

## The Role of Irrigation Management on Wheat Water Productivity (Case Study: Arzooieh City of Kerman)

RAHIMEH DEGHANI DASHTABI<sup>1</sup>, SEYED HASSAN MIRHASHEMI<sup>2</sup>, MILAD JAHANI<sup>3</sup>, PARVIZ HAGHIGHAT JOU<sup>\*2</sup>

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

2. Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, Zabol University, Zabol, Iran.

3. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

(Received: March. 11, 2021- Revised: May. 27, 2021- Accepted: June. 23, 2021)

### ABSTRACT

Due to the recent water shortages and droughts, the importance of water productivity is becoming more apparent. The main objective of this study is to examine water productivity of wheat according to its water requirement and proper irrigation management. This research was performed in Orzouieh city of Kerman province located in an arid region. In this study by using meteorological data of the region, wheat evapotranspiration was calculated by CROPWAT. Then, potential evapotranspiration was also calculated by Hargreaves-Samani and Jensen-Haise methods to verify the values resulted by CROPWAT package. Irrigation Hydromodule was calculated too. The Volume of water consumed by wheat per hectare during growing season was also calculated using irrigation hydromodule. For performing this study, three wheat farms with proper irrigation management were selected. For calculating physical and economical productivity of wheat farms in the region, one of the farms was examined. The results of this study showed that the physical productivity (CPD) is equal to 1.6 kg/m<sup>3</sup> and economical productivity (NBPD) is equal to 13000 Rls./m<sup>3</sup>. The calculated productivities demonstrate that supplying actual water requirement of wheat along with proper management of the fields, results high economical efficiency.

**Keywords:** Water Requirement, Wheat, Hydromodule, Physical Productivity, Economical Productivity.

## نقش مدیریت آبیاری بر بهره‌وری آب گندم (مطالعه موردی: شهرستان ارزوئیه کرمان)

رحیمه دهقانی دشتابی<sup>۱</sup>، سید حسن میرهاشمی<sup>۲</sup>، میلاد جهانی<sup>۳</sup>، پرویز حقیقت‌جو<sup>۳\*</sup>

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲. گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران  
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۱ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۳/۶ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۴/۲)

### چکیده

با توجه به کم‌آبی و خشکسالی‌های اخیر اهمیت بهره‌وری آب بیشتر مشخص می‌شود. بر این اساس هدف این پژوهش تعیین بهره‌وری آب گندم در شهرستان ارزوئیه می‌باشد. بدین منظور نیاز آبی با استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی منطقه مورد مطالعه و نرم‌افزار CROPWAT محاسبه گردید. همچنین به منظور تأیید مقادیر حاصل از نرم‌افزار CROPWAT مقدار پتانسیل تبخیر-تعرق با استفاده از فرمول‌های هارگریوز-سامانی و جنسن-هیز نیز محاسبه شد. بر طبق آن جهت تعیین میزان حجم آب مصرفی گندم در واحد هکتار در طول دوره رشد، میزان هیدرومدول برای منطقه مورد مطالعه برآورد شد. با توجه به نتایج، مقدار بهره‌وری فیزیکی گندم برابر ۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب و مقدار بهره‌وری اقتصادی آن برابر ۱۳۰۰۰ ریال بر متر مکعب، حاصل گردید. نتایج بیانگر آن است که در صورت تأمین نیاز آبی واقعی گندم و مدیریت صحیح آبیاری در مزارع، محصول گندم دارای بازده اقتصادی زیادی در سال ۹۸-۹۷ می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** نیاز آبی، گندم، هیدرومدول، بهره‌وری فیزیکی، بهره‌وری اقتصادی.

### مقدمه

برنامه‌ریزی آبیاری یک عملیات مدیریتی است که برای تعیین زمان آبیاری و مقدار آب کاربردی در هر بار آبیاری استفاده می‌شود. به عبارت دیگر، هدف برنامه‌ریزی آبیاری، مشخص کردن مقدار دقیق آب مورد استفاده در مزرعه و زمان‌بندی دقیق کاربرد آن می‌باشد. زمان‌بندی دقیق آبیاری را می‌توان با اندازه‌گیری نگهداشت رطوبت خاک انجام داد. در اکثر روش‌های برنامه‌ریزی آبیاری، پایش رطوبت خاک، اساسی‌ترین عملی است که انجام می‌شود. لازم به ذکر است، برنامه‌ریزی موثر نیاز به آگاهی از پارامترهای ظرفیت نگهداشت رطوبت خاک، نگهداشت رطوبت قابل دسترس در هر زمان، آب مصرفی گیاه یا تبخیر-تعرق، حساسیت گیاه به تنش‌های رطوبتی در هر مرحله از رشد، آبیاری یا باران موثر دریافت شده، قابلیت دسترسی به منابع آب و زمان لازم برای هر مزرعه، دارد (Abolpour, 2010). هدف از برنامه‌ریزی آبیاری، ارائه یک برنامه منظم و سیستماتیک برای آبیاری محصولات مختلف می‌باشد، به طوری که زارع بر پایه آن بتواند عمق آبیاری، دور آبیاری، تاریخ آبیاری و مقدار آبیاری را تعیین نماید. هدف نهایی از این برنامه‌ریزی، بهره‌برداری بهینه از منابع آب و خاک موجود می‌باشد. به طوری که اتلاف منابع و

امکانات در آن به حداقل رسیده و حداکثر استفاده ممکن از منابع آب و خاک صورت گیرد (Babazadeh & Iftikhar, 2011). با توجه به اینکه میزان آب و دور مناسب آبیاری از اهداف برنامه‌ریزی آبیاری می‌باشد که عملکرد و کیفیت محصول را تحت تاثیر قرار می‌دهند، لذا تعیین این دو عامل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ساده‌ترین روش در تعیین دور آبیاری و میزان آب مصرفی زراعت‌های مختلف، استفاده از تشت تبخیر می‌باشد. چرا که می‌توان بر اساس استراتژی مورد نظر (کم آبیاری یا آبیاری کامل) دور و عمق مناسب آبیاری را بر اساس تبخیر تجمیعی تعیین نمود (Ahmadi Adli, 2012). با استفاده از اطلاعات ارائه شده در سند ملی آب و کتاب نیاز آبی موسسه تحقیقات خاک و آب، به تعیین نیاز آبی محصولات زراعی و باغی مناطق مختلف استان زنجان پرداخته شد. برای این منظور از سه روش متداول شامل سند ملی آب، کتاب نیاز آبی و در نهایت روش FAO56 در تعیین نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی در ایران استفاده شد (Karbasi et al., 2011). بر اساس نتایج، الگوی کشت شبکه با استفاده از روش‌های متداول شامل سند ملی آب (NETWAT)، روش موسسه تحقیقات خاک و آب کشور و در نهایت روش FAO56 به ترتیب ۸۹۲۰، ۹۴۲۸ و ۷۵۶۲ متر مکعب در هکتار برآورد شده است. بنابراین با توجه به شرایط اقلیمی موجود در

مرجع مشاهده شده دارد (Allen et al., 1989; Howell et al., 2000; Wright et al., 2000).

بنابراین با توجه به محدودیت‌های منابع آبی، بازده کم در آبیاری‌های سنتی و نیاز روز افزون به مواد غذایی استفاده مطلوب و بهینه از آب‌های موجود بیش از پیش حائز اهمیت است. در این راستا آبیاری‌های تحت فشار یکی از راه‌های موثر برای استفاده بهینه از منابع محدود آب و افزایش بازده آبیاری می‌باشد (Piri, 2012). یک سامانه آبیاری قطره‌ای در صورتی موفقیت آمیز است که به خوبی طراحی و اجرا شود. در بیشتر مواقع برقراری توأم این دو شرط اتفاق نمی‌افتد. به طوریکه سامانه همزمان قادر به ارائه تمام کارایی یا توان خود نمی‌باشد. به همین دلیل وضعیت کارکرد سامانه آبیاری باید مورد ارزیابی قرار گیرد. ارزیابی یک سامانه علاوه بر اندازه‌گیری، سودمندی روش آبیاری موجود را نیز نشان می‌دهد. مطالعه‌ی دقیق ارزیابی سامانه می‌تواند به این نکته اشاره نماید که آیا می‌توان سامانه را بهبود بخشید. در این میان، افزایش بازده آبیاری به ویژه بهره‌وری مصرف آب در اراضی کشور از اهمیت و اولویت خاصی برخوردار است. بهره‌وری مصرف آب، نسبت عملکرد محصول به مقدار آب بکار برده شده برای تأمین رشد گیاه تعریف می‌شود. به عبارت دیگر بهره‌وری آب مشخص می‌کند که به ازای کاربرد مقدار مشخصی از آب (مترمکعب) چه مقدار ماده خشک (کیلوگرم) تولید می‌شود. البته در بررسی و ارزیابی اثر بخشی آب در تولید گیاه علاوه بر مقدار ماده تولید شده باید به ارزش ماده تولیدی هم توجه شود. برای نمونه درآمد حاصل از مصرف هر متر مکعب آب و یا مقدار پروتئین و کالری تولید شده به ازای مقدار مشخصی از آب نیز می‌تواند در ارزیابی‌ها مورد توجه قرار گیرند. در مناطقی از اسپانیا، بازده کاربرد آب را حدود ۴۹ تا ۶۶ درصد برآورد کردند که نتایج نشان داد با مدیریت صحیح آبیاری در مزرعه، متوسط بازده کاربرد به ۷۶ درصد نیز افزایش یافته است (Lecina et al., 2005). Dehghani Sanij و همکاران (2007) طی پژوهشی به کارایی مصرف آب گندم و ذرت در طی پنج سال پرداختند. سلیمانی و حسنلی (۲۰۰۹) بهره‌وری مصرف آب را در منطقه خشک داراب برای محصولات عمده منطقه شامل گندم، ذرت، پنبه و پرتقال مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند که به جز پرتقال در بقیه محصولات بهره‌وری آب بسیار کم است (Soleimani and Hassanli, 2009). در بررسی بازده سامانه آبیاری نواری در برخی مزارع دشت زرینه رود میاندوآب مشخص شد در صورتی که متولیان شبکه‌های آبیاری از برنامه علمی و عملیاتی خوبی در تحویل و توزیع آب به کشاورزان برخوردار باشند و آب در دسترس کشاورزان در حد مورد نیاز باشد، کشاورزان غالباً قادر خواهند بود به اعمال یک

محدوده مطالعاتی و در نظر گرفتن گیاهان منتخب برای الگوی شبکه، روش FAO56 برای تعیین نیاز آبی گیاهان منطقه مناسب‌تر بوده و از کارایی بیشتری برخوردار می‌باشد. در پژوهشی برای بهینه کردن توزیع آب، میزان تبخیر تعرق گیاهی را برای سه محصول انتخابی گندم، جو و ذرت در اقلیم سرد و معتدل، با استفاده از روش فائو- پنمن-مانتیت برآورد کردند. همچنین مقادیر کارایی مصرف آب آبیاری داده شده به گیاه را در دو حالت مورد بررسی قرار دادند (Babazadeh and Iftikhar, 2011). حالت اول حالتی که نسبت تبخیر تعرق واقعی گیاه به حداکثر تبخیر تعرق در طول دوره رشد گیاه ثابت است و حالت دوم حالتی که نسبت تبخیر تعرق واقعی گیاه به حداکثر تبخیر تعرق در طول دوره رشد گیاه متغیر باشد و در کل دوره رشد، با توجه به شاخص حساسیت گیاه در هر مرحله از رشد تقسیم شود. نتایج مطالعه نشان داد که با مقایسه این دو حالت، می‌توان به مقدار قابل ملاحظه‌ای در مصرف آب صرفه‌جویی نمود و از پر آبیاری و کم آبیاری نابجا جلوگیری نمود. همچنین نتایج حاکی از آن است که با کاربرد صحیح آب و توزیع بهینه آن می‌توان از اتلاف آب یا وارد نمودن تنش به گیاه جلوگیری و در نهایت کارایی مصرف آب را نیز بهینه نمود (Babazadeh and Iftikhar, 2011).

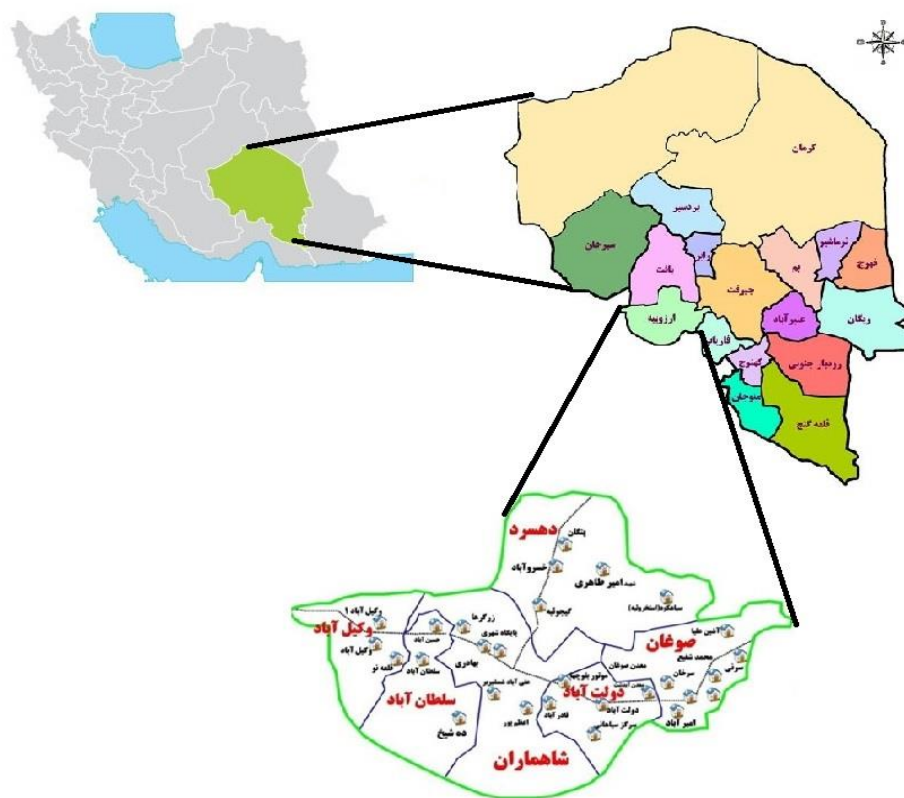
در این میان برای محاسبه تبخیر تعرق گیاه مرجع از بین روش‌های تجربی متعدد ارائه شده، در سال ۱۹۹۰ از سوی کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی (ICID) و سازمان خواروبار جهانی (FAO) روش فائو پنمن-مانتیت به عنوان تنها روش استاندارد برای محاسبه تبخیر تعرق گیاه مرجع از روی داده‌های اقلیمی و همچنین برای ارزیابی سایر روش‌ها پیشنهاد شده است (Hargreaves., 1994). این روش نیازمند داده‌های تابش، دما، رطوبت و سرعت باد بوده و با درجه اعتماد زیادی در دامنه وسیعی از مناطق و اقلیم برآورد صحیحی از تبخیر تعرق گیاه مرجع ارائه می‌کند. (Abedi Kopapi et al., 2008) به مقایسه چهار روش تبخیر تعرق گیاه مرجع با داده‌های میکرو لایسیمتری در منطقه اصفهان پرداختند. بر اساس مطالعه مذکور معادله پنمن-مانتیت - فائو دقیق‌ترین معادله و معادله تشتک تبخیر کم دقت‌ترین معادله نسبت به سایر معادلات تبخیر تعرق روزانه معرفی گردید (Erfanian et al., 2011). موضوع تغییرات و یا نوسانات اقلیمی ظرف ۱۵ سال اخیر و قابلیت افزایش طول دوره آماری ۱۵ ساله به مطالعات قبلی مورد توجه قرار گرفته است. در پژوهش یاد شده نتایج حاصل از کاربرد عناصر هواشناسی ۱۵ سال اخیر، کل دوره آماری و دوره آماری مورد استفاده سند، مقایسه شده است. لذا مروری بر مطالعات حاکی از آن است که تبخیر تعرق مرجع حاصل از معادله پنمن-مانتیت مطابقت زیادی با مقادیر تبخیر تعرق

### مواد و روش‌ها

شهرستان ارزوئیه واقع در ۲۷۰ کیلومتری جنوب غربی شهر کرمان و در محدوده جغرافیایی ۲۸ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۷ درجه و ۷ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۱۱۰۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. این شهرستان یکی از قطب‌های کشاورزی استان کرمان و دارای اقلیم‌های مختلفی است که این تحقیق در منطقه‌ای با اقلیم خشک انجام شده است. منطقه مورد مطالعه بخش مرکزی شهرستان ارزوئیه می‌باشد که شامل دهستان‌های وکیل‌آباد، دولت‌آباد، قادرآباد، تخت‌خواجه، سلطان‌آباد و شهر شاهماران است (شکل ۱).

مدیریت مطلوب آبیاری در محدوده زراعی خود شوند (Rao et al., 2016) (Maroofpour et al., 2016) در مطالعه خود یافتند که بهبود و افزایش بهره‌وری آب کشاورزی در کشورهای در حال توسعه که از وضعیت سطح آب زیرزمینی مناسبی برخوردار نمی‌باشد، یکی از مهم‌ترین راهکارهایی است که می‌توان انجام داد.

با استفاده بهینه از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، توجه بیشتر به برآورد دقیق میزان تبخیر و تعرق گیاهان از جایگاه خاصی برخوردار است. بنابراین هدف از مطالعه حاضر برآورد دقیق مقدار هیدرومدول و محاسبه بهره‌وری مصرف آب محصول گندم با لحاظ برنامه‌ریزی آبیاری صحیح می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت شهرستان ارزوئیه در کرمان و ایران

### محاسبات تبخیر تعرق گیاه مرجع

برای انجام محاسبات تبخیر تعرق گیاه مرجع از نرم‌افزار Cropwat 8 استفاده گردید. سازمان فائو برای محاسبه نیاز آبی گیاهان بر اساس روش فائو-پنمن-مونتیث که در شرایط آب و هوایی خشک و مرطوب کاربرد دارد، نرم‌افزار Cropwat را تهیه کرده است. داده‌های ورودی این نرم‌افزار علاوه بر اطلاعات مربوط به موقعیت جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه مورد بررسی، عبارت از ۱-

میانگین‌های حداکثر و حداقل دما، ۲- میانگین رطوبت نسبی، ۳- سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین و ۴- ساعات آفتابی روزانه می‌باشد. در نرم‌افزار Cropwat با استفاده از پارامترهای بالا کمیتی به نام ETO، که معرف تبخیر تعرق گیاه مرجع است، به صورت ماهانه محاسبه شد. با توجه به اهداف این مطالعه و جهت تعیین تبخیر تعرق برای محصول گندم در شهرستان ارزوئیه اطلاعات هواشناسی ماهیانه ۱۶ ساله جمع‌آوری و مورد پردازش

مورد نظر، اخذ گردید. مشخصات ایستگاه فوق در جدول (۱) ارائه شده است. لازم به ذکر است اقلیم ایستگاه مذکور، گرم و خشک می‌باشد.

قرار گرفت. داده‌های هواشناسی مورد نیاز به دلیل عدم وجود ایستگاه هواشناسی در منطقه مورد مطالعه، از ایستگاه هواشناسی حاجی‌آباد (در استان هرمزگان) در فاصله ۲۰ کیلومتری منطقه

جدول ۱- مختصات جغرافیایی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک حاجی‌آباد

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)
حاجی‌آباد	سینوپتیک	۲۸,۱۹	۵۵,۵۵	۹۳۱

مأخذ: اداره کل هواشناسی استان هرمزگان

سازمان هواشناسی هرمزگان اخذ گردید و با استفاده از روش درصدی محاسبه شد. در روش درصدی که توسط FAO ارائه شده، بارندگی مؤثر ۸۰ درصد بارش ماهانه قلمداد می‌شود. همچنین با توجه به اینکه گیاه گندم به صورت متراکم کشت می‌شود، در اوایل کشت سطح سایه انداز کم بوده و در طول رشد گندم سطح سایه انداز افزایش یافته و در اواسط کشت به میزان ۱۰۰ درصد می‌رسد. بنابراین با توجه به مطالب فوق سطح سایه انداز گندم در طول فصل رشد به صورت میانگین ۸۰ درصد در نظر گرفته شده است.

علاوه بر آن، راندمان آبیاری قطره‌ای (Ea) بستگی به راندمان مزرعه (TR) و راندمان یکنواختی توزیع (Eu) دارد که در رابطه ۴ مشخص شده است.

راندمان مزرعه با توجه به تبخیر و تعرق پتانسیل و آب مصرفی در مزرعه تعیین می‌شود. در مناطق خشک راندمان مزرعه (TR) به میزان ۹۰٪ نشان دهنده یک مدیریت خوب می‌باشد. در یک مدیریت عالی ممکن است تا ۹۵٪ نیز برسد، در شرایط ایران این راندمان را نباید بیش از ۸۵٪ در نظر گرفت. در مناطق مرطوب راندمان مزرعه نزدیک به ۱۰۰٪ و در یک مدیریت خوب نیز در نظر گرفتن راندمان مزرعه TR به میزان بیش از ۹۰٪ نمی‌تواند مورد اطمینان باشد (فرشی و همکاران، ۱۳۸۲).

مقدار ضریب یکنواختی برای سامانه قطره‌ای (تیپ) ۹۰ درصد و نسبت انتقال یک در کشور فرض شده است.

$$E_a = TR \times E_{ii} \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن  $E_a$  بازده سامانه (درصد)،  $E_{ii}$  ضریب یکنواختی، TR راندمان مزرعه می‌باشد. نیاز ناخالص گیاه نیز طبق رابطه (۵)

$$I_g = \frac{I_n}{\left(\frac{E_a}{100}\right)} \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در آن  $I_g$  نیاز ناخالص گیاه (mm)،  $I_n$  مقدار نیاز خالص آبیاری (mm)،  $E_a$  بازده سامانه (درصد) می‌باشد. همچنین استفاده از رابطه (۶) هیدرومدول آبیاری محصول گندم محاسبه می‌شود. که در آن  $H_m$  هیدرومدول (lit/s/ha)،  $I_g$  نیاز ناخالص

سرعت باد اندازه‌گیری شده با استفاده از رابطه ۱ به ارتفاع دو متری که مورد نیاز مدل است تبدیل شده است.

$$U_2 = 1.178 * u_z \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن  $U_2$  سرعت باد در ارتفاع دو متری،  $U_z$  سرعت باد در ارتفاع  $z$  و  $z$  ارتفاع اندازه‌گیری سرعت باد بر حسب متر است.

لازم به ذکر است برای این که بتوان نتایج تبخیر تعرق گیاه مرجع را به تبخیر تعرق گیاه مورد نظر تعمیم داد، ابتدا می‌بایست مقادیر ETO بدست آمده از نرم‌افزار Cropwat در ضریب گیاهی KC ضرب شود. همچنین برای تعیین ضریب گیاهی در طول فصل رشد گیاه به چهار مرحله (اولیه، توسعه، میانی و نهایی) تقسیم می‌شود. سپس با تعیین مقادیر ضرایب گیاهی اولیه (KC in)، میانی (KC mid)، و نهایی (KC end)، ابتدا منحنی تغییرات ضریب گیاهی در طول فصل رشد رسم و سپس از روی منحنی مربوطه، ضریب گیاهی مربوط به هر مرحله رشد گیاه تعیین گردید (Erfanian et al., 2011).

$$ET_{crop} = K_c \cdot ET_o \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن  $ET_o$  تبخیر تعرق گیاه مرجع  $K_c$ ، mm/day ضریب گیاهی و  $ET_{crop}$  تبخیر تعرق گیاه مورد نظر mm/day است.

مقدار تعرق روزانه در آبیاری قطره‌ای، که برابر با نیاز آبی روزانه گیاه فرض می‌شود تابعی از سطح سایه‌انداز گیاه و تبخیر تعرقی است که به روش‌های موسوم برای سایر روش‌های آبیاری محاسبه گردید. جهت تعیین حداکثر تعرق روزانه از رابطه (۳) در سامانه قطره‌ای استفاده شد.

$$T_r = ET_c \left[ P_s + 0.15(1 - P_s) - R_e \right] \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن  $T_r$  مقدار نیاز آبی یا تعرق روزانه در آبیاری قطره‌ای (میلیمتر)،  $ET_c$  مقدار تبخیر و تعرق گیاه مورد نظر (میلیمتر)،  $P_s$  سطح سایه‌انداز گیاه (درصد) و  $R_e$  باران مؤثر (میلیمتر) می‌باشد.

میزان بارش ماهانه در طی سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۱۷ از

گیاه (mm) می‌باشد.

$$H_m = \frac{I_g \times 10000}{86400} \quad (\text{رابطه ۶})$$

به طور کلی بهره‌وری آب کشاورزی از دیدگاه‌های مختلفی قابل بحث و بررسی است. در مطالعه حاضر از شاخص‌های فیزیکی و اقتصادی بهره‌وری آب استفاده شده است. لذا شاخص‌های فیزیکی و اقتصادی بهره‌وری آب به ترتیب شامل شاخص عملکرد به ازای واحد حجم آب (بهره‌وری فیزیکی مصرف آب ۱) و بازده خالص به ازای واحد حجم آب (بهره‌وری اقتصادی مصرف آب ۲) برای محاسبه بهره‌وری آب مورد استفاده قرار گرفته است. به طور کلی، بهره‌وری از نسبت خروجی‌ها به ورودی‌ها به دست می‌آید. برای استفاده‌ی بهتر از مفهوم بهره‌وری، می‌توان مفهوم آن را به سه بخش فیزیکی ۳، فیزیکی-اقتصادی ۴ و اقتصادی ۵ تقسیم نمود [۲۱]. در این پژوهش بهره‌وری فیزیکی (CPD) با استفاده از رابطه‌ی (۷) محاسبه می‌شود.

$$CPD = \frac{TP}{TWC} \quad (\text{رابطه ۷})$$

که در آن TP مقدار محصول تولید شده یا میزان عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار) و TWC حجم آب مصرف شده (متر-مکعب) در هکتار بدون در نظر گرفتن بارندگی است. اگرچه این شاخص معیار خوبی جهت مقایسه میزان بهره‌وری در یک محصول بخصوص می‌باشد و همچنین محاسبه و تامین اعداد اولیه آن به سهولت امکان‌پذیر می‌باشد ولی باید توجه کرد با افزایش تنوع محصولات میزان خطای این شاخص افزایش می‌یابد. یکی دیگر از شاخص‌های بهره‌وری مورد استفاده، شاخص درآمد خالص بازای واحد حجم آب (NBPD) است. شاخص مذکور یکی از بهترین شاخص‌ها برای سنجش بهره‌وری آب کشاورزی است. در

جدول) ارائه شده است. براساس جدول (۲)، حجم آب مصرف شده در مزرعه شماره ۱، ۲ و ۳ به ترتیب برابر ۶۸۰۴، ۴۹۱۴ و ۶۴۸۰ مترمکعب است. با توجه به حجم آب مورد نیاز

این روش بر خلاف روش قبل به جای در نظر گرفتن سود ناخالص در صورت کسر، میزان سود خالص در صورت کسر قرار می‌گیرد. شاخص درآمد خالص بازای واحد حجم آب در رابطه (۸) نشان داده شده است.

$$NBPD = \frac{NB}{TWC} \quad (\text{رابطه ۸})$$

که در آن NB میزان سود خالص (ریال) در هر هکتار است. اگر هدف ما افزایش بهره‌وری از منظر اقتصادی باشد این شاخص بهترین روش مقایسه می‌باشد. بر اساس رابطه فوق هر محصولی که با مقدار کمتری آب بتواند سود بیشتری بدهد برای کشت و کار بهتر است. البته لازم به ذکر است در کلیه تحلیل‌ها باید سایر عوامل موثر در امر تولید از قبیل خود کفایی، امنیت شغلی و ... را نیز باید مد نظر داشت، زیرا ممکن است بر اساس شاخص‌های ذکر شده تولید بعضی از محصولات به هیچ وجه توجیه اقتصادی نداشته باشد (Ehsan and Khaledi, 2005).

لازم به ذکر است در مطالعه حاضر جهت دستیابی به اهداف تحقیق سه مزرعه نمونه گندم تحت آبیاری قطره‌ای (تیپ) در سال زراعی ۹۷-۹۸ در شهرستان ارزوئیه انتخاب گردید. در این مزارع ابتدا با استفاده از روش پیمایشی و تکمیل پرسشنامه، اطلاعات مرتبط با میزان دبی آب ورودی به سامانه آبیاری، تقویم زراعی گندم (شامل تاریخ‌های کاشت، برداشت، آبیاری‌ها)، ساعت و دور آبیاری در هر نوبت آبیاری، تعداد نوبت‌های آبیاری، میزان عملکرد گندم و همچنین هزینه‌های انجام شده در طول دوره رشد، از کشاورزان مورد پرسش قرار گرفته است. پس از آن حجم آب مصرفی برای طول دوره رشد و عملکرد محصول گندم در واحد هکتار محاسبه گردید که در

گندم با استفاده نرم افزار Cropwat (مقدار ۵۰۵۲ مترمکعب) مشهود است که مزرعه شماره (۳) با مصرف آب ۴۹۱۴ متر مکعب، به مقدار حجم آب مورد نیاز محاسبه شده نزدیک تر است.

جدول ۲- مشخصات مزارع گندم منتخب در شهرستان ارزوئیه

مزرعه شماره ۱	مزرعه شماره ۲	مزرعه شماره ۳	مشخصات
۶۰	۲۰	۳۵	دبی آب طرح (لیتر / ثانیه)
۹/۱۰	۹/۱۵	۹/۵	تاریخ کاشت
۳/۱۵	۳/۲۵	۳/۲۰	تاریخ برداشت
۹/۱۲	۹/۱۷	۹/۷	تاریخ اولین آبیاری
۲/۲۰	۲/۲۵	۲/۱۵	تاریخ آخرین آبیاری
۶	۶	۴	دور آبیاری (روز)
۳	۴/۵	۱/۵	ساعت آبیاری
۲	۱	۱	مساحت هر قطعه (هکتار)
۲۱	۲۰	۲۶	تعداد نوبت آبیاری

تقویم زراعی

۸۰۰۰	۶۰۰۰	۶۵۰۰	عملکرد محصول (کیلوگرم)
۴۹۱۴	۶۴۸۰	۶۸۰۴	حجم آب مصرفی (مترمکعب)
۴۰	۳۸	۳۶	هزینه‌های انجام شده (میلیون ریال)

## نتایج و بحث

مربوطه انجام گردید. در

محاسبه هیدرومدول با استفاده از مقادیر Cropwat و فرمول‌های

ارزوبه نشان داده شده است. حداکثر هیدرومدول آبیاری در اردیبهشت ماه، ۰/۶۴ لیتر بر ثانیه در واحد هکتار می‌باشد.

جدول (۳) نتایج محاسبات برای ماه‌های رشد گندم در شهرستان

جدول ۳- محاسبات هیدرومدول با استفاده از مقادیر Cropwat در سال ۹۶-۹۷

ماه	نیاز خالص آبیاری (mm/day)	تعرق متوسط روزانه (mm/day)	ضریب آبشویی	نیاز ناخالص آبیاری (mm)	هیدرومدول (l/s/ha)
آذر	۲/۲	۱/۸۱	۰	۲/۰۱	۰/۲۳
دی	۲	۱/۶۹	۰	۱/۸۸	۰/۲۲
بهمن	۱/۹	۱/۵۶	۰	۱/۷۳	۰/۲
اسفند	۱/۷	۱/۳۹	۰	۱/۵۵	۰/۱۸
فروردین	۴/۲	۳/۴۹	۰	۳/۸۷	۰/۴۵
اردیبهشت	۶	۵	۰	۵/۵۶	۰/۶۴

پنمن-مانتیت به علت در دسترس نبودن داده‌ها قابل کاربرد نیست، از روش هارگریوز-سامانی بهتر است استفاده شود. همچنین روش جنسن-هیز در مناطق خشک ایالات متحده آمریکا برای محاسبه تبخیرتعرق پتانسیل استفاده شده است. در جدول (۴) مقادیر محاسبه شده بر اساس سه روش مذکور، و در جدول (۵) نتایج کراپوات در مقدار و زمان آبیاری ارائه شده‌اند.

علاوه بر محاسبه تبخیرتعرق پتانسیل با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT به منظور بررسی صحت عملکرد نرم‌افزار از دو روش هارگریوز-سامانی و جنسن-هیز نیز برای محاسبه تبخیرتعرق پتانسیل استفاده شده است. لازم به یادآوری است که روش هارگریوز-سامانی مبتنی بر درجه حرارت هوا است و طبق توصیه شوتلورث<sup>۱</sup> (1993) در مناطقی که روش

جدول ۴- مقایسه مقادیر تبخیرتعرق محاسبه شده در CROPWAT با روش‌های هارگریوز-سامانی و جنسن-هیز

نام ماه	Cropwat	جنسن-هیز	هارگریوز-سامانی
دی	۸۳/۸۴	۶۴/۷	۷۳/۵
بهمن	۹۰/۵۸	۷۶	۸۰/۹
اسفند	۱۴۳/۵۹	۱۱۸	۱۳۱
فروردین	۱۷۹/۴۴	۱۶۴/۵	۱۶۵/۵
اردیبهشت	۲۵۸/۸۱	۲۴۳/۶	۲۲۷/۵
خرداد	۲۹۲/۰۹	۲۹۵/۲	۲۵۱/۳
تیر	۳۰۳/۰۳	۳۰۲/۱	۲۵۶/۴
مرداد	۳۰۴/۵۸	۲۹۴/۳	۲۲۹
شهریور	۲۵۲/۷۷	۲۴۵/۱	۱۹۵
مهر	۱۸۸/۹۵	۱۷۷/۴	۱۶۱/۲
آبان	۱۲۰/۹۲	۱۱۰/۲	۱۰۶/۴
آذر	۸۹/۰۳	۷۱/۳	۷۷/۲
کل	۲۳۰۷/۶۰	۲۱۶۲/۴	۱۹۵۴/۹

بدست آمده است. در جدول (۶) مقدار حجم آب مورد نیاز گندم در ماه‌های فصل رشد و نهایتاً مجموع حجم آب مورد نیاز در کل فصل رشد گندم بر حسب متر مکعب در هکتار ارائه شده است.

در این مطالعه به منظور محاسبه حجم آب مورد نیاز گندم در طول فصل رشد، از هیدرومدول محاسبه شده توسط مقادیر نرم‌افزار CROPWAT استفاده شده است. در مرحله بعد با جمع کردن حجم آب موردنیاز در ماه‌های فصل رشد، مقدار حجم آب مورد نیاز در واحد هکتار در طول دوره رشد گندم

جدول ۵- نتایج Cropwat در منطقه مطالعاتی

ماه	نیاز خالص آبیاری (mm)	تعرق متوسط روزانه (mm/day)	ضریب آبیاری	نیاز ناخالص آبیاری (mm)	هیدرومدول (l/s/ha)
فروردین	۴/۲	۳/۴۹	.	۳/۸۷	۰/۴۵
اردیبهشت	۶	۵	.	۵/۵۶	۰/۶۴
آذر	۲/۲	۱/۸۱	.	۲/۰۱	۰/۲۳
دی	۲	۱/۶۹	.	۱/۸۸	۰/۲۲
بهمن	۱/۹	۱/۵۶	.	۱/۷۳	۰/۲
اسفند	۱/۷	۱/۳۹	.	۱/۵۵	۰/۱۸

در شرایط حاضر مهمترین چالش بخش کشاورزی، افزایش بهره‌وری آب است. متأسفانه تاکنون در کشور ما تعیین و تحلیل شاخص بهره‌وری آب در کشاورزی مورد توجه جدی قرار نگرفته است و این امر موجب عدم اطمینان از مصرف صحیح آب در بخش کشاورزی شده است. افزایش بهره‌وری آب یکی از راه‌کارهای مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی و افزایش بازده مصرف آن می‌باشد. برای بهبود بهره‌وری آب در شبکه‌های آبیاری، تعیین دقیق نیاز آبی گیاهان و برآورد دقیق مقدار تبخیرتعرق امری ضروری است، که به کمک آن می‌توان مدیریت مصرف آب در کشاورزی را بهبود بخشید. در این تحقیق برای مشخص شدن میزان بهره‌وری واقعی آب برای محصول گندم در شهرستان ارزوئیه از اطلاعات مربوط به مزرعه شماره (۳) استفاده می‌شود. در این مزرعه حجم آب مصرفی، میزان عملکرد و هزینه‌های انجام شده در طول فصل رشد مشخص شد. با توجه به قیمت گندم که در کشور، در سال ۱۳۹۸ مقدار ۱۳۰۰۰ ریال تعیین شده، میزان درآمد و سود خالص حاصل از کشت محصول گندم محاسبه گردید که نتایج آن در (۷) ارائه شده است.

جدول ۷- مشخصات مزرعه انتخاب شده به منظور محاسبه بهره‌وری مصرف آب

مشخصات	مزرعه شماره ۳
عملکرد محصول (کیلوگرم)	۸۰۰۰
هزینه‌های انجام شده (هزار ریال)	۴۰۰۰۰
درآمد (هزار ریال)	۱۰۴۰۰۰
سود خالص (هزار ریال)	۶۴۰۰۰
بهره‌وری فیزیکی CPD (کیلوگرم/مترمکعب)	۱/۶
بهره‌وری اقتصادی NBPD (ریال/مترمکعب)	۱۳۰۲۴
حجم آب مصرفی (مترمکعب)	۴۹۱۴

جدول ۷- مشخصات مزرعه انتخاب شده به منظور محاسبه بهره‌وری مصرف آب

مشخصات	مزرعه شماره ۳
عملکرد محصول (کیلوگرم)	۸۰۰۰
هزینه‌های انجام شده (هزار ریال)	۴۰۰۰۰
درآمد (هزار ریال)	۱۰۴۰۰۰

در مزارع مورد مطالعه تاریخ اولین آبیاری گندم در شهرستان ارزوئیه از اواخر آبان ماه شروع شده و تا پایان اردیبهشت ماه ادامه دارد. در طول این مدت با توجه به دور آبیاری و ساعت آبیاری و همچنین با استفاده از سطح هر شیفت در یک نوبت آبیاری، میزان حجم آب در یک نوبت آبیاری محاسبه شده است. سپس با ضرب کردن حجم آب یک نوبت آبیاری در تعداد دفعات آبیاری مزرعه، حجم آب مصرف شده برای آبیاری گندم در طول فصل رشد آن برای یک هکتار محاسبه گردید که نتایج آن در جدول (۶) ارائه شده است. هم‌گونه که در جدول (۶)، مشخص است حجم آب مصرفی گندم در طول فصل رشد ۵۰۵۲ متر مکعب در واحد هکتار است.

جدول ۶- حجم آب مورد نیاز گندم در ماه‌های فصل رشد در سال‌های ۹۷-۹۶

ماه	هیدرومدول $l/s/ha$	حجم آب مورد نیاز گندم $m^3/month/ha$
آذر	۰/۲۳	۶۱۱/۵۱
دی	۰/۲۲	۵۷۲/۲۴
بهمن	۰/۲	۵۲۷/۳۶
اسفند	۰/۱۸	۴۷۱/۲۶
فروردین	۰/۴۵	۱۱۷۸/۱۴
اردیبهشت	۰/۶۴	۱۶۹۱/۴۷
حجم آب مورد نیاز گندم در طول فصل رشد		۵۰۵۲

لازم به ذکر است که با توجه به اینکه در مدیریت آبیاری سامانه‌های قطره‌ای نیاز به دور آبیاری و ساعت آبیاری کمتر است، بنابراین مزرعه سوم با دور آبیاری چهار روز و ساعت آبیاری ۱/۵ ساعت مناسب‌ترین مدیریت آبیاری را در بین سه مزرعه انتخابی دارد. همچنین با توجه به مدیریت صحیح آبیاری و مدیریت مناسب مزرعه (شامل کود مناسب، مبارزه با علف هرز، کنترل محیطی و...)، مقدار عملکرد محصول نیز بیشتر از دو مزرعه دیگر است. بنابراین برای محاسبه بهره‌وری مصرف آب محصول گندم در شهرستان ارزوئیه، مزرعه سوم به عنوان نمونه انتخاب شده است.



۶۴۰۰۰	سود خالص (هزار ریال)
۱/۶	بهره‌وری فیزیکی CPD (کیلوگرم/مترمکعب)
۱۳۰۲۴	بهره‌وری اقتصادی NBPD (ریال/مترمکعب)
۴۹۱۴	حجم آب مصرفی (مترمکعب)

به دنبال آن بهره‌وری مصرف آب نیز افزایش خواهد یافت. وزارت جهاد کشاورزی در واحد محدودیت و برنامه‌ریزی برای مدیریت تولید محصولات کشاورزی، میزان مصرف آب را برای تولید محصول گندم ۱۳۰۰ لیتر عنوان کرده است. بر اساس شاخص بهره‌وری فیزیکی CPD در تولید محصول گندم (در استفاده از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای) مقدار ۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب در منطقه مورد مطالعه به دست آمد. طبق نتایج، بهره‌وری اقتصادی NBPD برای محصول گندم در منطقه مورد مطالعه ۱۳۰۲۴ ریال بر متر مکعب محاسبه شده است. مقدار به دست آمده در این تحقیق نشان دهنده این است که در صورت تامین نیاز آبی واقعی گندم و مدیریت صحیح آبیاری در مزارع، محصول گندم بازده اقتصادی زیادی خواهد داشت. بنابراین با مشخص شدن میزان نیاز آبی گندم و اعمال مدیریت صحیح در توزیع این مقدار نیاز آبی، هم باعث کاهش میزان مصرف و هم متضمن منافع اقتصادی زیاد برای کشاورزان و بهره‌برداران کشاورزی می‌شود. تعیین مقدار شاخص بهره‌وری مصرف آب و تحلیل آن از نظر برنامه‌ریزی الگوی کشت، مدیریت جامع منابع آب و اقتصاد کشاورزی در مناطق مختلف و نیز مقایسه با میانگین جهانی، اهمیت دارد. در مزرعه شماره ۳ به نسبت سایر مزارع مقدار شاخص‌ها بهتر بوده است و همچنین با تعیین این شاخص می‌توان به اندازه این شاخص و دلایل کم بودن آن از لحاظ مسائل و مشکلات مدیریت آبیاری و به‌زراعی متناسب با آنها راهکارهای لازم برای ارتقای آن را ارائه کرد. بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، شاخص بهره‌وری فیزیکی CPD در تولید محصول گندم (در استفاده از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای) برابر ۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب و بهره‌وری اقتصادی بر اساس شاخص سود حاصل شده به‌ازای هر واحد آب مصرفی برابر ۱۳۰۲۴ ریال بر متر مکعب در منطقه مورد مطالعه محاسبه شد.

### سپاس‌گزاری

این مقاله با حمایت و کمک‌های مالی معاونت پژوهشی و فن‌آوری دانشگاه زابل و از محل پژوهانه UOZ-GR-9618-113 تهیه شده است که بدین‌وسیله، مولفین مقاله مراتب تقدیر و سپاس‌گزاری خود را بیان می‌دارند.

"هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

### REFERENCES

Abolpour., B. (2010). Cultivation pattern in proportion to the capacity of water resources in the face of drought., Drought coping strategies workshop. P:

براساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، شاخص بهره‌وری فیزیکی CPD در تولید محصول گندم (در استفاده از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای) مقدار ۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب در منطقه مورد مطالعه تعیین گردید. در جدول (۷) بهره‌وری اقتصادی استفاده از آب در مورد محصول گندم بر اساس شاخص سود حاصل شده به‌ازای هر واحد آب مصرفی برآورد شده است که بهره‌وری اقتصادی NBPD برای محصول گندم در منطقه مورد مطالعه ۱۳۰۲۴ ریال بر متر مکعب محاسبه شده است. با توجه به اینکه بهترین شاخص برای بررسی بهره‌وری آب کشاورزی سود خالص به‌ازای واحد آب مصرفی (NBPD) می‌باشد، مقدار به دست آمده در این تحقیق نشان دهنده این است که در صورت تامین نیاز آبی واقعی گندم و مدیریت صحیح آبیاری در مزارع، محصول گندم بازده اقتصادی زیاد و قابل توجهی خواهد داشت. بنابراین مشخص شدن میزان نیاز آبی گندم و اعمال مدیریت صحیح در توزیع این مقدار نیاز آبی ضمن کاهش میزان مصرف آب، متضمن منافع اقتصادی زیاد برای کشاورزان و بهره‌برداران کشاورزی می‌باشد. تعیین مقدار شاخص بهره‌وری مصرف آب و تحلیل آن از نظر برنامه‌ریزی الگوی کشت، مدیریت جامع منابع آب و اقتصاد کشاورزی در مناطق مختلف و نیز مقایسه با میانگین جهانی، اهمیت دارد. با تعیین این شاخص می‌توان به مسائل و مشکلات مدیریت آبیاری پی برد و راهکارهای لازم برای ارتقای آن را ارائه کرد. استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای باعث افزایش بهره‌وری آب به میزان ۲۴/۲ درصد نسبت به سامانه آبیاری نواری می‌شود. اگرچه مقدار اندکی در حدود ۱۰/۸ درصد کاهش عملکرد دانه را به دنبال داشته است. بنابراین طبق نتایج، سامانه آبیاری تیپ راهکاری به منظور مدیریت بهتر و بالا بردن بهره‌وری آب در شرایط کم آبی فعلی می‌تواند برای گیاهان متراکمی مانند گندم جایگزین مناسبی باشد (Chouhan et al., 2015).

### نتیجه‌گیری

براساس نتایج به دست آمده از این مطالعه در صورتی که مقدار آب مورد نیاز در اختیار گندم قرار گیرد و مدیریت صحیح آبیاری در مزارع اجرا گردد، میزان عملکرد محصول گندم افزایش یافته و

120. (In Farsi)

Ahmadi Adli, R. (2012). Use of Class A evaporator for irrigation planning, an effective step in optimal

- management of water at the farm scale (Case study: Ardabil, Iran). Eleventh Irrigation Congress: Evaporation Reduction. Kerman, Iran. 123-436. (In Farsi)
- Erfanian, M., Alizadeh, A., & Mohammadian, A. (2011). An Investigation on the Possible Differences between Present Crops Water Requirements and National Documents of Irrigation. *Irrigation and Drainage of Iran* 3 (3): 478-492. (In Farsi)
- Allen RG., Jensen ME., Wright JL. and Burman RD. (1989). Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agronomy Journal* 81: 650-662.
- Babazadeh, H. & Iftikhar, Sh.. (2011). Optimal Irrigation Planning in Low Irrigation Conditions of Wheat, Barley and Corn Crops in Cold and Moderate Climates, The First National Conference on Meteorology and Agricultural Water Management, Karaj. (In Farsi)
- Chouhan, S. S., Awasthi, M. K., & Nema, R. K. (2015). Studies on water productivity and yields responses of wheat based on drip irrigation systems in clay loam soil. *Indian Journal of science and Technology*, 8(7): 650-654.
- Dehghani Sanij, H. , Nakhjavani Moghaddam, M. & Akbari, M. (2007). Evaluation of water use efficiency based on regional regulations and scarcity irrigation. *Irrigation and Drainage of Iran* 2 (1): 77-91. (In Farsi)
- Hargreaves, G.H. (1994). Defining and using reference evapotranspiration. *J. of Irrig. and Drain. Eng.*, ASCE, 120 (6): 1132-1139.
- Howell TA., Evett SR., Schneider AD. and Duesek DA, Copelland KS. (2000). Irrigated fescue grass ET compared with calculated reference grass ET. *Proceedings of 4<sup>th</sup> National Irrigation Symposium*, American Society of Agricultural Engineers: St. Joseph, MI; 228-242.
- Karbasi, M., Ismaili, M., Taheri, M & Bazargan, J. (2011). Study and estimation of water needs of crops and orchards using different methods to provide a suitable cultivation pattern in the irrigation and drainage network of Qara Daragh Dam, 11th National Seminar Irrigation and evaporation reduction, Kerman. (In Farsi)
- Lecina, S., E. Playan, and D. Isidoro. (2005). Irrigation evaluation and simulation at the irrigation district V of Bardenas (Spain). *Agricultural Water Management*, 73: 223-245.
- Maroofpour, A. , Watankhah, F. And Behzadi Nasab, M. (2016), Evaluation of efficiency of drip irrigation system in some farms of Zarrineh River Miandoab. *Irrigation and Water Engineering* 7 (25): 83-96. (In Farsi)
- Piri, H. (2012) Technical evaluation of drip irrigation systems (Case study: Sarbaz city). 5: 19-36. (In Farsi)
- Rao, K. V. R., Bajpai, A., Gangwar, S., Chourasia, L., and Soni, K. (2016). Maximizing water productivity of wheat crop by adopting drip irrigation. *Research on Crop*, 17(1): 163-168.
- Soleimani, H. And Hasanli, A. M. (2009), Estimation of unit cost of water, water efficiency (WUE) and water added value for major products of Darab as a dry area. *Dynamic Agriculture Quarterly* 5 (1): 45-60. (In Farsi)
- Wright JL., Allen, RG., and Howell TA. (2000). Conversion between evapotranspiration references and methods. *Proceedings of 4th references and methods. Proceeding of 4th National Irrigation Symposium*, American Society of Agricultural Engineers: St. Joseph, MI.; 251-259.