع آب	دبی سیستم (مترمکعب بر ثانیه)	فشار سیستم (متر)	قدرت پمپ (کیلووات)	راندمان پمپ (درصد)
A1	کلاسیک ثابت	چاه	۰/۰۲۹	۵۱/۹۲	۳۳/۵۸	۶۵
A2	لینیر	۶۰ درصد کانال و ۴۰ درصد چاه	۰/۰۲۷	۲۵	۳۴	۶۵
A3	سنترپیوت	۶۰ درصد کانال و ۴۰ درصد چاه	۰/۰۵۵	۲۰	۶۵	۶۵
A4	کلاسیک ثابت	۶۰ درصد کانال و ۴۰ درصد چاه	۰/۰۵۵	۵۰	۹۰	۶۵
A5	سنترپیوت	۶۵ درصد کانال و ۳۵ درصد چاه	۰/۰۵۵	۲۵	۹۲	۶۵
A6	سنترپیوت	۶۵ درصد کانال و ۳۵ درصد چاه	۰/۰۴۶	۲۵	۷۸	۶۵
A7	سنترپیوت	۶۵ درصد کانال و ۳۵ درصد چاه	۰/۰۴۳	۲۵	۷۲	۶۵
AL1	کلاسیک ثابت	چاه	۰/۰۱۱	۵۲/۹۲	۱۳	۶۵
AL2	کلاسیک ثابت	چاه	۰/۰۵۰	۴۵/۳۹	۴۶	۷۴
B1	کلاسیک ثابت	چاه	۰/۰۸۳	۵۹/۲۹	۹۵/۹۵	۷۰
B2	لینیر	چاه	۰/۰۲	۴۲/۵۳	۴۱/۳	۷۸
B3	کلاسیک ثابت	چاه	۰/۰۶	۵۱/۹۲	۷۴/۷۴	۶۵
B4	کلاسیک ثابت	چاه	۰/۰۱۳۵	۵۴/۹	۱۷/۵۱	۶۸
G1	کلاسیک ثابت	کانال	۰/۰۰۵۵	۵۳/۲	۳/۸۳	۷۵
G2	کلاسیک نیمه متحرک	کانال	۰/۰۰۹	۴۷/۷۲	۶/۰۲	۷۰
G3	کلاسیک ثابت	چاه	۰/۰۰۹۹	۲۰	۹/۰۷	۷۰
G4	کلاسیک ثابت	چاه	۰/۰۱۳	۵۳/۹	۱۸/۷	۶۵
G5	کلاسیک ثابت	چاه	۰/۰۲۱	۵۸/۷۷	۲۸/۷۵	۷۲
T1	کلاسیک ثابت	چاه	۰/۰۰۵۳	۵۶/۷۶	۱۱/۳۱	۶۸
T2	کلاسیک ثابت	چاه	۰/۰۰۴۵	۴۸/۹۶	۸/۱۸	۷۵
T3	کلاسیک ثابت	چاه	۰/۰۰۵۳	۵۲/۹۷	۱۰/۸۸	۶۴
T4	کلاسیک ثابت	چاه	۰/۰۲	۵۸/۴۵	۲۶/۰۸	۷۵

نتایج و بحث

سیستم‌های آبیاری بارانی

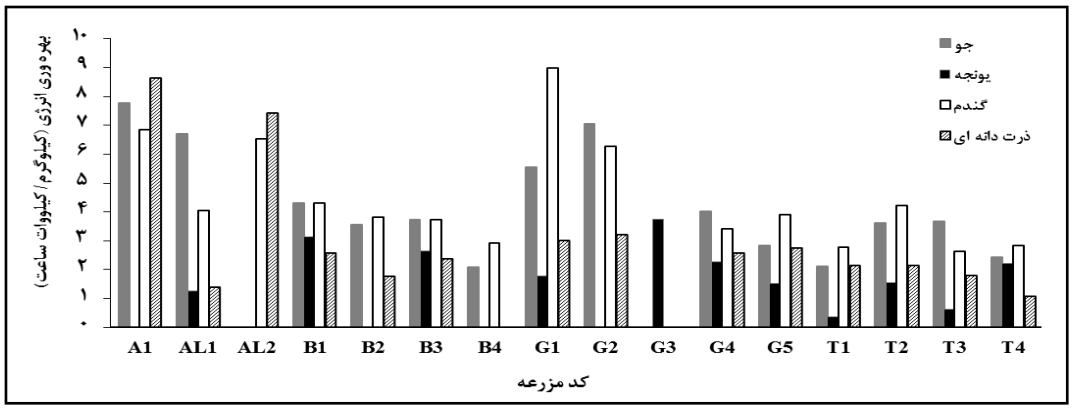
در جدول ۳ انرژی مصرفی، ساعت کارکرد و عملکرد وزن خشک محصولات مختلف در مزارع انتخابی مجهز به سیستم آبیاری بارانی نشان داده شده است. مدت زمان کارکرد و انرژی مصرفی در سیستم‌های آبیاری برای یونجه و ذرت دانه‌ای بیشتر از مدت زمان کارکرد و انرژی مصرفی در گندم و جو است که دلیل آن فصل کشت این محصولات است. ذرت دانه‌ای و یونجه در بهار کشت می‌شوند و نسبت به گندم و جو، که در پاییز کشت می‌شوند، نیاز به آبیاری بیشتری و در نتیجه انرژی مصرفی بیشتری دارند. متوسط عملکرد گندم، جو، ذرت و یونجه به ترتیب ۵۳۱۴، ۴۸۷۱، ۱۱۷۵۵ و ۱۵۸۶۲ کیلوگرم در هکتار به دست آمد.

جدول ۳- انرژی مصرفی، مدت زمان کارکرد و عملکرد محصول در مزارع انتخابی مجهز به سیستم آبیاری بارانی

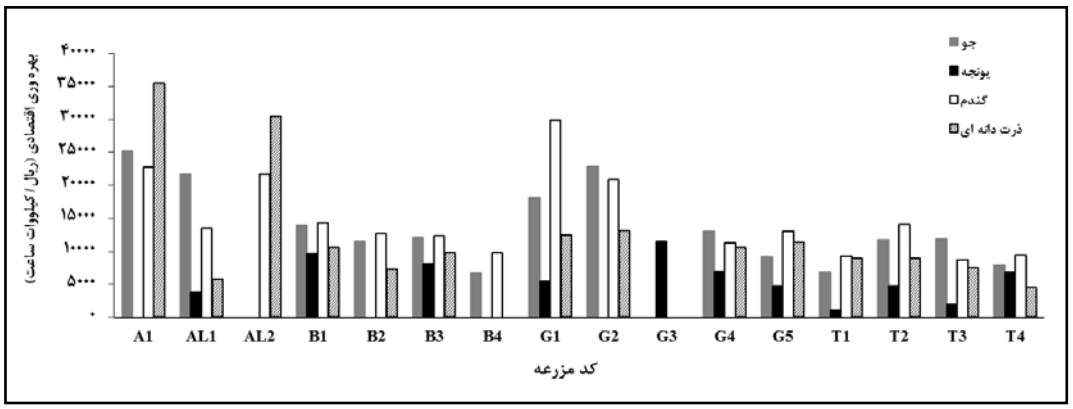
کد مزرعه	انرژی (کیلووات ساعت بر هکتار)				مدت زمان کارکرد در طول فصل رشد (ساعت)				عملکرد (تن بر هکتار)			
	ذرت	گندم	یونجه	جو	ذرت	گندم	یونجه	جو	ذرت	گندم	یونجه	جو
A1	۱۳۶۰	۷۷۷	-	۶۲۶	۴۱	۲۳	-	۱۹	۱۱/۸	۵/۳	-	۴/۸
AL1	۲۸۶۶	۷۴۰	۳۶۰۵	۵۹۷	۲۳۱	۶۰	۲۹۰	۴۸	۴	۳	۴/۵	۴
AL2	۱۲۴۲	۶۹۶	-	-	۲۷	۱۵	-	-	۹/۲	۴/۵	-	-
B1	۳۲۱۴	۸۴۹	۳۸۵۶	۶۸۵	۳۳	۹	۴۰	۷	۸/۳	۳/۶	۱۲	۲/۹
B2	۳۶۹۸	۱۳۱۵	-	۱۴۱۱	۹۰	۳۲	-	۳۴	۶/۵	۵	-	۵
B3	۳۴۹۴	۹۸۰	۴۵۵۸	۷۹۰	۴۷	۱۳	۶۱	۱۱	۸/۳	۳/۶	۱۲	۲/۹
B4	-	۱۲۴۲	-	۱۴۰۹	-	۷۱	-	۸۰	-	۳/۶	-	۲/۹
G1	۱۸۲۲	۶۱۱	۲۲۴۷	۷۱۹	۴۷۶	۱۶۰	۵۸۷	۱۸۸	۵/۵	۵/۵	۴	۴
G2	۱۸۷۱	۹۵۸	-	۸۵۲	۳۱۱	۱۵۹	-	۱۴۲	۶	۶	-	۶
G3	-	-	۲۶۷۰	-	-	-	۲۹۴	-	-	-	۹/۹	-
G4	۳۶۳۶	۹۸۲	۴۳۹۵	۷۹۲	۱۹۴	۵۳	۲۳۵	۴۲	۹/۳	۳/۳	۹/۹	۳/۱
G5	۳۶۲۸	۱۵۳۴	۶۵۴۷	۱۷۵۹	۱۳۴	۵۴	۱۵۷	۶۰	۱۰	۶	۱۰	۵
T1	۵۳۳۹	۲۱۵۲	۱۰۷۳۵	۲۳۶۸	۴۷۲	۱۹۰	۹۵۰	۲۲۰۹	۱۱/۵	۶	۴	۵
T2	۴۸۷۰	۱۶۵۷	۶۵۰۰	۱۹۳۹	۵۹۵	۲۰۳	۷۹۵	۲۳۷	۱۰/۵	۷	۱۰	۷
T3	۵۷۹۷	۲۲۸۴	۱۱۳۰۱	۱۶۳۸	۵۳۳	۲۱۰	۱۰۳۸	۱۵۱	۱۰/۵	۶	۷	۶
T4	۴۱۴۰	۱۴۰۹	۵۲۰۴	۱۲۳۷	۱۵۹	۵۴	۲۰۰	۴۷	۴/۵	۴	۱۱/۵	۳

مقادیر محاسبه شدهٔ بهره‌وری انرژی در مزارع مختلف در شکل ۲ آمده است. دامنهٔ بهره‌وری انرژی در مزارع انتخابی بر حسب کیلوگرم به ازای هر کیلووات ساعت برای گندم بین ۲/۶۲ و ۹/۰۰، برای جو بین ۲/۰۹ و ۷/۷۹، برای ذرت دانه‌ای بین ۱/۰۹ و ۸/۶۴ و برای یونجه ۰/۳۷ و ۳/۷۴ به دست آمد. در اکثر موارد، بهره‌وری انرژی گندم و جو نسبت به بهره‌وری انرژی یونجه و ذرت بیشتر است که دلیل آن را می‌توان به فصل رشد گیاه و فصل آبیاری گیاه مربوط دانست. فصل رویش گندم و جو تا خرداد ماه سال بعد است که در این ماه آن را برداشت می‌کنند و به همین علت نیاز به آبیاری و در نتیجه نیاز به انرژی مصرفی برای آبیاری این دو محصول، نسبت به یونجه و ذرت (که در فصل بهار کشت و در اواخر تابستان برداشت می‌شوند) کمتر است و مدت زمان کمتری آبیاری می‌شوند. نکتهٔ مهم دیگر تأثیر زیاد عمق سطح ایستابی در مقدار انرژی مصرفی و بهره‌وری انرژی است. در مزارع مختلف نسبت عمق سطح ایستابی به فشار سیستم آبیاری از ۰/۴ تا ۱/۹ متغیر است. در مزارعی که عمق سطح ایستابی نسبتاً کم است، بیشتر انرژی مصرفی مربوط به تأمین فشار مورد نیاز سیستم آبیاری است (مانند مزارع A1، AL1، AL2 و B1). در مزارعی که عمق سطح ایستابی زیاد است بیشتر انرژی برای پمپاژ آب زیرزمینی مصرف می‌شود (مانند مزارع B2، T1، T2 و T3). خان و همکاران (Khan *et al*., 2010) بهره‌وری انرژی برای گندم و جو را به ترتیب ۱/۶۱ و ۱/۲۹ و شاهان و همکاران (Shahan *et al*., 2008) برای گندم در استان اردبیل را ۰/۳۵ کیلوگرم به ازای هر کیلووات ساعت به دست آوردند. میزان بهره‌وری انرژی به دست آمده در این مطالعه بیشتر از مقداری است که این محققان گزارش داده‌اند زیرا آنها تمام انرژی‌های ورودی معادل، مانند انرژی مصرفی برای کود و نیروی انسانی را در نظر

گرفته‌اند اما در مطالعه حاضر تنها انرژی پمپاژ و سیستم آبیاری در نظر گرفته شده است. حداقل و حداکثر بهره‌وری اقتصادی انرژی بر حسب ریال به ازای هر کیلووات ساعت به ترتیب برابر ۶۷۸۰ و ۲۵۲۶۶ برای جو، ۱۱۴۵ و ۱۱۴۸۵ برای یونجه، ۴۴۵۵ و ۳۵۴۲۹ برای ذرت دانه‌ای و ۲۰۱۶ و ۷۳۱۹ برای گندم به دست آمد (شکل ۳). بهره‌وری اقتصادی انرژی در جو و گندم بیشتر از بهره‌وری اقتصادی انرژی در یونجه است.



شکل ۲- بهره‌وری انرژی در مزارع انتخابی مجهز به سیستم آبیاری بارانی برای محصولات مختلف

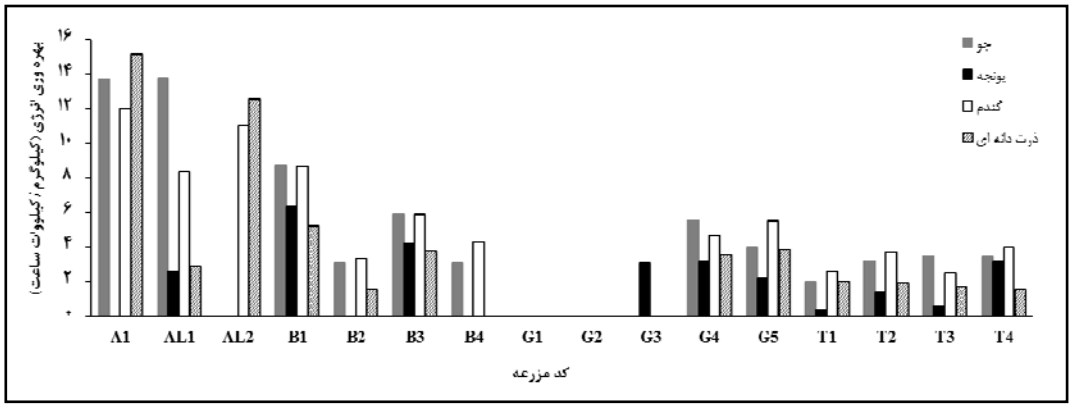


شکل ۳- بهره‌وری اقتصادی انرژی در مزارع انتخابی مجهز به سیستم آبیاری بارانی برای محصولات مختلف کشاورزی

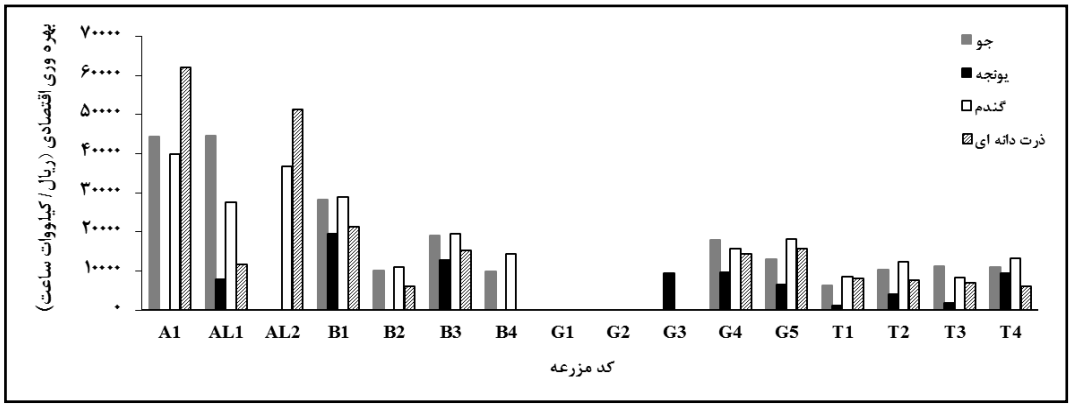
آبیاری سطحی

انرژی مصرفی و بهره‌وری انرژی در ۱۶ مزرعه انتخابی با فرض استفاده از روش آبیاری سطحی، محاسبه شد. فشار سیستم آبیاری در روش سطحی برابر صفر است و انرژی تنها برای پمپاژ آب زیرزمینی مورد نیاز خواهد بود. مقادیر محاسبه شده بهره‌وری انرژی در مزارع مختلف در شکل ۴ آمده است. دامنهٔ بهره‌وری انرژی در مزارع انتخابی بر حسب کیلوگرم به ازای هر کیلووات ساعت برای گندم بین ۲/۴۸ و ۱۲/۰۲، برای جو بین ۱/۹۶ و ۱۳/۷۴، برای ذرت دانه‌ای بین ۱/۵۲ و ۱۵/۲۰ و برای یونجه بین ۰/۳۵ و ۶/۳۰ به دست آمد. بهره‌وری انرژی در اکثر موارد در گندم و جو، در مقایسه با یونجه و ذرت دانه‌ای، بیشتر است که دلیل آن را می‌توان به فصل رشد گیاه و فصل آبیاری مربوط دانست. مزارعی که سطح ایستابی عمق بیشتری دارند بدیهی است که به انرژی مصرفی بیشتری نیازمندند (مانند مزارع T1، T2 وT3). حداقل و حداکثر بهره‌وری اقتصادی انرژی بر حسب ریال به ازای هر کیلووات ساعت به ترتیب برابر ۶۳۴۸ و ۴۴۵۷۳

برای جو، ۱۰۶۰ و ۱۹۴۹۸ برای یونجه، ۶۲۳۰ و ۶۲۲۷۳ برای ذرت دانه‌ای و ۸۲۵۹ و ۴۰۰۰۱ برای گندم است (شکل ۵). بهره‌وری اقتصادی انرژی برای جو و گندم نسبت به بهره‌وری اقتصادی انرژی برای یونجه و ذرت بیشتر به دست آمد. همان‌طور که انتظار می‌رفت به دلیل مصرف کمتر انرژی در مزارع که به روش سطحی آبیاری می‌شوند، مقادیر بهره‌وری انرژی و بهره‌وری اقتصادی در این مزارع بیشتر است تا در مزارعی که به روش بارانی آبیاری می‌شوند. در هر دو روش، میزان بهره‌وری انرژی و اقتصادی انرژی در دو محصول گندم و جو بیشتر است تا در ذرت و یونجه. در مزارع G1 و G2 منبع تأمین آب آبیاری کانال است لذا مقدار انرژی مصرفی صفر لحاظ شده است.



شکل ٤- بهره‌وری انرژی در آبیاری سطحی برای محصولات مختلف کشاورزی



شکل ٥- بهره‌وری اقتصادی انرژی در آبیاری سطحی برای محصولات مختلف کشاورزی

بهره‌برداری تلفیقی از چاه و کانال

در مزارع A2 تا A7 شرایط بهره‌برداری تلفیقی، مدت زمان کارکرد استفاده از چاه و کانال، به صورت جداگانه محاسبه شد (جدول ۴). میزان انرژی مصرفی و عملکرد محصول در حالت تلفیقی در جدول ۵ نشان داده شده است. میزان انرژی مصرفی در حالت تلفیقی برای یونجه نسبت به ذرت بیشتر به دست آمده است. میزان حداقل و حداکثر بهره‌وری انرژی در آبیاری بارانی برای حالت تلفیقی برای یونجه ۸/۶ تا ۱۷/۴۲ و برای ذرت ۲/۸۶ تا ۵/۳۵ کیلوگرم به ازای هر کیلووات ساعت به دست آمده است. حداقل و حداکثر بهره‌وری انرژی در آبیاری سطحی برای یونجه ۱۰/۷۷ و ۲۱/۸۱ و ذرت ۳/۹ و

۷ کیلوگرم به ازای هر کیلووات ساعت حاصل شده است (جدول ۶). میزان حداقل و حداکثر بهره‌وری اقتصادی انرژی برای آبیاری سطحی یونجه ۳۳۱۰۶ و ۵۸۳۳۴ و برای ذرت دانه‌ای ۱۷۲۱۹ و ۲۸۸۶۶ ریال به ازای هر کیلووات ساعت به دست آمده است. میزان حداقل و حداکثر بهره‌وری اقتصادی انرژی برای آبیاری بارانی ذرت دانه‌ای ۱۱۷۲۰ و ۲۱۹۴۲ و برای یونجه ۲۶۰۹۰ و ۵۳۵۰۶ ریال به ازای هر کیلووات ساعت به دست آمده است (جدول ۷). با توجه به اینکه در حالت بهره‌برداری تلفیقی، کانال، در مقایسه با چاه، نقش بیشتری در آبیاری دارد مقادیر بهره‌وری انرژی در حالت بهره‌برداری تلفیقی نسبت به استفاده از چاه بیشتر است.

جدول ٤- مدت زمان کارکرد سیستم آبیاری در طول فصل رشد برای یک هکتار در شرایط بهره‌برداری تلفیقی از چاه و کانال

کد مزرعه	کارکرد در طول فصل رشد (ساعت)					
	گندم		ذرت		یونجه	
	چاه	کانال	چاه	کانال	چاه	کانال
A2	-	-	۲۸/۸	۴۳/۲	۴۱/۱	۶۱/۷
A3	-	-	۱۴/۱	۲۱/۲	۲۰/۲	۳۰/۳
A4	-	-	۱۵/۶	۲۳/۳	۲۰/۲	۳۰/۳
A5	-	-	-	-	۱۵/۱	۲۷/۹
A6	۲۰/۶	۳۸/۶	۲۰/۶	۳۸/۳	-	-
A7	-	-	۲۰/۶	۳۸/۳	۳۸/۹	۷۲/۳

جدول ٥- انرژی مصرفی و عملکرد محصول برای یک هکتار در شرایط بهره‌برداری تلفیقی از چاه و کانال

کد مزرعه	انرژی مصرفی (کیلووات ساعت بر هکتار)			عملکرد محصول (تن بر هکتار)		
	گندم	ذرت	یونجه	گندم	ذرت	یونجه
A2	-	۶۵۴	۹۳۴	-	۳/۵	۱۳/۵
A3	-	۶۹۰	۹۸۶	-	۳/۵	۱۳/۵
A4	-	۱۲۲۴	۱۵۹۰	-	۳/۵	۱۳/۵
A5	-	-	۸۶۱	-	-	۱۵
A6	۱۰۰۳	۱۰۰۳	-	۶	۳/۱	-
A7	-	۹۲۴	۱۷۴۵	-	۳/۱	۱۵

جدول ٦- بهره‌وری انرژی (کیلوگرم به ازای هر کیلووات ساعت) در آبیاری بارانی و آبیاری سطحی برای محصولات مختلف کشاورزی در شرایط بهره‌برداری تلفیقی

کد مزرعه	آبیاری بارانی			آبیاری سطحی		
	گندم	ذرت	یونجه	گندم	ذرت	یونجه
A2	-	۵/۳۵	۱۴/۴۶	-	۷/۰	۱۸/۹۸
A3	-	۵/۰۷	۱۳/۶۹	-	۵/۵	۱۵/۱۹
A4	-	۲/۸۶	۸/۴۹	-	۴/۴	۱۲/۹
A5	-	-	۱۷/۴۲	-	-	۲۱/۸۱
A6	۵/۹۸	۳/۰۹	-	۷/۷۹	۳/۹	-
A7	-	۳/۳۶	۸/۶	-	۴/۲	۱۰/۷۷

جدول ۷- بهره‌وری اقتصادی انرژی (ریال به ازای هر کیلووات ساعت) در آبیاری بارانی و آبیاری سطحی برای محصولات مختلف کشاورزی در شرایط بهره‌برداری تلفیقی

کد مزرعه	آبیاری بارانی			آبیاری سطحی		
	گندم	ذرت	یونجه	گندم	ذرت	یونجه
A2	-	۲۱۹۴۲	۴۴۴۱۴	-	۲۸۸۶۶	۵۸۳۳۴
A3	-	۲۰۷۹۵	۴۲۰۶۳/۶۹	-	۲۲۳۸۲	۴۶۶۵۴
A4	-	۱۱۷۲۰/۴۷	۲۶۰۹۰	-	۱۷۸۴۴	۳۹۶۹۰
A5	-	-	۵۳۵۰۶	-	-	۶۷۰۸۰
A6	۱۹۹۱۲	۱۲۶۶۷	-	۲۵۹۴۶	۱۵۸۶۴	-
A7	-	۱۳۷۵۷	۲۶۴۱۴	-	۱۷۲۱۹	۳۳۱۰۶

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، به مقایسه بهره‌وری انرژی و بهره‌وری اقتصادی انرژی در سیستم‌های آبیاری سطحی و بارانی برای چهار محصول غالب منطقهٔ قزوین پرداخته شده است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که بهره‌وری انرژی در سیستم آبیاری سطحی بیشتر از بهره‌وری انرژی در سیستم آبیاری بارانی است. میانگین بهره‌وری انرژی در آبیاری بارانی بر حسب کیلوگرم به ازای هر کیلووات ساعت برابر با ۴/۴۸ برای گندم، ۴/۲۴ برای جو، ۳/۰۶ برای ذرت دانه‌ای و ۱/۹۱ برای یونجه به دست آمده است. میانگین بهره‌وری انرژی بر حسب کیلوگرم به ازای هر کیلووات ساعت در آبیاری سطحی برابر با ۵/۸۷ برای گندم، ۵/۸۰ برای جو، ۴/۶۳ برای ذرت دانه‌ای و ۲/۶۸برای یونجه محاسبه شده است. میانگین بهره‌وری اقتصادی انرژی در آبیاری سطحی بر حسب ریال به ازای هر کیلووات ساعت برابر ۱۸۸۲۷ برای جو، ۸۲۴۲ برای یونجه، ۱۸۹۹۶ برای ذرت دانه‌ای و ۱۹۵۶۶ برای گندم به دست آمده است. همچنین میانگین بهره‌وری اقتصادی انرژی بر حسب ریال به ازای هر کیلووات ساعت در آبیاری بارانی برابر ۱۳۷۷۳ برای جو، ۵۸۹۹ برای یونجه، ۱۲۵۷۲ برای ذرت دانه‌ای و۱۴۹۲۰ برای گندم به دست آمده است. میزان میانگین بهره‌وری انرژی در آبیاری بارانی برای حالت بهره‌برداری تلفیقی برای یونجه ۱۲/۵۳ و برای ذرت ۳/۹۵ کیلوگرم به ازای هر کیلووات ساعت و در حالت آبیاری سطحی برای یونجه ۱۵/۹۸ و ذرت ۴/۱۲ کیلوگرم به ازای هر کیلووات ساعت محاسبه شده است. میانگین بهره‌وری اقتصادی در آبیاری سطحی برای یونجه ۴۹۰۹۸ و برای ذرت دانه‌ای ۲۰۴۹۵ ریال به ازای هر کیلووات ساعت و در آبیاری بارانی برای ذرت دانه‌ای ۱۶۱۷۷ و برای یونجه ۳۸۴۹۷ ریال به ازای هر کیلووات ساعت به دست آمده است. بهره‌وری انرژی در شرایط آبیاری سطحی و بهره‌برداری تلفیقی، نسبت به آبیاری بارانی، به دلیل کمتر بودن فشار سیستم آبیاری بیشتر است. بهره‌وری اقتصادی برای جو و گندم نسبت به یونجه و جو بیشتر است. در هر دو نوع آبیاری میزان بهره‌وری انرژی گندم و جو، نسبت به بهره‌وری انرژی ذرت و یونجه، بیشتر است و دلیل آن کشت پاییزه آن محصولات است. گندم هم از لحاظ بهره‌وری انرژی و هم از لحاظ بهره‌وری اقتصادی انرژی نسبت به سه محصول دیگر در اولویت بالاتری قرار دارد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که بهره‌وری انرژی تابعی از نوع سیستم آبیاری، منبع آب، محصول زراعی، عمق آب زیرزمینی و نوع کشت (پاییزه یا بهاره) است. پیشنهاد می‌شود که الگوی کشت با توجه به تحلیل‌های اقتصادی و مصرف انرژی تعیین شود.

قدردانی

از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور که از این طرح پژوهشی به شماره ۹۲۰۱۴۱۳۶ حمایت مالی کرده‌اند سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

Abadia, R., Rocamora, M. C., Corcoles, J. I., Ruiz-Canales, A., Martinez-Romero, A. and Moreno, M. A. 2010. Comparative analysis of energy efficiency in water users associations. Spanish J. Agric. Res. 8(S2): 134-142.

Alizadeh, A. and Khalili, N. 2009. Water-energy productivity in sugar beet (Case study: Khorasan province). Iranian J. Irrig. Drain. 3(2): 123-136. (in Farsi)

Anon. 2011. Iranian Ministry of Jihad-e-Agriculture, Center of Statistics and Information Technology. http://dbagri.maj.ir (in Farsi)

Jackson, T. M., Khan, S. and Hafeez, M. 2010. A comparative analysis of water application and energy consumption at the irrigated field level. Agric. Water Manage. 97(10): 1477-1485.

Khan, S., Khan, M. A. and Latif, N. 2010. Energy requirements and economic analysis of wheat, rice and barley production in Australia. Soil and Environ. 29(1): 61-68.

Kitani, O., Jungbluth, T., Peart, R. M. and Ramdani, A. 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Volume 5: Energy and Biomass Engineering. ASAE Pub..

Martin-Gorriz, B., Soto-García, M. and Martínez-Alvarez, V. 2014. Energy and greenhouse-gas emissions in irrigated agriculture of SE (southeast) Spain: Effects of alternative water supply scenarios. Energy. 77, 478-488.

Nabavi-Pelesaraei, A., Sadeghzadeh, A., Payman, M. H. and Mobtaker, H. G. 2013. Energy flow modeling, economic and sensitivity analysis of eggplant production in Guilan province of Iran. Inter. J. Agric. Crop Sci. 5(24): 3006-3015.

Panahi, H. and Kafi, M. 2012. Evaluation of energy budget and productivity in the potato farms (Case Study: Kurdistan, Dehgolan plain). J. Agric. Ecology. 4(2): 159-169. (in Farsi)

Sohrabi, T. and Borujeni, A. 2005. Conveyance and distribution efficiencies of Qazvin irrigation network. J. Agric. 5(2): 53-64. (in Farsi)

Shahan, S., Jafari, A., Mobli, H., Rafiee, S. and Karimi, M. 2008. Energy use and economical analysis of wheat production in Iran: a case study from Ardabil province. J. Agric. Technol. 4(1), 77-88.

Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.16/No.3/2015/P:31-44

Investigation of Water-Energy Productivity and Economic Productivity of Energy in Sprinkler and Surface Irrigation Systems under Using Groundwater (Case Study of Qazvin Plain, Iran)

Z. Gholami, H. Ebrahimian* and H. Noory

* Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, P. O. Box: 4111, Karaj, Iran. Email: ebrahimian@ut.ac.ir
Received: 27 April 2015, Accepted: 22 August 2015

Water and energy resources are limited; however, water and energy consumption for production of agricultural crops is increasing to meet the food demands of a growing population. The present study compared the energy and economic productivity of sprinkler irrigation with surface irrigation when groundwater is used as an irrigation source. The study used data on irrigation systems and yield of crops cultivated on the Qazvin plain in 2011. The data was obtained by survey from regional farms, design plans for the irrigation systems, and the Qazvin Agricultural Organization. Results showed that maximum and minimum energy productivity of sprinkler irrigation were 9 and 1.3 kg/kWh for wheat, 7.79 and 2.09 kg/kWh for barley, 8.64 and 1.09 kg/kWh for corn, and 3.74 and 3.37 kg/kWh for alfalfa, respectively. The values for surface irrigation were 13.7 and 2.5 kg/kWh for wheat, 20.28 and 2.93 kg/kWh for barley, 15.2 and 1.5 kg/kWh for corn, and 6.3 and 0.3 kg/kWh for alfalfa, respectively. The energy economic productivity for surface and sprinkler irrigation systems for wheat was greater than for the other three crops. The results also showed that energy productivity for the conjunctive use of surface and groundwater for irrigation was greater than for the sole use of groundwater.

Keywords: Conjunctive Use, Economic Productivity, Energy, Energy Productivity, Pumpage