

بررسی اثر آبیاری تکمیلی و تاریخ کاشت بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب مصرفی گیاهان گندم و جو در شرایط دیم ارومیه

امین علیزاده دیزج^۱، حامد ابراهیمیان^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع

طبیعی، دانشگاه تهران، کرج. ایران

۲- گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج.

ایران

چکیده

حوضه آبریز دریاچه ارومیه، یکی از مناطق مستعد کشاورزی است که در دهه اخیر با بحران کم‌آبی و مشکلات زیست محیطی ناشی از خشک شدن دریاچه ارومیه مواجه گردیده است. استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی در بررسی گزینه‌های مدیریتی می‌تواند ابزاری مطمئن و مناسبی در سطح حوضه‌های آبریز باشد. در این تحقیق تأثیر دو گزینه مدیریتی که منجر به کنترل و افزایش بهره‌وری مصرف منابع آب موجود در حوضه دریاچه ارومیه و منطقه ارومیه می‌گردد توسط مدل AquaCrop مورد بررسی قرار گرفت. این گزینه‌ها شامل: (۱) انجام آبیاری تکمیلی کامل (I) در زمان مناسب از طول دوره رشد گیاه و عمق بهینه آن و (۲) تاریخ کاشت، بودند که تأثیر این گزینه‌های مدیریتی بر بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی (TWP)، بهره‌وری اقتصادی مصرف آبیاری تکمیلی (EWP) و عملکرد خشک (DY) گیاهان گندم و جو دیم بررسی شد. شبیه‌سازی با استفاده از اطلاعات اقلیمی سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ انجام گرفت. نتایج نشان داد زمان مناسب انجام آبیاری تکمیلی برای گندم و جو دیم به ترتیب ۲۰۰ و ۱۴۰ روز پس از تاریخ کاشت است. بیشترین مقدار TWP برای گندم و جو در تیمارهای آبیاری تکمیلی به ترتیب برابر $\frac{2}{3}I$ و $\frac{1}{3}I$ بدست آمد (۰/۶۱ و ۰/۴۴ Kg/m^3 به ترتیب برای گندم و جو). با توجه به مقادیر EWP، بیشترین میزان بهره‌وری اقتصادی آب مصرفی در تیمار آبیاری تکمیلی $\frac{2}{3}I$ برای گندم و جو حاصل شد (۴۵۸۰ و ۱۰۵۲ Rials/m^3 به ترتیب برای گندم و جو). بهینه‌ترین تاریخ کاشت از نظر ماکزیمم TWP، EWP، و DY برای محصولات گندم و جو به ترتیب دهه‌ی اول مهرماه و دهه‌ی اول آبان ماه بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: AquaCrop، سود کشاورز، دریاچه ارومیه، مدیریت آب در مزرعه، عملکرد گیاه

* نگارنده مسئول: ebrahimian@ut.ac.ir تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۱۸

مقدمه

شهرستان ارومیه واقع در استان آذربایجان غربی و حوضه آبریز دریاچه ارومیه، یکی از مناطق مستعد کشاورزی است که در دهه اخیر با بحران کم آبی و مشکلات زیست محیطی ناشی از خشک شدن دریاچه ارومیه مواجه گردیده است. در سال‌های اخیر، میزان بارندگی‌ها در حوضه دریاچه ارومیه کاهش یافته است و این امر باعث شده است که سطح بسیاری از دیم‌زارها قابل برداشت نبوده و یا عملکرد بسیار پایینی دارند و در بعضی مناطق دیم‌زارها به کشت آبی باغات با نیاز آبیاری زیاد تبدیل شده‌اند که توسعه این باغات باعث افزایش برداشت از منابع آبی سطحی و زیرزمینی گردیده است.

با توجه به عدم قطعیت در میزان و زمان بارندگی در طول دوره رشد گیاهان دیم، آبیاری تکمیلی اغلب برای حصول عملکرد بالا مناسب است، به ویژه هنگامی که آبیاری تکمیلی در زمان مراحل رشد حساس انجام می‌گیرد (Austin et al., 1998). به طور کلی، آبیاری تکمیلی در مناطقی که کشت دیم صورت می‌گیرد و بارندگی مهم‌ترین منبع تأمین رطوبت خاک است، آبیاری تکمیلی موقعی انجام می‌شود که رطوبت ضروری را برای بهبود و پایداری عملکرد گیاه تأمین کند (Oweis, 1997). طلیعی و صیادیان (۱۳۹۳) به منظور بررسی عکس‌العمل گندم دیم رقم سرداری در استان کرمانشاه به آبیاری تکمیلی و تعیین حساسترین مرحله رشد گندم به آبیاری، آزمایش انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که آبیاری تکمیلی به میزان ۱۰۰ میلیمتر

در مراحل آخر رشد و نمو (مراحل شیری شدن یا پر شدن دانه) باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و کاهش گردید به طوری که به ازای هر میلیمتر آبیاری تکمیلی حدود ۳ کیلوگرم در هکتار به عملکرد دانه این رقم اضافه شد. صفاری و مددیزاده (۱۳۹۱) نیز آزمایشی جهت بررسی تأثیر آبیاری تکمیلی بر اجزاء عملکرد جو انجام دادند؛ نتایج آن‌ها نشان داد که آبیاری تکمیلی در زمان کاشت باعث افزایش عملکرد دانه به میزان ۸۰ درصد نسبت به شرایط دیم می‌گردد.

تعیین زمان مناسب تاریخ کاشت منطبق با مراحل مختلف رشد گیاه و با زمان بارندگی‌ها، از جمله راه‌کارهای مؤثر در افزایش بهره‌وری کل آب مصرف شده در طول دوره رشد گیاه محسوب می‌شود. تحقیقات زیادی در مورد تأثیر تاریخ کاشت بر عملکرد و ماده خشک گیاه در محصولات مختلف مانند جو و گندم با هدف بهره‌مندی مناسب و کافی از بارندگی‌ها و منابع آب، انجام گرفته شده است (Spink et al., 2000; Paredes et al., 2016). عملکرد محصولات زراعی و به‌ویژه گیاهان زمستانه در درجه اول تحت تأثیر مقدار و توزیع بارش‌های سالانه قرار می‌گیرد (Huang et al., 2011). هدف از انتخاب تاریخ کاشت بهینه، قرار گرفتن مراحل رشد و نمو با شرایط مطلوب محیطی و عدم برخورد با شرایط نامساعد محیطی می‌باشد که این امر باعث افزایش عملکرد می‌شود. بقایی‌کیا (۱۳۷۳) در بررسی تأثیر تاریخ کاشت بر روی عملکرد جو گزارش نمود که بهترین تاریخ کاشت این گیاه در استان آذربایجان غربی

بالایی شبیه‌سازی کند (Heng *et al.*, 2009;)
(Andarzian *et al.*, 2011; Iqbal *et al.*, 2014).
در این تحقیق از مدل AquaCrop همان طور که
گفته شد به دلیل دقت بالا و نیاز کمتر به داده‌های
ورودی نسبت به سایر مدل‌های شبیه‌سازی
عملکرد محصولات زراعی گوناگون، به عنوان
ابزار کاربردی و مناسب برای شبیه‌سازی میزان
تأثیر آبیاری تکمیلی در شرایط کشت دیم گیاهان
گندم و جو و تغییر تاریخ کاشت این گیاهان
استفاده شد.

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر تغییر تاریخ
کاشت و آبیاری تکمیلی مناسب برای محصولات
گندم و جو دیم در حوضه دریاچه ارومیه توسط
مدل AquaCrop واسنجی شده می‌باشد. بدین
منظور تأثیر این گزینه‌های مدیریتی بر بهره‌وری
فیزیکی کل و اقتصادی آب مصرفی، سود
کشاورز و عملکرد خشک محصولات مورد
مطالعه که به صورت دیم در بخش نازلو و در شهر
ارومیه کشت می‌شوند مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق جهت بررسی و درک بهتر
تأثیر گزینه‌های مدیریتی مورد نظر از مدل
واسنجی شده AquaCrop استفاده شد. با
شبیه‌سازی تأثیر تاریخ کاشت و آبیاری تکمیلی
در زمان مناسب از دوره رشد گیاه گندم و جو
تحت شرایط دیم در حوضه آبریز رودخانه
نازلوچای واقع در شهرستان ارومیه مورد بررسی
قرار گرفت.

۲۵ مهرماه می‌باشد و کاشت زودتر و دیرتر از این
تاریخ باعث کاهش عملکرد می‌شود. بلسون
(۱۳۷۸) گزارش نمود که با یک نوبت آبیاری به
میزان ۵۰ میلی متر در زمان کشت عملکردی به
میزان ۲۸۵۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که
با شرایط دیم اختلاف معنی داری نشان داد.
اویس و همکاران (۱۹۹۸) در تحقیقی در سوریه
با بررسی سطوح آبیاری تکمیلی و تاریخ کشت
نشان دادند که از نظر اقتصادی تاریخ کشت زود
هنگام به همراه یک آبیاری حداقل (۳۰ میلی متر)
در حصول عملکرد مطلوب مؤثر است.

بررسی تمام گزینه‌های مدیریتی مختلف
بسیار مشکل، هزینه‌بر و زمان‌بر می‌باشد. استفاده از
یک مدل شبیه‌سازی مناسب می‌تواند به عنوان
وسيله‌ای کارآمد در بررسی گزینه‌ها و
استراتژی‌های گوناگون مدیریتی کمک کند.
AquaCrop این توانایی را دارد که اثرات تنش
آبی که در یک زمان خاص از طول فصل رشد
گیاه اعمال می‌شود را شبیه‌سازی کند، به همین
دلیل است که این مدل برای طراحی و ارزیابی
استراتژی‌های آبیاری، مطالعه اثرات منطقه‌ای، نوع
خاک، تکنیک‌های مدیریتی مزرعه و تاریخ
کاشت بر روی کارایی مصرف آب تحت شرایط
دیمی و آبیاری مفید است (Raes *et al.*, 2009).
در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی به منظور
صحت سنجی و ارزیابی مدل AquaCrop در
ایران و جهان انجام گرفته است، این تحقیقات به
این نتیجه رسیدند که مدل AquaCrop می‌تواند
عملکرد محصولات مختلف به خصوص در
شرایط اقلیمی گرم و خشک به خوبی و دقت

توصیف مدل AquaCrop

یکی از مهم ترین توابع عکس العمل گیاه به کمبود آب به صورت معادله زیر است (Doorenbos and Kassam, 1979):

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x}\right) = K_y \left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right) \quad (1)$$

در این معادله، Y_x و Y_a (ton/ha) به ترتیب عملکرد حداکثر و واقعی محصول، ET_x و ET_a (mm بر واحد زمان) به ترتیب تبخیر-تعرق حداکثر و واقعی و K_y ضریب حساسیت به کم آبی (ضریب واکنش عملکرد گیاه به آب) است. معادله فوق به مدت دو دهه مرجعی کلیدی برای تخمین عکس العمل گیاهان زراعی، باغی و صیفی به آب بود تا اینکه مدل AquaCrop توسط FAO و با اعمال تصحیحاتی بر روی معادله ۱ ارائه گردید. AquaCrop مدلی است که با تفکیک تبخیر و تعرق (ET) به تبخیر از سطح خاک (E) و تعرق از سطح گیاه (Tr) و مجزا نمودن عملکرد نهایی به ماده خشک و شاخص برداشت^۱ توسعه یافته است. در این مدل بر خلاف بسیاری از مدل های مشابه در شبیه سازی عملکرد گیاه، به جای استفاده از شاخص سطح برگ، از پوشش کانوپی^۲ گیاه استفاده می شود. تغییرات بحث شده منجر به حل معادلات زیر در مرکز مدل AquaCrop می گردد:

توده گیاهی (B) (ton/ha) با توجه به تعرق تجمعی گیاه ($\sum Tr$) (mm در واحد زمان) و

بهره وری آب (WP) (ton/m^3) طبق رابطه ۲ محاسبه می شود (Steduto et al., 2009).

$$B = WP \cdot \sum Tr \quad (2)$$

عملکرد نهایی محصول (Y) (ton/ha) طبق رابطه ۳ و پس از تاثیر شاخص برداشت (HI) (درصد یا اعشاری) در توده گیاهی (B) تعیین می شود (Steduto et al., 2009).

$$Y = B \cdot HI \quad (3)$$

در نهایت، برای اینکه این مدل برای شرایط محلی و فصلی مختلف قابل اجرا باشد، با نرمال کردن بهره وری آب بر اساس مقدار تبخیر-تعرق مرجع (ET_0) (mm در واحد زمان) و غلظت CO_2 اتمسفر، معادله کلی مورد استفاده در AquaCrop به صورت زیر مورد استفاده قرار می گیرد (Raes et al., 2009; Steduto et al., 2009):

$$WP^* = \left[\frac{B}{\sum \left(\frac{Tr}{ET_0} \right)} \right] \quad (4)$$

در این رابطه WP^* (ton/ha) بهره وری نرمال شده است. ورودی های مدل شامل اطلاعات اقلیمی، گیاهی، آبیاری و خصوصیات خاک است (رایسو همکاران، ۲۰۰۹).

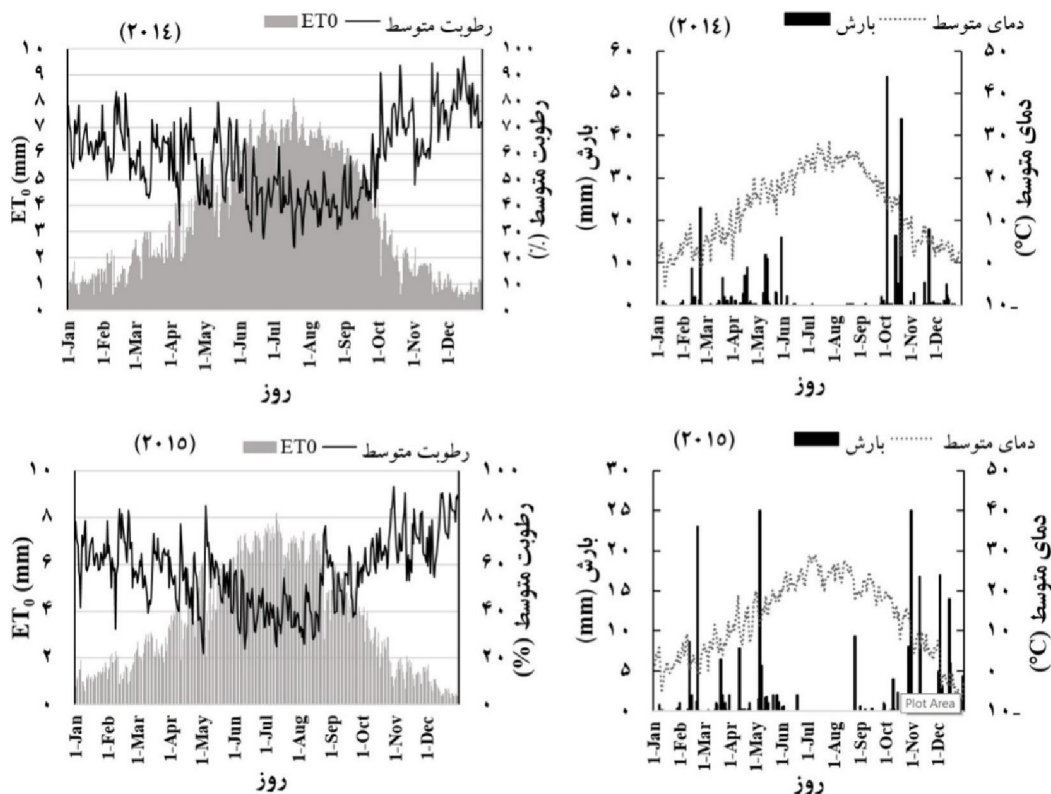
داده های اقلیمی

اطلاعات اقلیمی مورد نیاز از داده های روزانه (بارندگی، سرعت باد، حداکثر و حداقل دمای هوا، حداکثر و حداقل رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و شدت تابش خورشیدی) ایستگاه سینوپتیک ارومیه استفاده شد. تبخیر-تعرق مرجع (ET_0) نیز از روش فائو پنمن مانیتث و با استفاده از قابلیت محاسبه ET_0 در خود نرم افزار AquaCrop (ورژن ۵) محاسبه شد. مقادیر ماهانه

1- Harvest Index
2- Canopy Cover

تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است.

ET₀ محاسبه شده در طول دوره مورد مطالعه (سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ هجری شمسی) این



شکل ۱- مقادیر روزانه بارش، دمای متوسط، رطوبت متوسط و تبخیر-تعرق مرجع (ET₀) در سال های ۲۰۱۴-۱۵ میلادی (سال ۹۴-۱۳۹۳ هجری شمسی).

که برابر ۱/۶۵ و ۱/۲ متر به ترتیب برای گندم و جو در نظر گرفته شد (Allen et al., 1998)؛ خصوصیات خاک مورد نیاز ورودی مدل شامل رطوبت حد ظرفیت زراعی خاک (FC)، نقطه حد پژمردگی (PWP) و بافت خاک منطقه مورد مطالعه است، با استفاده از اطلاعات تحقیق طایفه رضایی (۱۳۹۲) که در ۱۴ مزرعه برای انجام آزمایشات تعیین راندمان کاربرد آب در مزرعه انتخاب گردیده بود، استفاده شد. بافت خاک منطقه عموماً لوم رسی است و FC و PWP به

برای داده‌های آبیاری مدل، با استفاده از رابطه زیر عمق آب آبیاری مورد نیاز به عنوان آبیاری تکمیلی جهت تأمین کمبود رطوبت خاک در زمان مناسب طول دوره رشد گیاهان گندم وجود دیم، محاسبه شد:

$$I = (FC - PWP) \times Z \times MAD \quad (5)$$

در این رابطه MAD حداکثر تخلیه مجاز رطوبت خاک هست که مقدار آن برابر ۵۵ درصد برای گندم و جو در نظر گرفته شد (Allen et al., 1998). Z حداکثر عمق توسعه ریشه گیاه می‌باشد

واسنجی مدل

در این تحقیق از مدل AquaCrop نسخه ۵ استفاده شد (Raes *et al.*, 2016). هر مدل شبیه‌سازی برای اینکه بتواند نتایج مفید و واقعی‌تری را بدهد باید با استفاده از اطلاعات و شرایط منطقه‌ای واسنجی گردد (Andarzian *et al.*, 2010). لذا واسنجی مدل AquaCrop بر اساس عملکرد پتانسیل محصولات زراعی دیم غالب در حوضه رودخانه نازلوچای انجام گرفت. واسنجی مدل AquaCrop برای شرایط منطقه‌ای و براساس پتانسیل عملکرد گیاهان گندم و جو دیم برحسب وزن خشک (DY_p) در بخش نازلو انجام گردید. اطلاعات مورد نیاز از مطالعه گزارشات شناسنامه ثبت اطلاعات سیستم داخلی پایش مزارع کشاورزی از سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی جمع‌آوری گردید. مدل به منظور در نظر گرفتن افزایش دمای هوا و تأثیری که دمای هوا می‌تواند روی طول دوره رشد بگذارد و برای شبیه‌سازی بهتر و متناسب با تغییرات دمای هوا در حالت درجه-روز-رشد^۳ (GDD) اجرا شده است (Steduto *et al.*, 2009). تاریخ کاشت محصولات جهت واسنجی مدل، اولین تاریخ کاشت در بازه زمانی تاریخ‌های کاشت مرسوم (اوایل مهرماه تا اواخر آذر) در منطقه استفاده شد که این تاریخ کاشت جهت واسنجی هر محصول در جدول ۱ نشان داده شده است. همچنین طول دوره رشد^۴ (LCM) هریک از گیاهان که توسط مدل (بر اساس حالت

طور متوسط در مزارع مورد مطالعه به ترتیب ۳۵ و ۱۶ درصد حجمی گزارش شده است. ضخامت پروفیل خاک برابر ۴ متر و هدایت هیدرولیکی اشباع برای خاک لوم‌رسی $12/5 \text{ cm.day}^{-1}$ در نظر گرفته شد (Taifeh Rezaee *et al.*, 2014).

داده‌های گیاهی و ویژگی‌های محصول شامل پارامترهای ثابت^۱ و غیرثابت^۲ (داده‌های ویژه کاربر) می‌باشند. مقادیر پارامترهای گیاهی ثابت با گذشت زمان یا تغییر موقعیت جغرافیایی تغییر نمی‌کنند و برای گیاهان زراعی مهم از جمله گندم و جو به عنوان پیش فرض در مدل وجود دارند (Steduto *et al.*, 2009). این پارامترهای ثابت، با استفاده از داده‌های رشد گیاه در شرایط مطلوب و بدون محدودیت واسنجی شده و کاربرد آن‌ها در شرایط وجود تنش آبی، از طریق ضریب پاسخ به تنش صورت می‌گیرد (Steduto *et al.*, 2009). علاوه بر پارامترهای ثابت، برخی دیگر از اطلاعات مورد نیاز برای اجرای شبیه‌سازی، بستگی به گونه و محصول زراعی دارند و یا طبق شرایط مدیریتی و محیطی مختلف، مقادیر متفاوتی را دارا می‌باشند، که پارامترهای مخصوص کاربر نامیده می‌شوند. از جمله این پارامترها می‌توان تاریخ، تراکم کشت، زمان رسیدن مراحل فنولوژیکی گیاه و حداکثر عمق ریشه را نام برد که برای هر ناحیه و محصول با توجه به شرایط خاص خود متغیر بوده و توسط کاربر تعیین می‌شود.

3 -Growing Degree Day
4 -Length of Crop Maturity

1 -Conservative
2 -Non-Conservative

مرجع و ضریب بهره‌وری آب نرمال شده برای CO_2 و ET_0 ، عوامل موثر بر تنش آبی (فاکتور شکل منحنی برای ضریب تنش آبی و رشد برگ، آستانه بالایی تخلیه رطوبت خاک، آستانه پایینی تخلیه رطوبت خاک برای رشد رویشی)، دمای پایه و دمای قطع رشد هستند.

GDD) محاسبه شد، در جدول ۱ آمده هست. پارامترهای واسنجی شده مدل برای دستیابی به عملکرد خشک محصولات زراعی (DY_p)، شامل پارامترهای گیاهی از قبیل اجزای توسعه گیاه (پوشش تاج اولیه، میزان ضریب کاهش تاج گیاه)، اجزای تولید محصول (شاخص برداشت

جدول ۱- اطلاعات مورد استفاده در واسنجی مدل AquaCrop

آبیاری	LCM** (روز)	تاریخ کاشت (شمسی)	تاریخ کاشت (میلادی)	DY_p^* (ton/ha)	محصول
دیم	۲۵۶	۱۳۹۳/۰۷/۰۳	۲۰۱۴/۰۹/۲۵	۱/۲	گندم زمستانه
دیم	۲۰۹	۱۳۹۳/۰۷/۰۳	۲۰۱۴/۰۹/۲۵	۱/۲	جو زمستانه

* DY_p متوسط پتانسل عملکرد گیاه، ** LCM بیانگر طول دوره رشد گیاه است.

and Raes, 2009). مقدار بهره‌وری کل آب مصرفی از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$TWP = \frac{DY}{I+P} \quad (۷)$$

که در این رابطه DY ، I و P به ترتیب عملکرد گیاه (Ton/ha)، عمق آب آبیاری (m^3/ha) و بارندگی (m^3/ha) می‌باشند. از آنجا که کشاورزان عمدتاً به عملکرد اقتصادی گیاهان توجه دارند لذا توصیه می‌شود در کنار محاسبه TWP، شاخص بهره‌وری اقتصادی آب^۳ مصرفی (EWP) نیز مورد بررسی قرار گیرد (علیزاده، ۱۳۹۴). بدین منظور در این تحقیق EWP ($Rials/m^3$) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$EWP = \frac{FB}{I+P} \quad (۸)$$

شرایط دیم برای فایل ورودی آبیاری در مدل AquaCrop به منظور واسنجی اولیه مدل استفاده گردید. به طور خلاصه، پارامترهای گیاهی اشاره شده در بالا، به منظور دستیابی به عملکرد خشک (DY_p) هر محصول با حداقل میزان خطای نسبی^۱ (RE) [معادله ۶] واسنجی شدند.

$$RE = \left(\frac{DY_s - DY_p}{DY_p} \right) \times 100 \quad (۶)$$

در این رابطه، DY_s (ton/ha) مقدار شبیه‌سازی شده عملکرد گیاهان توسط مدل است.

شاخص‌های بهره‌وری

شاخص بهره‌وری آب مصرفی (TWP^2)، یک عامل کلیدی در ارزیابی استراتژی‌های مدیریتی مصرف آب آبیاری به شمار می‌رود (Geerts

1-Relative Error

2-Total Water Productivity

3-Economic Water Productivity

مشخص شده، تأثیر سه عمق مختلف آبیاری تکمیلی بر عملکرد محصولات (DY)، FB، TWP و EWP با فرض سطوح مختلف آبیاری شامل تیمارهای I₂، I₃ که به ترتیب برابر $\frac{1}{3}$ و $\frac{2}{3}$ مقدار I می‌باشند، مورد بررسی قرار گرفتند.

در ادامه، بوسیله شبیه‌سازی مدل واسنجی شده AquaCrop، با فرض شش سناریوی تاریخ کاشت مختلف جهت تعیین بهترین تاریخ کاشت هر محصول از طریق بررسی مقادیر DY، FB، TWP و EWP انجام گرفت. این تاریخ‌های کاشت در بازه فرصت زمانی مرسوم کاشت هر محصول با اختلاف‌های ۱۴ روزه انتخاب شدند.

در این رابطه FB بیانگر سود کشاورز ($\text{Rials} \cdot \text{ha}^{-1}$) هست که بوسیله اختلاف درآمد و هزینه اعمال شده، بدست می‌آید. در جدول ۲ هزینه تولید هر محصول (Rials/ha) و قیمت فروش محصولات زراعی (Rials/kg) مورد مطالعه که به ترتیب از آمار سالنامه وزارت جهاد کشاورزی ایران و مرکز آمار ایران در سال‌های ۹۴-۱۳۹۳ استفاده شد، ارائه شده است.

گزینه‌های مدیریتی مورد بررسی: پس از واسنجی مدل تحت شرایط دیم (بدون آبیاری)، ابتدا مناسب‌ترین زمان اعمال آبیاری تکمیلی به مقدار P از طریق شبیه‌سازی و با توجه به حداکثر مقدار عملکرد گیاه تعیین شد، سپس در آن زمان

جدول ۲- هزینه تولید و قیمت فروش محصولات زراعی مورد مطالعه در سال‌های ۹۴-۱۳۹۳

محصول	هزینه تولید (Rials/ha)	قیمت فروش در سال ۱۳۹۴ (Rials/kg)
گندم زمستانه	۱۶,۶۸۰,۹۸۹	۱۱,۳۵۲
جو زمستانه	۱۵,۱۱۰,۵۲۹	۸,۸۲۲

جدول ۳- خصوصیات فنولوژیکی محاسبه شده در مراحل رشد گیاه در حالت GDD توسط مدل AquaCrop

در مرحله‌ی واسنجی مدل

پارامتر	واحد	گندم	جو
فاصله کاشت تا گلدهی	درجه-روز	۱۷۲	۹۹
فاصله کاشت تا حداکثر تاج ^۱	درجه-روز	۱۲۰۳	۸۰۷
فاصله کاشت تا شروع پیری	درجه-روز	۱۷۳۴	۹۳۳
فاصله کاشت تا اتمام رشد	درجه-روز	۲۴۳۷	۱۲۸۸

جدول ۴- پارامترهای مهم گیاهی مورد استفاده در مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد گندم و جو

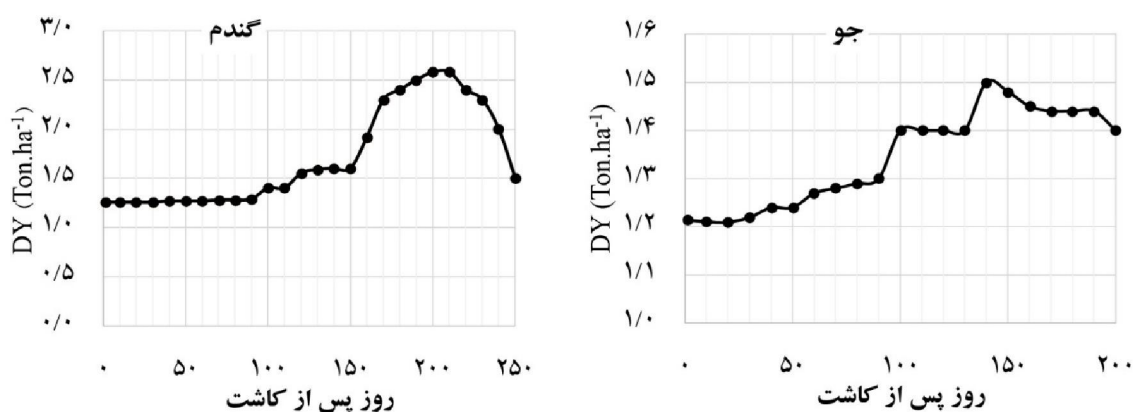
پارامتر	واحد	گندم	جو	توضیحات
پوشش تاج اولیه (CC ₀)	%	۰/۸۷	۰/۸	واسنجی
ضریب کاهش پوشش گیاهی در پیری (CDC)	%GDD ⁻¹	۰/۴	۰/۵۴	واسنجی
ضریب تعرق گیاه	-	۱/۱	۱/۱	پیش فرض
ضریب بهره وری نرمال شده برای CO ₂ و ET ₀	g/m ²	۱۶	۱۷	واسنجی
ضریب عملکرد تحت شرایط افزایش غلظت CO ₂	%	۶۰	۷۰	واسنجی
آستانه بالا برای توسعه تاج گیاه	-	۰/۲	۰/۲	پیش فرض
آستانه پایین برای توسعه تاج گیاه	-	۰/۷۵	۰/۶۵	پیش فرض
آستانه بالای بسته شدن روزنه ها	-	۰/۶۵	۰/۶	پیش فرض
فاکتور شکل برای توسعه تاج گیاه	-	۵	۳	واسنجی
ضریب منحنی شکل برای تنش روزنه ها	-	۲/۵	۳	پیش فرض
ضریب منحنی شکل برای پیری تاج گیاه	-	۰/۷	۰/۵۵	پیش فرض
ضریب منحنی شکل تنش پیری	-	۲/۵	۳	پیش فرض
شاخص برداشت مرجع (HI ₀)	%	۳۴	۳۰	واسنجی
دمای پایه	سلسیوس	۰	۰	پیش فرض
دمای بالا	سلسیوس	۲۶	۱۵	واسنجی
حداکثر عمق توسعه ریشه	m	۱/۵	۱/۳	ورودی

نتایج و بحث

نتایج واسنجی مدل: در جدول ۳ و جدول ۴، پارامترهای گیاهی که پس از واسنجی مدل، در شبیه‌سازی رشد محصولات زراعی گندم و جو دیم مورد استفاده قرار گرفت، نشان داده شده است. در خصوصیات فنولوژیکی مراحل مختلف رشد گیاهان که بوسیله حالت درجه-روز-رشد (GDD) مدل AquaCrop محاسبه شدند، آورده شده است. در جدول ۴ پارامترهای مهم گیاهی که در واسنجی و شبیه‌سازی نتایج بررسی تأثیر گزینه‌های مدیریتی در نظر گرفته شده تحقیق حاضر ارائه شدند. مدل AquaCrop توانست عملکرد محصولات زراعی مورد مطالعه را با

کمترین میزان خطای نسبی (RE) (۱/۶۶ و ۰/۳۳ درصد RE به ترتیب برای گیاهان گندم و جو) در مرحله‌ی واسنجی مدل شبیه‌سازی کند.

تأثیر آبیاری تکمیلی بر بهره‌وری آب مصرفی: پس از واسنجی مدل، زمان مناسب اعمال آبیاری تکمیلی محاسبه شده I (رابطه ۵) برای گیاهان گندم و جو، با استفاده از مدل AquaCrop در طول دوره رشد گیاه و با فاصله زمانی ۱۰ روزه و با توجه به شبیه‌سازی عملکرد گیاه مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۲ عملکرد گیاهان گندم و جو تحت شرایط اعمال آبیاری تکمیلی در مراحل مختلف رشد گیاه نشان داده شده است.



شکل ۲- عملکرد محصول گندم و جو دیم در شرایط آبیاری تکمیلی در زمان های مختلف از طول دوره رشد گیاه

کشاورز (FB) و بهره‌وری اقتصادی کل آب مصرفی (EWP) نسبت به شرایط دیم در جدول ۵ نشان داده شده است. مطابق جدول ۵ مقدار DY گندم با آبیاری تکمیلی کامل (I) تقریباً دو برابر شده است و با مقدار آبیاری برابر $\frac{2}{3}I$ نیز مانند تیمار I می‌توان ماکزیمم عملکرد گیاه را نسبت به شرایط دیم داشت و همچنین به مقدار آبی برابر ۵۷ میلی‌متر کمتر نسبت به آبیاری تکمیلی کامل نیاز است که در این حالت باعث صرفه‌جویی در مصرف آب نیز خواهد بود. اوپس و همکاران (۱۹۹۸) در کشور سوریه گزارش نمودند که با آبیاری به مقدار $\frac{1}{3}$ آبیاری تکمیلی کامل می‌توان میزان عملکرد گندم را نسبت به شرایط دیم دو برابر کرد، همچنین به این نتیجه رسیدند که میزان عملکرد گیاه گندم تحت شرایط آبیاری تکمیلی کامل و آبیاری به اندازه‌ی $\frac{2}{3}$ نیاز آبیاری تکمیلی کامل تقریباً برابر می‌باشد.

در رابطه با گیاه جو می‌توان نتیجه گرفت که ماکزیمم مقدار DY در شرایط آبیاری I و $\frac{2}{3}I$

با توجه به شکل ۲ می‌توان نتیجه گرفت که زمان مناسب انجام آبیاری تکمیلی برای گندم و جو دیم به ترتیب ۲۰۰ و ۱۴۰ روز پس از تاریخ کاشت می‌باشد. در این شرایط، در زمان انجام آبیاری تکمیلی، رشد گیاهان در بازه زمانی رشد میانی^۱ می‌باشد که در نتیجه زمان آبیاری منطبق با دوره‌های گل‌دهی و پرشدن دانه‌ها است که تأثیر قابل توجهی در افزایش اجزای عملکرد گیاه گذاشته است. در تحقیق انجام شده روی گندم توسط تاتاری و همکاران (۱۳۹۰) در شمیران نیز میزان تأثیر آبیاری در دوره زمان رشد میانی، بیشترین میزان عملکرد خشک گیاه نسبت به تیمارهای شامل آبیاری در مراحل اولیه رشد و توسعه‌ی گیاه داشتند.

پس از تعیین زمان مناسب اعمال آبیاری تکمیلی، میزان تأثیر مقادیر مختلف آبیاری تکمیلی ($\frac{1}{3}I$ و $\frac{2}{3}I$) بر روی عملکرد گیاه (DY) و بهره‌وری کل آب مصرفی (TWP)، سود

1- Mid-Season Stage

آبیاری تکمیلی به ترتیب برابر $\frac{1}{3}I$ و $\frac{2}{3}I$ بدست آمد (۰/۶۱ و ۰/۴۴ Kg/m³ به ترتیب برای گندم و جو). با توجه به مقادیر EWP، بیشترین میزان بهره‌وری اقتصادی آب مصرفی در تیمار آبیاری تکمیلی $\frac{2}{3}I$ برای گندم و جو حاصل شد (۴۵۸۰ و ۱۰۵۲ Rials/m³ به ترتیب برای گندم و جو).

می‌باشد و به میزان ۲۹ درصد نسبت به شرایط کشت دیم افزایش یافته است (جدول ۵). حمزه‌ئی و سیدی (۱۳۹۲) نیز گزارش کردند که آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی و پرشدن دانه به ترتیب به میزان ۲۵ و ۵۹ درصد باعث افزایش عملکرد بیولوژیک جو نسبت به تیمار بدون آبیاری در منطقه‌ی همدان می‌گردد. مطابق جدول ۵ بیشترین مقدار TWP برای گندم و جو در تیمارهای

جدول ۵- عملکرد گیاه (DY) و بهره‌وری کل آب مصرفی (TWP)، سود کشاورز (FB) و بهره‌وری اقتصادی کل آب مصرفی (EWP) در شرایط آبیاری تکمیلی.

جو				گندم				شرایط آبیاری
$\frac{1}{3}I$	$\frac{2}{3}I$	I	دیم	$\frac{1}{3}I$	$\frac{2}{3}I$	I	دیم	
۴۲	۸۲	۱۲۵	۰	۵۷	۱۱۳	۱۷۰	۰	عمق آبیاری (mm)
۲۸۱/۶	۲۸۱/۶	۲۸۱/۶	۲۸۱/۶	۲۹۶/۷	۲۹۶/۷	۲۹۶/۷	۲۹۶/۷	بارندگی (mm)
۱/۴۲۳	۱/۵	۱/۵	۱/۲۱۴	۱/۹۶	۲/۵۲۱	۲/۵۸	۱/۲۵۶	DY (Ton/ha)
۰/۴۴	۰/۴۱	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۵۵	۰/۶۱	۰/۵۵	۰/۴۲	TWP (Kg/m ³)
۳/۱۶۲	۳/۸۴۱	۳/۸۴۱	۱/۳۱۸	۱۲/۴۱۰	۱۸/۷۸	۱۹/۴۵	۴/۴۲	FB (MillionRials/ha)
۹۷۸	۱۰۵۲	۹۴۴	۴۶۸	۳۵۱۱	۴۵۸۰	۴۱۶۷	۱۴۸۹	EWP (Rials/m ³)

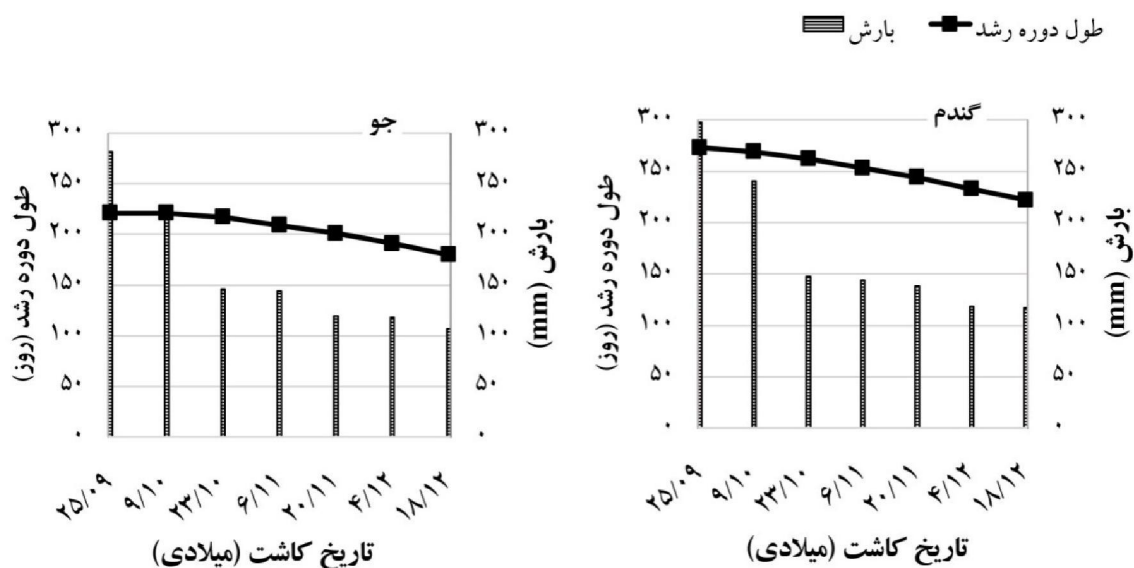
طول دوره رشد برای گندم و جو به ترتیب برابر ۲۵۳ و ۲۰۶ روز است. های (۱۹۸۶) در تحقیقی که اثر تاریخ‌های مختلف کاشت را بر مراحل نمو گندم بررسی کرد، نتایج او نشان داد که تأخیر در کاشت، به دلیل تسریع مراحل نمو گیاه، سبب کوتاه شدن طول دوره رشد گیاه می‌شود. دلیل تفاوت طول دوره رشد نسبتاً زیاد گندم و جو ممکن هست به دلیل تفاوت در فیلوکرون^۱

نتایج سناریو تغییر تاریخ کاشت: در شکل ۳ طول دوره رشد گیاه (از کاشت تا برداشت) و میزان بهره‌مندی از بارش‌ها در طول دوره رشد گیاه نشان داده شده است. طول دوره رشد گیاه با استفاده شرایط دمایی موجود در منطقه و بوسیله مدل AquaCrop برآورد شده است. به تعویق انداختن تاریخ‌های کاشت، به دلیل نیاز دمایی و شرایط GDD مربوط به هر گیاه، طول دوره رشد برای گیاهان گندم و جو کوتاه‌تر می‌شود. متوسط

1- Phyllochron

طول دوره رشد محصولات زراعی مورد مطالعه، به این صورت هست که در تاریخ کاشت سوم مهر (۱۲۵م ماه سپتامبر) برای گندم (۲۹۸ mm)، هشتم مهر (۱۳۰م ماه سپتامبر) برای جو (۲۸۰ mm) می‌باشد.

(GDD مورد نیاز برای تشکیل برگ گیاه) این دو گیاه باشد که GDD مورد نیاز فیلوکرون برای گندم اغلب ۱۱۵-۱۰۰ درجه-روز (Frank and Bauer, 1995) و برای جو اغلب ۶۸-۶۵ درجه-روز (McMaster et al., 1992) است. مطابق شکل ۳ بیشترین میزان بهره‌مندی از بارندگی‌ها در



شکل ۳- طول دوره رشد گیاه و میزان بهره‌مندی از بارش‌ها تحت شرایط گزینه‌های مختلف تاریخ کاشت

توجه به اینکه میزان آبیاری تکمیلی برای هر یک از تیمارهای تاریخ کاشت مورد بررسی برابر است، بنابراین در روابط ۷ و ۸ جهت محاسبه شاخص‌های TWP و EWP مقدار بارندگی (P) در این روابط در نظر گرفته نشده است و فقط میزان تغییرات بهره‌وری آب آبیاری تکمیلی (I) مورد بررسی قرار گرفته شد.

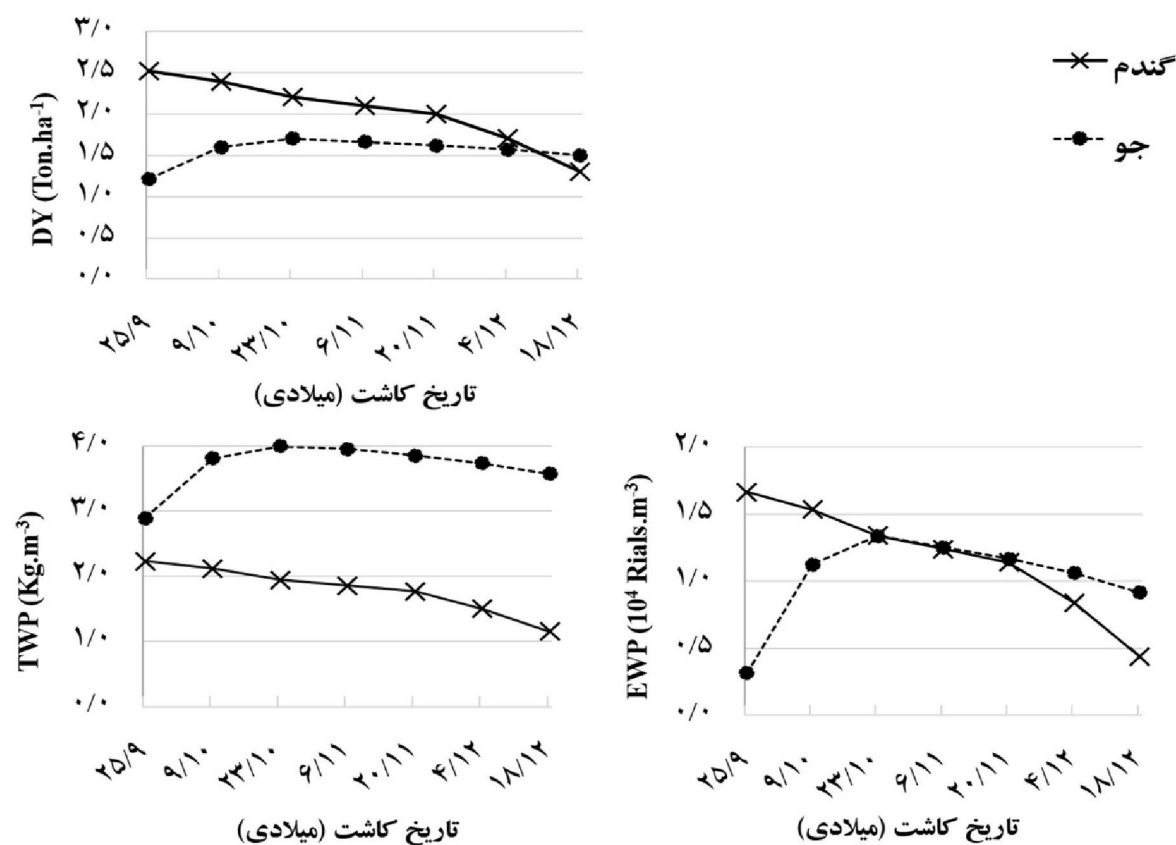
پارادس و همکاران (۲۰۱۶) تحقیقی که در کشور پرتقال انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که با تاریخ کاشت گیاه زمستانه در اواسط ماه نوامبر به دلیل بهره‌مندی از بارندگی‌های بیشتر در مصرف آب آبیاری مفید است و همچنین به تعویق انداختن تاریخ کاشت به اوایل ماه ژانویه و با استفاده از آبیاری تکمیلی از نظر عملکرد گیاه و بهره‌وری آب و سود خالص بهترین گزینه است.

متوسط مقادیر DY در تاریخ‌های کاشت مورد مطالعه، برای گیاهان گندم و جو به ترتیب برابر ۲ و ۱/۵۵ ton/ha بدست آمد (شکل ۴). بیشترین مقدار DY و در نتیجه سود کشاورز در صورت کشت جو، در تاریخ کاشت اوایل آبان

در شکل ۴ مقادیر DY (ton/ha) و EWP (Kg/m³) و (10⁴ Rials/m³) برای هر یک از گیاهان بر اساس نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop نشان داده شده است. با

راوری (۱۳۸۲) نتایجی مشابه برای گیاه جو گزارش نموده است. بدین صورت که چهار تاریخ کاشت مختلف (۱۵ مهر، ۳۰ مهر، ۱۵ آبان و ۳۰ آبان) را در بردسیر کرمان مورد آزمایش قرار داد و نتایج نشان داد که در تاریخ‌های کاشت ۱۵ مهرماه و ۳۰ آبان ماه کمترین مقدار اجزای عملکرد گیاه جو بدست آمد.

(اواخر اکتبر) می‌باشد و با کاشت زود هنگام (اوایل مهر) و کشت دیر هنگام میزان DY کاهش می‌یابد و در صورت کشت گندم در تاریخ کاشت اوایل مهر (اواخر سپتامبر) نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت بیشترین مقدار DY برآورد گردید و هرچه قدر تاریخ کاشت به تعویق بیافتد میزان عملکرد گیاه کاهش می‌یابد (شکل ۴).



شکل ۴- تغییرات میزان بهره‌وری آبیاری تکمیلی (TWP)، عملکرد خشک (DY) و بهره‌وری اقتصادی آبیاری تکمیلی (EWP) گندم و جو تحت شرایط تیمارهای تاریخ کاشت مختلف

تحقیق برای گیاهان جو و گندم تقریباً در بازه مقادیر گزارش شده این شاخص توسط کوسانی و همکاران (۲۰۱۲) (به ترتیب ۲/۳-۰/۷۳ و ۱/۶۸-۰/۹۵ Kg/m³ برای جو و گندم) هستند. مقادیر متوسط EWP برای گندم و جو به ترتیب برابر

متوسط مقادیر TWP تحت شرایط آبیاری تکمیلی (بدون در نظر گرفتن بارندگی) در زمان مناسب و تاریخ‌های کاشت متفاوت برای گندم و جو به ترتیب برابر ۱/۸ و ۳/۷ Kg/m³ هستند (شکل ۴). مقادیر TWP بدست آمده در این

نتیجه‌گیری

با تغییر برخی پارامترهای مؤثر بر رشد گیاه در مدل AquaCrop، با حداقل میزان خطای نسبی، عملکرد گیاهان گندم و جو شبیه‌سازی شد. زمان مناسب انجام آبیاری تکمیلی برای گندم و جو دیم به ترتیب ۲۰۰ و ۱۴۰ روز پس از تاریخ کاشت این گیاهان بدست آمد. جهت بررسی عملکرد گیاهان مورد مطالعه تحت شرایط آبیاری تکمیلی با عمق‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفتند و مشاهده شد که ماکزیمم مقدار DY برای گندم و جو در شرایط آبیاری تکمیلی کامل (I) و $\frac{2}{3}I$ می‌باشد و در گیاه جو به میزان ۲۹ درصد و در گیاه گندم به میزان حدود ۱۰۰ درصد نسبت به شرایط کشت دیم افزایش یافته است. جهت بررسی تأثیر تاریخ کاشت بر صرفه‌جویی در مصرف منابع آب و استفاده بهینه از بارش‌ها بوسیله شاخص TWP و EWP و تأثیر تاریخ کاشت بر FB و DY مورد بررسی قرار گرفت. مناسب‌ترین تاریخ کاشت از نظر ماکزیمم TWP، EWP و DY برای محصولات گندم و جو به ترتیب اوایل مهرماه (دهه سوم ماه میلادی سپتامبر)، اوایل آبان ماه (دهه سوم اکتبر) بدست آمد.

۱/۲ و ۱/۰۲ 10^4 Rials/m³ بدست آمد. در نتیجه از نظر شاخص TWP بهره‌وری آبیاری تکمیلی در صورت کشت جو به دلیل نیاز آبیاری تکمیلی کمتر جهت تأمین رطوبت خاک نسبت به گندم، بیشتر از گندم است اما از نظر شاخص EWP میزان بهره‌وری اقتصادی آبیاری تکمیلی گندم نسبت به جو بیشتر است. دلیل این امر نیز می‌تواند به ارزش اقتصادی و سود فروش بیشتر گندم نسبت به گیاه جو در واحد سطح باشد. مطابق شکل ۴، تاریخ کاشت بهینه گیاهان مورد مطالعه، از نظر شاخص‌های TWP و EWP، ششم آبان ماه (۲۸م ماه میلادی اکتبر) برای جو (بیشترین مقدار TWP و EWP به ترتیب برابر $4/05 \text{ Kg/m}^3$ و $1/33 \cdot 10^4 \text{ Rials/m}^3$)، سوم مهر (۲۵م ماه میلادی سپتامبر) برای گندم (بیشترین مقدار TWP و EWP به ترتیب برابر $2/2 \text{ Kg/m}^3$ و $1/66 \cdot 10^4 \text{ Rials/m}^3$) هستند. با توجه به اینکه گیاه گندم از نظر عملکرد و سود حاصل از آن نسبت به جو بهتر است، در نتیجه این موضوع در انتخاب نوع محصول جهت کاشت در فصل پاییز می‌تواند قابل توجه باشد.

منابع

- بلسون وحید. ۱۳۷۸. بررسی تأثیر آبیاری تکمیلی و مقادیر مصرف ازت در افزایش عملکرد گندم ارقام دیم. گزارش نهایی مرکز تحقیقات آذربایجان غربی، شماره ۷۷/۷۸. ۱۹ص.
- بقایی کیا رحیم. ۱۳۷۳. بررسی اثرات تاریخ کاشت و میزان های بذر بر عملکرد جو والفجر. سومین کنگره زراعت و اصلاحات نباتات ایران، دانشگاه تبریز.

- تاتاری مریم، ملک احمدی مسعود و عباسی علی کمر رضا. ۱۳۹۱. اثر آبیاری تکمیلی بر رشد و عملکرد گندم دیم. پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۰(۲): ۴۴۸-۴۵۵.
- حمزه‌ئی جواد و سیدی محسن. ۱۳۹۲. واکنش عملکرد و اجزای عملکرد ارقام جو به آبیاری تکمیلی در شرایط دیم. دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۳(۴): ۱۵۹-۱۶۸.
- راوری سیدذبیح اله. ۱۳۸۲. اثر تاریخ کاشت بر عملکرد چند رقم و لاین پیشرفته جو. نهال و بذر. ۱۹(۳): ۴۰۱-۴۱۱.
- صفاری مهری و مددی زاده محمد. ۱۳۹۱. بررسی تاثیر سطوح مختلف کود ازته و آبیاری تکمیلی بر عملکرد و اجزای عملکرد جو رقم سهند در منطقه بافت. زراعت دیم ایران. ۱(۱): ۹۲-۱۰۷.
- علیزاده خشنود. ۱۳۹۴. گیاهان علوفه‌ای مقاوم به خشکی مناسب برای شرایط دیم. دانشگاه آزاد اسلامی. ارومیه.
- طیعی علی اشرف و صیادیان کیومرث. ۱۳۹۳. اثر مقادیر کربن آلی و ازت کل خاک بر واکنش گندم دیم (سرداری) به مصرف کود نیتروژن و تعیین حد بحرانی آنها در استان کرمانشاه. علوم زراعی ایران. ۳(۳).
- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. 1998. FAO Irrigation and drainage paper No. 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations 56: 97-156.
- Andarzian B, Bannayan M, Orsham A, Mazraeh H. 2010. AquaCrop simulation yield response of wheat to water availability in south of Iran. In: Improving farm management strategies through AquaCrop: worldwide collection of case studies, FAO and UNW-DPC, 8-9 October, Yogyakarta, Indonesia.
- Andarzian B, Bannayan M, Steduto P, Mazraeh H, Barati M, Barati M, Rahnama A. 2011. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Agricultural Water Management* 100 (1): 1-8.
- Austin R, Cantero-Martinez C, Arrúe J, Playán E, Cano-Marcellán P. 1998. Yield-rainfall relationships in cereal cropping systems in the Ebro river valley of Spain. *European Journal of Agronomy* 8(3): 239-248.
- Cossani CM, Slafer GA, Savin R. 2012. Nitrogen and water use efficiencies of wheat and barley under a Mediterranean environment in Catalonia. *Field Crops Research* 128: 109-118.
- Doorenbos J, Kassam A. 1979. Yield response to water. *Irrigation and drainage paper* 33: 257.
- Frank A, Bauer A. 1995. Phyllochron differences in wheat, barley, and forage grasses. *Crop Science* 35(1): 19-23.
- Geerts S, Raes D. 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural water management* 96(9): 1275-1284.
- Hay R. 1986. Sowing date and the relationships between plant and apex development in winter cereals. *Field Crops Research* 14: 321-337.

- Heng LK, Hsiao T, Evett S, Howell T, Steduto P. 2009. Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. *Agronomy Journal* 101(3): 488-498 .
- Huang G, Chen W, Li F, 2011. Rainfed farming systems in the Loess Plateau of China, *Rainfed Farming Systems*. Springer 643-669 pp.
- Iqbal MA, Shen Y, Stricevic R, Pei H, Sun H, Amiri E, Penas A, del Rio S. 2014. Evaluation of the FAO AquaCrop model for winter wheat on the North China Plain under deficit irrigation from field experiment to regional yield simulation. *Agricultural Water Management* 135: 61-72 .
- McMaster G, Wilhelm W, Morgan J. 1992. Simulating winter wheat shoot apex phenology. *The Journal of Agricultural Science* 119(01): 1-12 .
- Oweis T, 1997. Supplemental irrigation: A highly efficient water-use practice. ICARDA.
- Oweis T, Zhang H. 1998. Water-use efficiency: index for optimising supplemental irrigation of wheat in water scarce areas. *Zeitschrift f.Bewaesser-ungswirtschaft* 33 (2): 321-336.
- Paredes P, Rodrigues GC, do Rosário Cameira M, Torres MO, Pereira LS. 2016. Assessing yield, water productivity and farm economic returns of malt barley as influenced by the sowing dates and supplemental irrigation. *Agricultural Water Management* 179: 132-143.
- Raes D, Steduto P, Hsiao T, Fereres E. 2016. Reference manual AquaCrop version 5.0. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy .
- Raes D, Steduto P, Hsiao TC, Fereres E. 2009. AquaCrop the FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and software description. *Agronomy Journal* 101(3): 438-447.
- Spink J, Semere T, Sparkes D, Whaley J, Foulkes M, Clare R, Scott R. 2000. Effect of sowing date on the optimum plant density of winter wheat. *Annals of Applied Biology* 137(2): 179-188 .
- Steduto P, Hsiao TC, Raes D, Fereres E. 2009. AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal* 101 (3) 426-437.
- Taifeh Rezaee H, Nikanfar R, Hessari B, Azizi A, Farmani G, Razavi R, Salmanian R, Akram M. 2014. Actual hydromodules of Nazloo-Chay irrigated area. *Agricultural Engineering Research Institute of Iran–AERI*

Effect of supplementary irrigation and planting date on the physical and economic water productivity of wheat and barley plants under Urmia dryland conditions

A. Alizadeh Dizaj¹, H. Ebrahimian^{*2}

1-MSc student, Department of Irrigation & Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran

2- Department of Irrigation & Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran

Abstract

The Urmia Lake catchment is one of the most susceptible agricultural areas that has been affected by water stress and environmental problems which caused by the drying of Lake Urmia in recent decades. Using simulation models in exploring management options can be a reliable and appropriate tools for catchment areas. In this research, the effect of two management options that leads to controlling and increasing the productivity of water resources in the Lake Urmia basin and the Urmia region is investigated by the AquaCrop model. These options included: (1) complete supplementary irrigation (I) at the right time due to the plant growth period and its optimum depth; and (2) the planting date. The effect of these management options on the physical Water Productivity (TWP), the Economic Water Productivity of supplementary irrigation (EWP) and dry yield (DY) of wheat and barley plants under dryland condition was investigated. Simulation was performed using climatic information about 1393-94. The results showed that supplementary irrigation of wheat and barley was 200 and 140 days after planting date, respectively. The highest amount of TWP of wheat and barley was in supplementary irrigation treatments of $\frac{2}{3}$ I and $\frac{1}{3}$ I, respectively. (0.61 and 0.44 Kg. m⁻³ for wheat and barley respectively). According to EWP values, the highest economic productivity of water was obtained in $\frac{1}{3}$ I treatment for wheat and barley (4580 and 1052 Rials.m⁻³ for wheat and barley, respectively). The optimum planting date for maximum amounts of TWP, EWP, and DY was obtained for in the first decade of October and the first decade of November for wheat and barley, respectively.

Keywords: AquaCrop, Farmer's Profit, Lake Urmia, On-Farm Water Management, Dry Yield.

* Corresponding author: ebrahimian@ut.ac.ir Received: 2017/11/20 Accepted: 2018/01/08