



تعیین تاریخ مناسب کاشت گندم در شبکه آبیاری کوثر به منظور کاهش اثرات تنش آبی با استفاده از مدل AquaCrop

فصلنامه بوم‌شناسی گیاهان زراعی

جلد ۱۷، شماره ۱، صفحات ۶۳-۷۷

(بهار ۱۴۰۰)

مریم عابدی^۱، اصلان اگدرنژاد^۱✉، نیاز علی ابراهیمی پاک^۲

۱- گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۲- بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

(نویسنده مسئول): ✉ a_eigder@gmail.com

شناسه مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۵

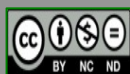
واژه‌های کلیدی

- ❖ برنامه‌ریزی آبیاری
- ❖ دشت کویر
- ❖ زمان کاشت
- ❖ مدل آب-محور
- ❖ مدل‌سازی گیاهی

چکیده

با توجه به اینکه تاریخ کاشت، اثر زیادی بر عملکرد و رشد گیاه گندم در استان خوزستان دارد، در این پژوهش از مدل واسنجی شده AquaCrop برای تعیین اثر زمان کاشت در سه پایلوت مختلف در شبکه آبیاری کوثر استفاده شد. با توجه به اینکه گندم در این شبکه در آبان ماه کاشته می‌شود، سه زمان در سه دهه اول، دوم و سوم آبان برای شبیه‌سازی انتخاب شد. نتایج نشان داد که دقت این مدل برای شبیه‌سازی دو پارامتر عملکرد (EF=۰/۶ و d=۰/۹۹) و کارآیی مصرف آب (EF=۰/۸ و d=۰/۹۹) قابل قبول بود. نتایج شبیه‌سازی عملکرد گندم برای دهه‌های اول، دوم و سوم آبان به ترتیب برابر با ۳/۵، ۳/۶ و ۳/۷ تن در هکتار بود. متوسط عملکرد در پایلوت‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب برابر با ۳/۹، ۳/۶ و ۳/۲ تن در هکتار به دست آمد. مقدار کارآیی مصرف آب برای دهه‌های اول، دوم و سوم آبان به ترتیب برابر با ۱/۰۶، ۱/۰۵ و ۱/۰۵ کیلوگرم در مترمکعب بود. متوسط کارآیی مصرف آب برای پایلوت‌های ۱، ۲ و ۳ نیز به ترتیب برابر با ۰/۹۴، ۱/۰۷ و ۱/۱۵ کیلوگرم در مترمکعب تعیین شد. بنابراین اگر هدف از تغییر تاریخ کاشت، افزایش عملکرد باشد، بهتر است کشت گندم به دهه سوم آبان منتقل شود. اگر نیاز است کارایی مصرف آب افزایش یابد، می‌بایست برنامه‌ریزی آبیاری به درستی انجام شود و مقادیر آب آبیاری در زمان‌های بارش، کاهش یابد.

این مقاله با دسترسی آزاد تحت شرایط و قوانین The Creative Commons of BY- NC- ND انتشار یافته است.



10.22034/AEJ.2022.696786

مقدمه

گندم یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی در دنیا است به طوری که غذای اکثر مردم جهان را شامل می‌شود. در ایران نیز این گیاه زراعی حدود ۴۵ درصد کالری و ۷۰ درصد پروتئین مصرفی را تأمین می‌کند. به همین دلیل، کشت این گیاه بسیار گسترده است و تقریباً در همه استان‌های کشور و از جمله خوزستان کشت می‌شود. استان خوزستان به دلیل وجود منابع آبی متعدد، یکی از مراکز عمده کشت این گیاه زراعی به‌شمار می‌رود. با این وجود، مقدار آب مصرفی نسبت به عملکرد به دست آمده، بسیار بالا است (Farahani and Oweis, 2008; Tavakoli et al., 2008). از جمله مشکلات کاهش عملکرد در این استان را می‌توان به تاریخ کاشت نامناسب نسبت داد. این موضوع به دلیل عدم برنامه‌ریزی مناسب آبیاری، اثر زیادی بر عملکرد گندم دارد. این موضوع به خصوص در شرایط خشکسالی، اثر بیشتری پیدا می‌کند. گندم به میزان آب در دسترس به خصوص در اوایل دوره رشد و دوره گلدهی، بسیار حساس است (Tavakoli et al., 2008). به همین دلیل، تأمین نیاز آبی آن اثر زیادی بر بهره‌وری مصرف آب این گیاه زراعی دارد (Blum, 2009; Farre and Face, 2009; Garcia-Vila and Fereres, 2012). نتایج به دست آمده از زراعت گندم در استان خوزستان نشان داده است که بهره‌وری مصرف آب گندم بین ۰/۳ تا ۰/۵ کیلوگرم بر مترمکعب است که مقدار پایینی است (Farahani and Oweis, 2008; Tavakoli et al., 2008).

برای تعیین مناسب‌ترین زمان کاشت گندم، نیاز است آزمایش‌های متعددی در شرایط مزرعه در هر کدام از شبکه‌های آبیاری این استان انجام شود. انجام کلیه این پژوهش‌ها، بسیار هزینه‌بر و زمان‌بر خواهد بود. به منظور رفع این مشکل، محققان مدل‌های گیاهی مختلفی را بسط داده‌اند تا با استفاده از آن‌ها بتوان سناریوهای مختلف تأمین آب را بر گیاهان زراعی بررسی کرد (Geerts and Raes, 2009; Ebrahimipak et al., 2019; Ebrahimipak et al., 2018). مدل‌های گیاهی ابزاری ارزشمند برای پیش‌بینی و تخمین نتایج حاصل از سناریوهای مختلف در مزرعه می‌باشند (Salemi et al., 2011; Egdermezhad et al., 2019). بنابراین اگر به درستی واسنجی شوند، می‌توان به نتایج بدست آمده از آن‌ها اعتماد کرد.

مدل گیاهی AquaCrop یکی از مهم‌ترین مدل‌های گیاهی است که توسط سازمان خوار و بار کشاورزی (فائو) بسط داده شده است. این مدل به دلیل سادگی، نیاز به داده‌های کمتر، کاربردی بودن و دقت قابل قبول نسبت به سایر مدل‌های رشد گیاهی، برتری دارد (Heng et al., 2009; Egdermezhad et al., 2019). به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد این مدل، محققان بسیاری از آن برای شبیه‌سازی عملکرد گیاهان زراعی در شرایط مختلف زراعی استفاده کرده‌اند. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به تحقیقات انجام شده روی گیاهان ذرت و چغندر قند اشاره کرد (Hsiao et al., 2009; Masanganise et al., 2013). استفاده از مدل AquaCrop در شرایط مدیریت آبیاری در مزارع نیز مورد توجه برخی محققان مانند گارسیا ویلا و فرس (۲۰۱۲)، بوده است (Garcia-Vila and Fereres, 2012). این محققان سناریوهای کاهش سطوح کشت و افزایش قیمت محصول را با استفاده از آن بررسی کردند. هنگ و همکاران (۲۰۰۹)، با استفاده از این مدل، به شبیه‌سازی ذرت پرداختند و نشان دادند که این مدل دقت مطلوبی برای شبیه‌سازی این گیاه زراعی داشت (Heng et al., 2009). کاترجی و همکاران (۲۰۱۳)، از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد گوجه‌فرنگی و ذرت استفاده کردند و نشان دادند که این مدل دقت مطلوبی برای این کار داشت (Katerji et al., 2013).

استفاده از این مدل گیاهی برای شبیه‌سازی گندم در شرایط مزرعه نیز توسط برخی از محققان انجام شده است. به عنوان مثال، مخابلا و بولاک (۲۰۱۲)، از این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد گندم در غرب کانادا استفاده کردند (Mkhabela and Bullock, 2012). نتایج این پژوهش نشان داد که دقت این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد گندم بسیار مطلوب بود. در پژوهشی دیگر، مبن و

همکاران (۲۰۱۳)، از این مدل برای شبیه‌سازی گندم در منطقه پنسیلوانیا استفاده کردند و نشان دادند که می‌توان از این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد گندم در این منطقه استفاده کرد (Mebane et al., 2013). سالمی و همکاران (۲۰۱۱)، از این مدل برای شبیه‌سازی اثر مقادیر مختلف تأمین آب آبیاری بر عملکرد گندم استفاده کردند (Salemi et al., 2011). این محققان نشان دادند که این مدل دقت بالایی برای شبیه‌سازی این گیاه زراعی داشت. در پژوهشی دیگر، شمس‌نیا و پیرمادیان (۲۰۱۳)، عملکرد گندم را با استفاده از مدل AquaCrop در شرایط اقلیمی شیراز ارزیابی کردند و گزارش کردند که می‌توان به نتایج این مدل گیاهی برای شبیه‌سازی عملکرد گندم اعتماد کرد (Shamsnia and Pirmoradian, 2013). شیرشاهی و همکاران (۲۰۱۸)، با استفاده از مدل AquaCrop به بررسی اثر تنش آبی در شش دوره رشد جوانه‌زنی، پنجه‌زنی، ساقه‌دهی، گلدهی، رشد شیری-خمیری و رسیدن گیاه پرداختند (Shirshahi et al., 2018). این محققان نشان دادند که دقت این مدل برای شبیه‌سازی گندم قابل قبول بود و مقادیر RMSE در هر دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی از ۰/۱ کمتر بود. جناب و نظری (۲۰۱۸)، با استفاده از این مدل گیاهی به بررسی شکاف عملکرد گیاه زراعی گندم در دشت قزوین پرداختند و نشان دادند که شکاف قابل توجهی بین عملکرد این گیاه زراعی وجود داشت (Jenab and Nazari, 2018). پژوهش‌های اشاره شده در مرور منابع، نشان داد که می‌توان به نتایج بدست آمده از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد گندم تکیه کرد. در خصوص ارزیابی مدل AquaCrop در تاریخ‌های کاشت مختلف برای گیاهان زراعی، می‌توان به مطالعات دهقانی و همکاران (۲۰۱۸)، اشاره کرد. این محققان با بررسی اثر تاریخ کاشت در بهره‌وری آب نرمال شده گیاه ریحان به این نتیجه رسیدند که اگر این گیاه با فواصل ده روزه کاشته شود، اثر معنی‌داری بر پارامتر بهره‌وری آب نرمال شده به وجود خواهد آمد (Dehghani et al., 2018). ایزدفر و همکاران (۲۰۱۷)، نیز با استفاده از مدل گیاهی AquaCrop به بررسی اثر تاریخ‌های کاشت مختلف بر عملکرد گیاهان زراعی دشت مغان پرداختند و نشان دادند که این مدل دقت و کارایی مطلوبی برای شبیه‌سازی گیاهان زراعی این دشت داشت (Izadfar et al., 2017). با توجه به اینکه در شبکه آبیاری کوثر، واقع در استان خوزستان، به دلیل عدم توجه به تاریخ کشت گندم، تنش آبی به این گیاه زراعی وارد می‌شود، این موضوع موجب کاهش عملکرد این گیاه زراعی در کشت دیم می‌شود. بنابراین، هدف این تحقیق بررسی تاریخ کشت مناسب گندم برای دستیابی به مناسب‌ترین عملکرد و کارایی مصرف آب است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های ده ساله (۱۳۹۷-۱۳۸۸) زراعت گندم در شبکه آبیاری کوثر در منطقه کرخه انجام شد. اراضی محدوده طرح کوثر به مساحت ۱۶۳۵۰ هکتار و در طول جغرافیایی ۳۵۰۲۹۹۲ و عرض جغرافیایی ۲۷۳۲۱۵ واقع شده است. دو رودخانه دز و کرخه به عنوان منابع اصلی تأمین آب آبیاری در این اراضی به شمار می‌روند. با این وجود تغییرات دبی این رودخانه‌ها و شرایط خشک حاکم بر منطقه، سبب شده است دسترسی به آب کافی به درستی انجام نشود. خصوصیات اقلیمی این شبکه در تابستان متأثر از توده‌های هوای گرم و خشک صحرائی آفریقا و بیابان‌های حجاز است و در سایر فصول، تحت تأثیر آب‌وهوای مدیترانه‌ای، رطوبت نسبی آن بالا و بارندگی کمی اتفاق می‌افتد. از نظر تقسیم‌بندی اقلیمی، به روش دومارتن به عنوان منطقه خشک و به روش آمبرژه منطقه بیابانی گرم، طبقه‌بندی شده است. میزان رطوبت در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دایم در این منطقه به ترتیب برابر با ۳۵ و ۲۴ درصد حجمی است. هدایت الکتریکی آب آبیاری نیز برابر با ۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر است. مشخصات خاک و آب منطقه مورد مطالعه به ترتیب در جدول‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است.

برای انجام این پژوهش، ابتدا مدل AquaCrop با استفاده از داده‌های ده سال اخیر (۱۳۸۸-۱۳۹۷) این شبکه مورد تحلیل حساسیت قرار گرفت. به منظور تحلیل حساسیت از رابطه (۱)، استفاده گردید (Garcia-Vila and Fereres, 2012).

$$Sc = \left| \frac{P_m - P_b}{P_b} \right| \times 100 \quad (1)$$

که در این رابطه، Sc ضریب حساسیت بدون بعد، P_m مقدار برآورد شده پارامتر مورد نظر براساس داده‌های ورودی تعدیل شده و P_b مقدار برآورد پارامتر مورد نظر براساس داده ورودی پایه می‌باشد. برای تحلیل حساسیت مدل به هر پارامتر، در هر مرحله یکی از عوامل ورودی مدل به مقدار ۲۵ درصد تغییر داده شد و بقیه پارامترها ثابت نگه داشته شدند. در هر مرحله مقدار ضریب حساسیت در سه کلاس، $Sc > 15$ حساسیت بالا، $2 < Sc < 15$ حساسیت متوسط و $Sc < 2$ حساسیت پایین، طبقه‌بندی شد (Geerts and Raes, 2009). پس از تحلیل حساسیت، پارامترهای با حساسیت بیشتر از دو به منظور واسنجی این مدل در نظر گرفته شدند. معیار دقت این مدل در مرحله واسنجی با استفاده از آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات نرمال شده (NRMSE)، میانگین خطای اریب (MBE)، کارایی مدل (EF)، شاخص توافق ویلموت (d) و ضریب تبیین (R^2) بررسی شد (Ahmadee et al., 2015). این آماره‌ها به ترتیب در روابط (۲) تا (۷) نشان داده شده‌اند (Ahmadee et al., 2015).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}}{\bar{O}_i} \quad (3)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (4)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (5)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i| + |O_i|)^2} \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (7)$$

در این روابط، P_i مقدار شبیه‌سازی شده، O_i مقدار اندازه‌گیری شده، \bar{P} میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده، \bar{O} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و n برابر تعداد داده‌ها می‌باشد. مقدار آماره RMSE همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، بهتر است. مقادیر کمتر از ۰/۱ برای آماره NRMSE نشان دهنده دقت عالی مدل است. همچنین، مقادیر این آماره در بازه‌های ۰/۲-۰/۳، ۰/۱-۰/۳ و بیشتر از ۰/۳ به ترتیب نشان دهنده دقت خوب، متوسط و ضعیف است. مقدار مثبت آماره MBE نشان‌دهنده این است که مدل رشد گیاهی AquaCrop مقدار عامل مورد نظر را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است و مقادیر منفی بیانگر این است که مدل در برآورد عامل مورد نظر، عدد کوچکتري به دست داده است. مقادیر آماره‌های EF و d نشان‌دهنده صحت برازش داده‌ها می‌باشد و از

مقدار منفی بی‌نهایت در بدترین حالت تا یک در زمان برآزش کامل داده‌ها متغیر است. مقدار R^2 از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده برآزش بهتر داده‌ها می‌باشد.

نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که گرچه مدل AquaCrop به کاهش رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی حساسیت متوسطی داشت لیکن این مدل حساسیت کمتری نسبت به تغییرات پارامترهای رطوبت خاک در نقاط پژمردگی دائم و اشباع داشت (جدول ۳). نتایج به دست آمده برای سایر پارامترها نیز نشان داد که مدل AquaCrop نسبت به تغییرات این پارامترها، حساسیت متوسطی داشت. با توجه به این نتایج، واسنجی مدل AquaCrop انجام شد. نتایج به دست آمده از واسنجی به همراه برخی مقادیر پیش فرض و اندازه‌گیری شده در جدول (۴)، نشان داده شده است. نتایج آماره‌های به دست آمده از مرحله واسنجی مدل AquaCrop نشان داد که این مدل دقت مناسبی برای شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف گندم داشت (جدول ۵).

پس از واسنجی، تاریخ‌های مختلف کاشت (T_5 ، T_{15} و T_{25} به ترتیب تاریخ کاشت در ۵، ۱۵ و ۲۵ آبان) در سه پایلوت (P_1 ، P_2 و P_3 به ترتیب پایلوت‌های ۱، ۲ و ۳) به عنوان سناریوهای مورد مطالعه در نظر گرفته شدند. با توجه به اینکه زمان کاشت گندم معمولاً ۱۵ آبان است؛ جهت ارزیابی زمان مناسب کاشت، یک تاریخ بعد و یک تاریخ قبل از این زمان و با فواصل ۱۰ روز برای شبیه‌سازی انتخاب شد. مدل AquaCrop، با استفاده از داده‌های مذکور و با استفاده از رابطه (۸) مقدار عملکرد گندم را شبیه‌سازی می‌کند (Garcia-Vila and Fereres, 2012).

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x}\right) = K_y \left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right) \quad (8)$$

که در این رابطه، Y_x و Y_a به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی عملکرد محصول، ET_x و ET_a به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی تبخیر و تعرق گیاه و K_y ضریب نسبی میزان کاهش محصول نسبت به کاهش تبخیر و تعرق است. عملکرد دانه و زیست توده کل نیز به ترتیب از روابط (۹) و (۱۰) محاسبه می‌شوند.

$$B = WP^* \left[\frac{Tr_i}{ET_{0,i}} \right] \quad (9)$$

$$Y = B \times HI \quad (10)$$

که در این روابط، Tr مقدار کل تعرق روزانه در طول فصل زراعی (رابطه ۱۱)، WP بهره‌وری آب، ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع، و Y و B به ترتیب عملکرد و زیست توده خشک و HI شاخص برداشت است.

$$Tr = K_s \times CC \times K_c \times ET_0 \quad (11)$$

که در آن، K_s و K_c به ترتیب ضرایب تنش آبی و گیاهی و CC توسعه پوشش تاج از زمان جوانه‌زنی تا مقدار بیشینه (رابطه ۱۲) هستند.

$$CC = CC_0 \times e^{CGC.t} \quad (12)$$

که در این رابطه، CC پوشش تاج در مرحله توسعه گیاه (درصد)، CC0 پوشش تاج اولیه (درصد)، CGC ضریب رشد پوشش تاج (عکس روز) و t زمان (روز) می باشد. در این مدل، شدت تنش آبی (K_s) مؤثر بر توسعه پوشش تاج (CC)، هدایت روزنه‌ای (شدت تعرق در واحد CC)، پیری و کاهش پوشش تاج و شاخص برداشت به وسیله کسر تخلیه آب در ناحیه ریشه تعیین می شود. در واقع در صورت تنش آبی، میزان تاج پوشش گیاهی کاهش یافته و به تبع آن میزان تعرق گیاه کاهش می یابد.

نتایج و بحث

مقادیر آماره NRMSE برای هر دو پارامتر عملکرد و کارایی مصرف آب کمتر از ۰/۱ بود. بنابراین دقت این مدل در دسته عالی قرار داشت. مقادیر آماره RMSE برای عملکرد و کارایی مصرف آب به ترتیب برابر با ۰/۴ تن در هکتار و ۰/۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب بود که نشان دهنده دقت مطلوب این مدل بود. مقدار آماره MBE نشان داد که این مدل در شبیه سازی عملکرد و کارایی مصرف آب گندم دچار خطای بیش برآوردی شد. کارایی مدل AquaCrop در تعیین دو پارامتر عملکرد ($d=0/99$ و $EF=0/60$) و کارایی مصرف آب ($d=0/99$ و $EF=0/08$) نیز مناسب بود. نتایج به دست آمده با مشاهدات مخابلا و بولاک (۲۰۱۲)، مین و همکاران (۲۰۱۳)، سالمی و همکاران (۲۰۱۱) و شمس نیا و پیرمردیان (۲۰۱۳)، مطابقت داشت (Naderi, 2014; Jenab and Nazari, 2018; Katerji *et al.*, 2013; Mkhabela and Bullock, 2012). این پژوهشگران نیز دقت این مدل را در تعیین عملکرد گندم، مناسب گزارش کردند.

به منظور تعیین میزان بارش در منطقه مورد مطالعه، پهنه بندی بارش انجام شد و نتایج آن در شکل (۱)، نشان داده شده است. براساس این نتایج، متوسط میزان بارش طولانی مدت در این منطقه بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی متر، متغیر بوده است. با توجه به پراکنش بارش در ماه های مختلف سال در محدوده مورد مطالعه، مشاهده شد که بیشترین بارش در سه ماه آذر، دی و بهمن اتفاق افتاده است (شکل ۲). ماه آبان به عنوان زمان کاشت گندم، دارای مقدار بارش کمتری نسبت به ماه های اشاره شده است. براساس وقوع احتمال بارش در دهه های مختلف این ماه، دهه دوم آبان بیشترین احتمال وقوع بارش را نسبت به دو دهه دیگر داشت (شکل ۳).

نتایج شبیه سازی عملکرد گندم برای سه پایلوت مختلف در این شبکه برای سه تاریخ مختلف کاشت در شکل (۴)، نشان داده شده است. براساس این نتایج، بیشترین عملکرد برابر با ۴/۱ تن در هکتار و کمترین مقدار آن برابر با ۳/۲ تن در هکتار بود. این مقادیر به ترتیب برای P_1T_{25} و P_3T_5 به دست آمد. با تفکیک عملکرد گندم براساس تاریخ کاشت، متوسط عملکرد در زمان های T_5 ، T_{15} و T_{25} به ترتیب برابر با ۳/۵، ۳/۶ و ۳/۷ تن در هکتار بود. متوسط عملکرد در پایلوت های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب برابر با ۳/۹، ۳/۶ و ۳/۲ تن بر هکتار بود.

مقادیر آب آبیاری در هر کدام از این پایلوت ها در شکل (۵)، نشان داده شده است. براساس این نتایج، متوسط مقدار آب آبیاری برای هر کدام از پایلوت های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب برابر با ۳۹۷۴، ۳۴۹۰ و ۳۲۵۰ مترمکعب در هکتار در هر سال بود. براساس این نتایج، می توان علت بالا بودن عملکرد در پایلوت شماره ۱ را نسبت به دو پایلوت دیگر، به مقدار آب آبیاری نسبت داد. این نتایج برای مقدار بارش هم مشاهده شد. با توجه به اینکه دور آبیاری در این شبکه، یک ماهه است، بنابراین بارندگی می تواند نیاز آبیاری گندم در این شبکه را تأمین کند. گندم نیاز بالایی به تأمین آب به خصوص در دوره اولیه رشد و دوره گلدهی و تولید دانه دارد

(Mkhabela and Bullock, 2012). به همین دلیل، زمان کاشت در اوایل آبان سبب می شود مقدار آب مورد نیاز گندم به میزان کافی تأمین نشود. بنابراین اگر گندم در اوایل آبان کاشته شود، عملکرد پایینی خواهد داشت. نادری (۲۰۱۴)، نیز در پژوهش خود گزارش کرد که کشت گندم در محدود زمانی اواسط آبان، سبب می شود که عملکرد بیشتری در استان خوزستان به دست آید (Mebane *et al.*, 2013).

مقادیر کارایی مصرف آب، برای زمان‌های مختلف کاشت، در پایلوت‌های مختلف در شکل (۶)، نشان داده شده است. براساس این نتایج، بیشترین و کمترین مقدار این پارامتر به ترتیب برابر با ۱/۱۵ و ۰/۹۴ کیلوگرم بر مترمکعب بود. این مقادیر به ترتیب در تیمارهای P_1T_{15} و P_3T_5 مشاهده شد. البته مقدار کارایی مصرف آب برای P_3T_{15} و P_3T_{25} هم به P_3T_5 نزدیک بود. همچنین، بهره‌وری مصرف آب گندم حتی در پایین‌ترین مقدار در این پژوهش، از متوسط بهره‌وری مصرف آب در استان خوزستان بالاتر بود. بهره‌وری مصرف آب گندم برای مناطق مختلف بین ۰/۳ تا ۰/۵ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شده است (Egdernezhad *et al.*, 2019; Salemi, 2011). متوسط کارایی مصرف آب برای زمان‌های ۵، ۱۵ و ۲۵ آبان به ترتیب برابر با ۱/۰۶، ۱/۰۵ و ۱/۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود. متوسط کارایی مصرف آب برای پایلوت‌های ۱، ۲ و ۳ نیز به ترتیب برابر با ۰/۹۴، ۱/۰۷ و ۱/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود. براساس این نتایج، مقادیر بارش اثر چندانی بر کارایی مصرف آب نداشت و مقادیر تأمین آب آبیاری اثر بیشتری بر کارایی مصرف آب داشت. مقدار آب آبیاری در زمان‌های بارش در پایلوت‌های ۱ و ۲ بیشتر از پایلوت ۳ بود. به همین دلیل، مقدار آب آبیاری که در اختیار گیاه قرار داده شده بود، بیشتر از نیاز آبی گیاه بود.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، از مدل واسنجی شده AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب گندم تحت سه تاریخ مختلف کاشت در شبکه آبیاری کوثر استفاده شد. براساس نتایج به دست آمده، دهه اول آبان کمترین سهم در بارش را داشت. میزان بارش در دهه‌های دوم و سوم تقریباً برابر بود. کشت گندم در دهه سوم آبان، سبب افزایش عملکرد شد در حالی که بر کارایی مصرف آب، اثر چندانی نداشت. بنابراین اگر هدف از تغییر تاریخ کاشت، افزایش عملکرد باشد، بهتر است کشت گندم به دهه سوم آبان، منتقل شود. اگر نیاز است کارایی مصرف آب افزایش یابد، می‌بایست برنامه‌ریزی آبیاری به‌درستی انجام شود و مقادیر آب آبیاری در زمان‌های بارش، کاهش یابد.

References

- Ahmadee M, Khashei Siuki A, Sayyari MH. Comparison of efficiency of different equations to estimate the water requirement in saffron (*Crocus sativus* L.) (Case Study: Birjand Plain, Iran). *Agroecology*. **2015**, 8(4): 505-520. [in Persian with English abstract]
- Blum F.A. Effective use of water (EUW) and not water use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research*. **2009**, 112: 119-123.
- Dehghani T, Rahimikhoob A, Arab M. Investigating the effect of Basil planting date on AquaCrop's normalized water productivity. *IJSWR*. **2018**, 49(6): 1299-1307.
- Ebrahimipak N, Ahmadee M, Egdernezhad A, Khashei Siuki A. Evaluation of AquaCrop to simulate saffron (*Crocus sativus* L.) yield under different water management scenarios and zeolite amount. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*. **2018**, 8(1): 117-132. [in Persian with English abstract]
- Ebrahimipak N, Egdernezhad A, Tafteh A, Ahmadee M. Evaluation of AquaCrop, WOFOST and CropSyst to simulate rapeseed yield. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. **2019**, 13(3-75): 715-726. [in Persian with English abstract]
- Egdernezhad A, Ebrahimipak N, Tafteh A, Ahmadee M. Canola irrigation scheduling using AquaCrop model in Qazvin plain. *Water Management in Agriculture*. **2019**, 5(2): 53-64. [in Persian with English abstract]
- Farahani H, Oweis T. Chapter I- Agricultural water productivity in Karkheh river basin. In: Oweis T, Farahani H, Qadir M, Anthofer J, Siadat H, Abbasi F, Bruggeman A (Eds). Improving on-farm agricultural water productivity in the Karkheh river basin. Research Report No. 1: A compendium of review papers. *ICARDA, Aleppo, Syria*. **2008**, IV+103 pp.
- Farre F, Faci J.M. Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management*. **2009**, 96: 384-394.
- Garcia-Vila M, Fereres E. Combining the simulation crop model AquaCrop with an economic model for the optimization of irrigation management at farm level. *European Journal of Agronomy*. **2012**, 36(1): 21-31.
- Geerts S, Raes D. Deficit irrigation as on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management*. **2009**, 96: 1275-1284.
- Heng L.K, Hsiao T.C, Evett S, Howell T, Steduto P. Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. *Agronomy Journal*. **2009**, 101(3):488-498.
- Hsiao T.C, Heng L, Steduto P, Rojas-Lara B, Raes D, Fereres E. AquaCrop- The FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. *Agronomy Journal*. **2009**, 101(3): 448-459.
- Izadfard A, Jahansou MR, Sarmadian F, Peykani G.H.R. Optimum sowing date determination based on historical climate data using AquaCrop growth simulator model in Moghan plain Ardabil province Iran. *Iranian Journal of Field Crop Science*. **2017**, 48 (3): 799-810.
- Jenab M, Nazari B. The study of water productivity and yield gap of wheat, barley and maize in Qazvin province. *IJSWR*. **2018**, 49(6): 1405-1417.
- Katerji N, Campi P, Mastrorilli M. Productivity, evapotranspiration, and water use efficiency of corn and tomato crops simulated by AquaCrop under contrasting water stress conditions in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management*. **2013**, 130: 14-26.
- Masanganise J, Basira K, Chipindu B, Mashonjowa E, Mhizha T. Testing the utility of a crop growth simulation model in predicting maize yield in a changing climate in Zimbabwe. *International Journal of Agricultural and Food Science*. **2013**, 3(4): 157-163.
- Mebane V.J, Day R.L, Hamlett J.M, Watson J.E, Roth G.W. Validating the FAO AquaCrop model for rainfed maize in Pennsylvania. *Agronomy Journal*. **2013**, 105(2): 419- 427.
- Mkhabela M.S, Bullock P.R. Performance of the FAO AquaCrop model for wheat grain yield and soil moisture simulation in Western Canada. *Journal of Agriculture and Water Management*. **2012**, 110: 16-24.
- Montaya F, Camargo D, Ortega J.F, Corcoles J.I, Dominguez A. Evaluation of AquaCrop model for a potato crop under different irrigation conditions. *Agricultural Water Management*. **2016**, 164 (2): 267-280.

- Naderi A. Analysis the effect of planting date on wheat genotypes grain yield by using regression methods. *Crop Physiology Journal*. **2014**, 2(5): 5-14.
- Salemi H, Mohd Soom M.A, Lee T.S, Mousavi S.F, Ganji A, Kamil Yusoff M. Application of AquaCrop model in deficit irrigation management of winter wheat in arid region. *African Journal of Agricultural Research*. **2011**, 610: 2204-2215.
- Sam-Amoah L.K, Darko R.O, Owusu-Sekyere J.D. Calibration and validation of AquaCrop full and deficit irrigation of hot pepper. *Journal of Agricultural and Biological Science*. **2013**, 8(2): 175-178.
- Shamsnia S.A, Pirmoradian N. Simulation of rainfed wheat yield response to climatic fluctuations using AquaCrop model (Case study: Shiraz region in Southern of Iran). *International Journal of Engineering Science Invention*. **2013**, 2(4):51-56.
- Shirshahi F, Babazadeh H, Ebrahimipak N, Zeraatikish Y. Calibration and assessment of AquaCrop model for managing the quantity and time applying wheat deficit irrigation. *Irrigation Science and Engineering*. **2018**, 41(1): 31-44. [in Persian with English abstract]
- Tavakoli A.R, Liaghat A, Ashrafi Sh, Abbasi F. Chapter II- Supplemental irrigation in Iran. In: Oweis T, Farahani H, Qadir M, Anthofer, J, Siadat, H, Abbasi F, Bruggeman A (Eds). Improving on-farm agricultural water productivity in the Karkheh river basin. Research report no. 1: A compendium of review papers. *ICARDA, Aleppo, Syria*. **2008**, IV+103.

Determining of suitable cultivation date for wheat in Kosar irrigation network to decrease water stress effects using AquaCrop



Agroecology Journal

Vol. 17, No. 1 (63-77)
(Spring 2021)

Maryam Abedi¹, Aslan Eigder Nejad^{✉1}, Niaz Ali Ebrahimipak²

1- Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

2- Department of Irrigation and Soil Physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

✉ a_eigder@gmail.com (Corresponding author)

Received date: 20.04.2020

Accepted date: 13.02.2021

Abstract

Since cultivation time have important role on wheat yield in Khuzestan province, calibrated AquaCrop was used in this study to determine the effect of cultivation time in three pilots in Kosar irrigation network. Considering that wheat is cultivated on November, three dates in each decade were chosen for simulation. The results showed that AquaCrop had good accuracy for simulation of wheat yield and water use efficiency. EF and d values for yield (0.6 and 0.99) and water use efficiency (0.08 and 0.99) revealed that this model had acceptable efficiency. Results showed that wheat yield for first, second and third decade were 3.5, 3.6 and 3.7 ton.ha⁻¹, respectively. Average yield in pilot 1, 2 and 3 were 3.9, 3.6 and 3.2 ton.ha⁻¹, respectively. Water use efficiency for first, second and third decade were 1.06, 1.05 and 1.05 kg.m⁻³, respectively. Average water use efficiency for pilot 1, 2 and 3 were 0.94, 1.07 and 1.15 kg.m⁻³, respectively. If it is necessary to increase yield, it is necessary to cultivate wheat in third decade of November. Beside this, it is recommended to manage irrigation use and decrease irrigation applied when it is raining. This leads us to increase water use efficiency.

Keywords

- ❖ Crop modeling
- ❖ Cultivation time
- ❖ Irrigation management
- ❖ Kosar plain
- ❖ Water-driven model

This open-access article is distributed under the terms of the Creative Commons-BY-NC-ND which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



10.22034/AEJ.2022.696786



جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قطعه مورد آزمایش قبل از کاشت

Table 1. Some physical and chemical characteristics of the studied soils before cropping

Relative frequency of particle size (%)			Soil texture	EC (dS.m ⁻¹)	pH	FC (%w.w)	PWP (%w.w)	Ks (mm.h ⁻¹)	Depth (cm)
Clay	Silt	Sand							
36	44	20	(Sandy loam)	2.13	7.2	35	24	4	0-30
40	42	18	(Sandy loam)	2.9	7	35	24	4	30-60

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی آب بکار رفته

Table 2. Some chemical characteristics of water used

Anions (mg.l ⁻¹)				Cations (mg.l ⁻¹)				pH	EC (dS.m ⁻¹)
SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺		
9.6	7.7	2.7	0	0.08	8.4	3.5	7.7	7.7	1.2

جدول ۳- ضریب حساسیت برخی عوامل ورودی مدل رشد گیاهی AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب گندم

Table 3. Sensivity factor for some AquaCrop input parameters for simulation of wheat yield and water use efficiency

Sensivity degree	Sc values for -25%	Sc values for +25%	Parameter
Average-low	4.6	1.5	Field capacity moisture
Low-low	1.5	1.3	Wilting point moisture
Average-low	2.4	1.8	Saturated moisture
Average	8.8	9.6	Basal crop coefficient for transpiration
Average	5.6	3.7	Maximum effective rooting depth
Average	3.3	7.2	Soil water depletion threshold for canopy (P upper)
Average	6.7	3.9	Soil water depletion threshold for canopy (P lower)
Average	2.7	5.5	Shape factor for water stress coefficient for stomatal closure
Average	6.4	3.1	Senescence stress coefficient curve shape

جدول ۴- مقادیر مورد استفاده در مدل AquaCrop

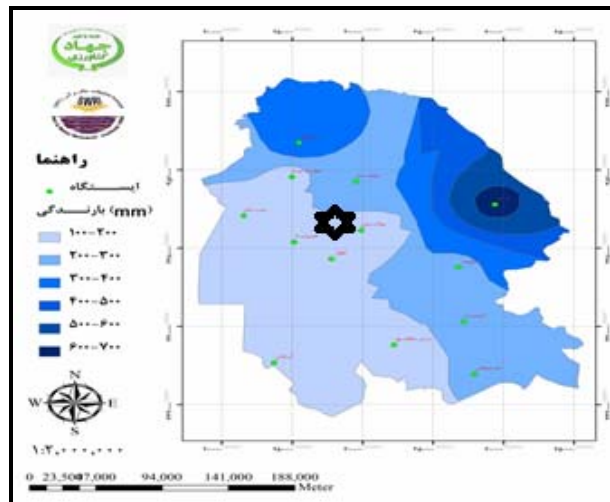
Table 4. AquaCrop input values

Description	Unit	Value	Parameter description
Default	(°C)	0	Base temperature
Default	(°C)	26	Upper temperature
Default	(%/day)	4.9	Canopy growth coefficient
Default	(cm ²)	1.5	Canopy cover at 90% emergence
Measured	(m)	0.4	Maximum effective rooting depth
Measured	(day)	14	Emergence date
Measured	(day)	105	Max canopy date
Measured	(day)	140	Senescence date
Measured	(day)	165	Maturity date
Calibrated	(g.m ⁻²)	14	Water productivity normalized
Calibrated	(%)	92	Maximum canopy cover
Calibrated	-	0.23	Soil water depletion threshold for canopy (P upper)
Calibrated	-	0.67	Soil water depletion threshold for canopy (P lower)
Default	(%/day)	5.7	Canopy growth coefficient
Calibrated	(%/day)	8.1	Canopy decline coefficient
Calibrated	(%/day)	1.05	Basal crop coefficient for transpiration
Calibrated	-	2.2	Shape factor for water stress coefficient for stomatal closure
Calibrated	-	2.8	Senescence stress coefficient curve shape

جدول ۵- مقادیر شاخص‌های آماری برای شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب گندم در مرحله واسنجی

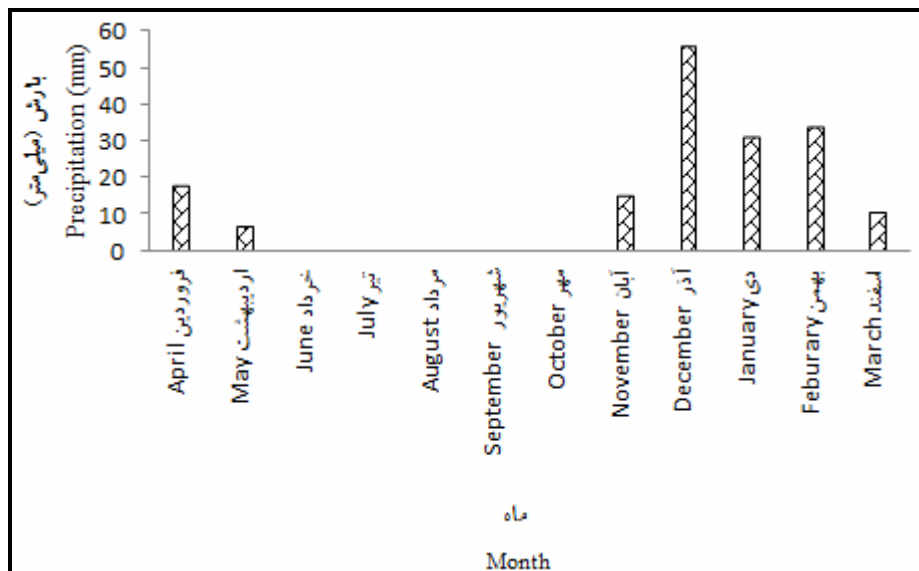
Table 5. Statistical criteria for simulation of wheat yield and water use efficiency in calibration period

d	EF	NRMSE	RMSE	MBE	Parameter
0.99	0.6	0.04	0.40	0.09	Yield (ton.ha ⁻¹)
0.99	0.08	0.02	0.03	0.01	Water use efficiency (kg.m ⁻³)

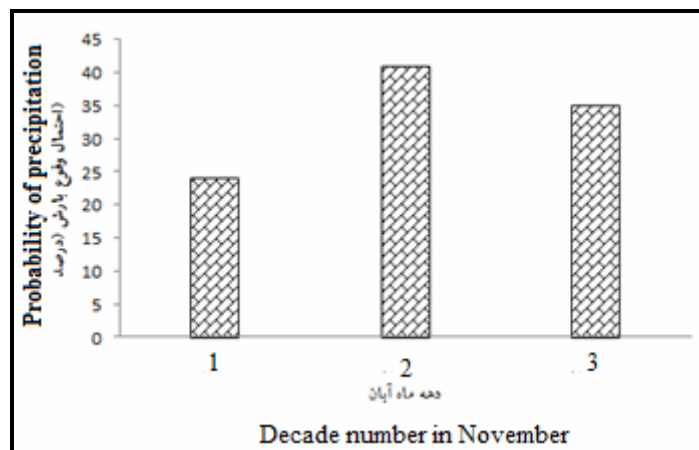


شکل ۱- میزان متوسط بارش در استان خوزستان و منطقه مورد نظر که با علامت ستاره نشان داده شده است

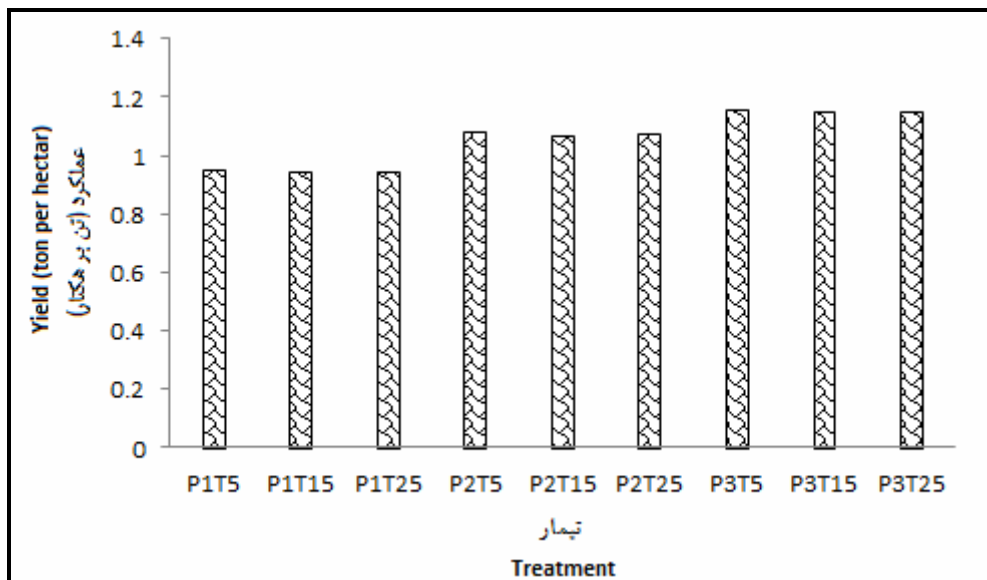
Fig 1. Average rainfall in Khuzestan and study area, which is shown with star mark



شکل ۲- متوسط طولانی مدت بارش در ماه‌های مختلف سال
 Fig 2. Average long term rainfall in different months

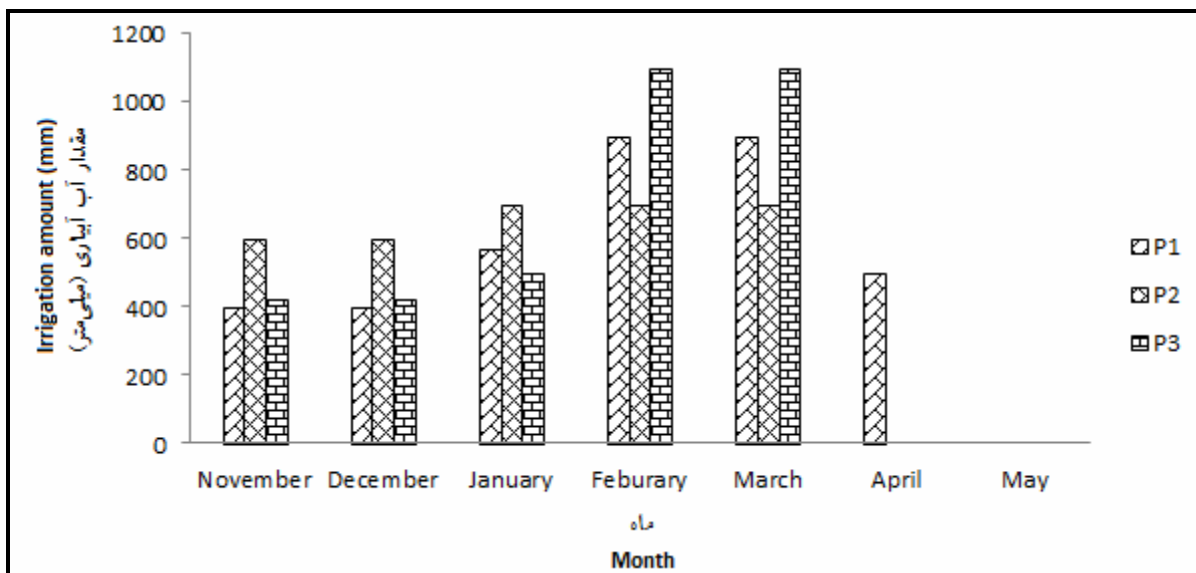


شکل ۳- احتمال وقوع بارش در دهه‌های مختلف آبان
 Fig 3. Probability of precipitation in different decades in November (Aban)



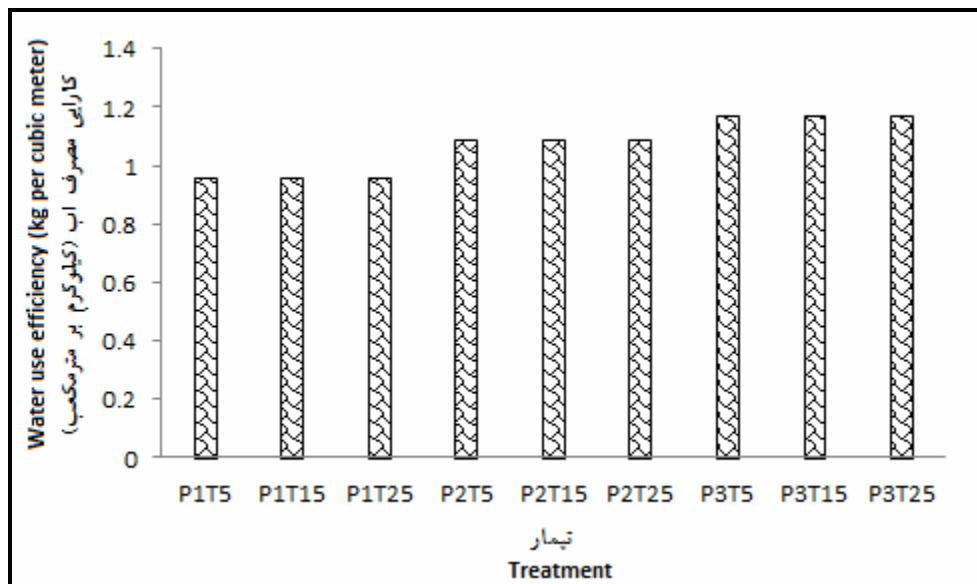
شکل ۴- مقادیر عملکرد شبیه‌سازی شده برای پایلوت‌های مختلف در زمان‌های کاشت متفاوت (P1, P2 و P3 به ترتیب پایلوت‌های ۱، ۲ و ۳ و T5, T15 و T25 به ترتیب تاریخ کاشت در ۵، ۱۵ و ۲۵ آبان است).

Fig 4. Simulated yield values for different pilots in different cultivation time (P1, P2 and P3 show pilot 1, pilot 2 and pilot 3, respectively, and T5, T15 and T25 show cultivation time on November 5, 15 and 25, respectively)



شکل ۵- میزان آب آبیاری برای پایلوت‌های مختلف در ماه‌های مختلف سال (P1, P2 و P3 به ترتیب نشان دهنده پایلوت‌های یک، دو و سه می‌باشد)

Fig 5. Irrigation values for different pilots in different cultivation time (P1, P2 and P3 show pilot 1, pilot 2 and pilot 3, respectively)



شکل ۶- مقادیر کارایی شبیه‌سازی شده برای پایلوت‌های مختلف در زمان‌های کاشت متفاوت (P_1 ، P_2 و P_3 به ترتیب پایلوت‌های ۱، ۲ و ۳ و T_5 ، T_{15} و T_{25} به ترتیب تاریخ کاشت در ۵، ۱۵ و ۲۵ آبان است).

Fig 6. Simulated water use efficiency values for different pilots in different cultivation time (P_1 , P_2 and P_3 show pilot 1, pilot 2 and pilot 3, respectively, and T_5 , T_{15} and T_{25} show cultivation time on November 5, 15 and 25, respectively)