

مقاله علمی-پژوهشی

## بررسی کارایی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی تبخیر-تعرق ذرت واجزای آن در سامانه‌های آبیاری میکرو تحت شرایط مالچ

حسین دهقانی سانجج<sup>۱\*</sup>، سمیرا اخوان<sup>۲</sup>، هادی رمضانی اعتدالی<sup>۳</sup>، الهه کنعانی<sup>۴</sup>، محمدمهدی نخبجوانی مقدم<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۱۷

### چکیده

هدف از این پژوهش شبیه‌سازی تأثیر سامانه‌های آبیاری میکرو تحت شرایط مالچ بر میزان تبخیر-تعرق، تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاهی ذرت علوفه‌ای با استفاده از مدل AquaCrop است. در این مطالعه کارایی AquaCrop با استفاده از داده‌های برداشت شده برای ذرت علوفه‌ای تحت سامانه‌های آبیاری (لوله‌های رسی تراوای عمودی (PCI)، قطره‌ای سطحی (DI) و قطره‌ای زیرسطحی (SDI)) در شرایط مالچ در تابستان سال ۱۳۹۳ در منطقه نیمه‌خشک کرج، استان البرز مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به دامنه تغییرات آماره NRMSE در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی (۷/۷۴ و ۱۰/۷ درصد) دقت این مدل در شبیه‌سازی بیوماس ذرت علوفه‌ای قابل قبول بود و به ترتیب در محدوده عالی و خوب قرار داشت که نشان از کارایی مناسب مدل در شبیه‌سازی بیوماس ذرت علوفه‌ای می‌باشد. مدل برای شبیه‌سازی تبخیر-تعرق ذرت از کارایی متوسطی برخوردار بود. کارایی مدل در شبیه‌سازی تبخیر-تعرق ذرت در تیمار PCI-M1 بهتر از سایر تیمارها بود، به طوری که کمترین مقدار nRMSE و بیشترین مقدار  $R^2$  را به خود اختصاص داد. در برآورد تبخیر از سطح خاک هیچ‌گونه همبستگی خوبی بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده وجود نداشت و مقدار nRMSE بالا در این تیمارها (۲/۹۶ و ۳/۲۳ درصد) نشان‌دهنده عدم کارایی مناسب مدل در برآورد تبخیر از سطح خاک می‌باشد. مثبت بودن شاخص MBE در هر دو تیمار DI-M1 و SDI-M1 نشان‌دهنده بیش‌برآوردی مدل در شبیه‌سازی تبخیر از سطح خاک است و مقادیر تبخیر از سطح خاک را نزدیک به مقادیر مشاهده‌ای برآورد نمی‌کند. ارزیابی‌های آماری بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی تبخیر گیاهی همبستگی متوسطی بین مقادیر مشاهده‌ای با شبیه‌سازی شده را نشان داد. در پیش‌بینی پوشش گیاهی مقدار شاخص NRMSE، در همه تیمارها بیشتر از ۳۰ درصد محاسبه شد که نشان‌دهنده عملکرد ضعیف مدل می‌باشد. در این تیمارها حداکثر مقدار پوشش گیاهی شبیه‌سازی شده به کمک مدل AquaCrop بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای پوشش گیاهی است.

**واژه‌های کلیدی:** آبیاری قطره‌ای، لوله‌های رسی تراوا، پوشش گیاهی، AquaCrop، جداسازی تبخیر-تعرق

### مقدمه

کشاورزی عمده‌ترین بخش مصرف‌کننده در کشورهای خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود و به عنوان نخستین منبع بهره‌برداری برای رقابت آب به شمار می‌رود (Ayars et al., 2015). تلفات تبخیر-تعرق ( $ET_c$ ) یکی از مهم‌ترین چالش‌های کشاورزی آبی و از متغیرهای مهم و مؤثر در درک بهتر سیستم‌های اکولوژیکی، می‌باشد، که این متغیر می‌تواند تا ۹۵٪ از توازن آب در مناطق خشک را تشکیل دهد (Wilcox et al., 2003). اجزاء منحصر به فرد  $ET_c$  شامل تبخیر از خاک ( $E^y$ ) و تعرق از طریق روزنه گیاهان ( $T^a$ ) و در برخی موارد تبخیر آبی که از طریق تاج پوشش گیاه صورت می‌گیرد،

- ۱- دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، البرز، ایران
  - ۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
  - ۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
  - ۴- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
  - ۵- استادیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، البرز، ایران
- \*- نویسنده مسئول: (Email: h.dehghansanij@areeo.ac.ir)

- 6- Crop Evapotranspiration
- 7- Evaporation
- 8- Transpiration

می‌باشد. عملکرد E و T در اکوسیستم کاملاً متفاوت است: معمولاً با بهره‌وری گیاه مرتبط می‌باشد، در حالی که E مستقیماً به بهره‌وری کمک نمی‌کند. تقسیم آب به اجزای مطلوب و نامطلوب معمولاً با اصطلاح "کارایی مصرف آب" یا "بهره‌وری آب" تعریف می‌شود، که در آن معمولاً جزء مطلوب‌تر و E جزء نامطلوب محسوب می‌شود (Van Halsema and Vincent, 2012). از آنجایی که در حال حاضر محیط‌های با محدودیت آبی تقریباً نیمی از سطح زمین را تشکیل می‌دهند، انتظار می‌رود موضوع ارزیابی دقیق ET و اجزای آن همچنان حادث‌تر شود (Newman et al., 2006). در کشاورزی، برآورد دقیق  $E_T$  و اجزای آن پایه و اساس بسیاری از طرح‌های مدیریت آبیاری است و برای تعیین شیوه‌های مدیریت آب، طراحی سیستم‌های آبیاری، رژیم‌های آبیاری و محاسبه عملکرد محصول امری ضروری است (Allen et al., 1998). اخیراً، مالچ‌پاشی زمین برای اجرای مدیریت بهتر آب در جهت کاهش تلفات آب به دلیل تبخیر از سطح خاک و ایجاد شرایط مطلوب‌تر برای تعرق گیاهی مورد توصیه قرار گرفته است (Tiwari et al., 2014, Reddy et al., 2018). بهبود روش‌های مدیریت آبیاری در شرایط مالچ یک فناوری جدید در جهت صرفه‌جویی در مصرف آب است، که می‌تواند در جلوگیری از هدر رفت آب در اثر تبخیر از سطح خاک مؤثر باشد. در سال‌های اخیر، آبیاری قطره‌ای در شرایط مالچ به طور گسترده‌ای در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد استفاده قرار گرفته است (Qin et al., 2016). آبیاری قطره‌ای تحت شرایط مالچ، با ادغام مزایای آبیاری قطره‌ای و مالچ، به طور مؤثری تبخیر از سطح خاک را کاهش می‌دهد و از خطر تخریب خاک توسط شورشیدن خاک نیز جلوگیری به عمل آورد (Wang et al., 2010). این عمل به‌طور گسترده در مناطق خشک یا نیمه‌خشک برای جلوگیری از اتلاف منابع آب و بهبود کارایی مصرف آب (WUE) محصولات زراعی ارتقا یافته است (Díaz-Pérez and Eaton, 2015; Filipovic' et al., 2016; Li et al., 2017; Yang et al., 2016). از طرف دیگر برای اطمینان از محیط مناسب آب / نمک برای رشد محصول در مناطق خشک یا نیمه‌خشک، به دلیل خشکسالی و نمک‌زدایی خاک که تأثیر بسزایی در منابع آب و کیفیت خاک دارد، تمایل به استفاده از آب بیش از حد وجود دارد (GarcíaVila et al., 2009)، که این امر می‌تواند زمینه‌ساز مجموعه‌ای از مشکلات مضر به به توسعه پایدار کشاورزی، از جمله از بین رفتن مواد مغذی و بهره‌وری کم آب محصول شود. در این زمینه، توسعه استراتژی‌های مناسب برای آبیاری یک رویکرد عملی برای حل این مشکل است. کاربرد روش‌های آبیاری قطره‌ای تحت شرایط مالچ باعث می‌شود میزان اتلاف آب را به دلیل کاهش تبخیر خاک کاهش یابد، رطوبت خاک حفظ شود و حاصلخیزی خاک بهبود یابد و بعلاوه، از رشد علف‌های هرز جلوگیری شود و همچنین به توزیع یکنواخت رطوبت به منظور کاهش تنش گیاه نیز کمک کند

(Paul et al., 2013; Panigrahi et al., 2016). با توجه به قرار گرفتن ایران در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک و نیز تلاش برای بالا بردن بهره‌وری مصرف آب، لزوم شناخت تبخیر-تعرق و اجزای آن را بیش از پیش با اهمیت می‌کند. روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری و تعیین دقیق تبخیر-تعرق و اجزای آن وجود دارد که شامل لایسیمترهای وزنی، روش بیلان انرژی، نسبت بوون، بوون (BREB)، جریان سنج‌های شیره گیاهی (SF)، پالس حرارت خاک (SHP) و میکرو لایسیمترها است. به دلیل اینکه آزمایش‌های مزرعه‌ای نیازمند صرف وقت، هزینه و انرژی بوده و همچنین به دلیل محدودیت این آزمایش‌ها به شرایط فیزیکی مزرعه، کوتاه بودن مدت آزمایش و نیز محدودیت در تعداد سناریوهایی که توسط آزمایش بررسی می‌شوند، استفاده از مدل‌ها و نرم‌افزارها در روابط آب و خاک توسعه یافته است (Russo and Bakker, 1986). از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های CROPWAT (Smith, 1992)، DSSAT (Jones et al., 2003)، WOFOST (van Diepen et al., 1989) CropSyst (Stöckle et al., 2003) اشاره نمود، که برای شبیه‌سازی رشد محصول تحت شرایط مختلف برای بهینه‌سازی آبیاری می‌تواند مفید باشد. با این حال، بسیاری از این مدل‌ها برای کالیبراسیون و شبیه‌سازی آنها، به تعداد زیادی پارامتر ورودی و مهارت مدل‌سازی پیشرفته نیاز دارند (Heng et al., 2009). در بین این مدل‌ها، AquaCrop یک مدل آب محور برای شبیه‌سازی بهره‌وری آب محصولات زراعی توسط سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل توسعه یافته است و می‌تواند با نرمال کردن یک پارامتر بهره‌وری آب برای اقلیم (هم تقاضای تبخیر و هم  $CO_2$  اتمسفر)، به‌طور گسترده‌ای در فضا و زمان بکار برده شود (Hsiao et al., 2009; Steduto et al., 2009). این مدل دارای پارامترهای ورودی کمتری نسبت به سایر مدل‌های شبیه‌سازی (مثلاً DSSAT و WOFOST) می‌باشد. در نقاط مختلفی ایران و جهان عملکرد خوب مدل AquaCrop در پیش‌بینی رشد و بهره‌وری مصرف آب و نیز تبخیر-تعرق گیاه به اثبات رسیده است که این پیش‌بینی‌ها می‌تواند برای بهینه‌سازی استراتژی‌های آبیاری نیز مورد استفاده قرار گیرد. از جمله تحقیقات صورت گرفته در نتیجه کاربرد مدل AquaCrop می‌توان به مطالعه فراهانی و همکاران اشاره کرد که با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای سه فصل رشد محصول در شمال سوریه تحت سه سطح آبیاری کامل، کم‌آبیاری و قطره‌ای پیش‌بینی دقیقی از تبخیر-تعرق را با استفاده از مدل AquaCrop به اثبات رساندند (Farahani et al., 2009). گارسیا-ویلا و همکاران گزارش کردند که AquaCrop می‌تواند به‌طور کافی پاسخ عملکرد پنبه را به آب آبیاری کاربردی برآورد کند و همچنین آنها توانستند که با استفاده از روش بهینه‌سازی اقتصادی، آبیاری بهینه به دست آورند (García-Vila et al., 2009). وانگ و همکاران اشاره کردند که AquaCrop

مالچ و سامانه‌های آبیاری نقطه‌ای با استفاده از مدل AquaCrop تحقیقی صورت نگرفته است. بنابراین با توجه به اینکه لزوم شناخت و تعیین دقیق سهم هر یک از اجزای تبخیر-تعرق دارای اهمیت زیادی است، می‌توان با اعمال روش‌های مدیریتی مختلف بالأخص در مورد سیستم‌های نوین آبیاری که با هزینه‌ای بالا اجرا می‌شوند، در کم کردن هرچه بیشتر تلفات تبخیر، بهبود آب مصرفی و همین‌طور افزایش عملکرد گیاه گام برداشت. هدف از تحقیق حاضر شبیه‌سازی اجزای تبخیر-تعرق ذرت در سامانه‌های آبیاری نقطه‌ای (قطره‌ای و لوله‌های رسی تراوای عمودی) تحت شرایط مالج با استفاده از مدل AquaCrop بود.

## مواد و روش‌ها

### مشخصات محل اجرای طرح

پژوهش حاضر در تابستان ۱۳۹۳ در مزرعه پایلوت معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی واقع در کرج با عرض جغرافیایی  $35^{\circ}46'$ ، طول جغرافیایی  $51^{\circ}55'$  و ارتفاع از سطح دریا برابر ۱۲۶۰ متر انجام شد. آب و هوای منطقه کرج نیمه‌خشک است و دارای میانگین بارش سالانه  $279/3$  میلی‌متر، میانگین دمای سالانه  $16/6$  درجه سانتی‌گراد است. به منظور پایش میزان مصرف آب ذرت تحت سیستم‌های مختلف آبیاری، ۱۸ عدد میکروولایسیمتر حجمی با ابعاد  $40$  سانتی‌متر قطر و  $70$  سانتی‌متر عمق در خاک یک مزرعه ذرت با مساحت  $18$  هکتار، که با خاک‌های خاکبرداری اطراف پر شده بود، کارگذاری شد. در داخل هر میکروولایسیمتر  $3$  عدد بذر ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس  $704$  به صورت دستی با فواصل  $13$  سانتی‌متر از یکدیگر به ترتیب بر روی یک ردیف و با عمق  $5$  سانتی‌متر از سطح خاک کاشته شد. همچنین برای اندازه‌گیری تبخیر از سطح خاک سه عدد میکروولایسیمتر فاقد کشت گیاه ذرت (تحت سامانه قطره‌ای سطحی، قطره‌ای زیرسطحی و قطره‌ای و لوله‌های رسی تراوای عمودی) در داخل مزرعه کارگزاری شد. خاک مورد مطالعه در این تحقیق دارای بافت لومی و با میانگین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم به ترتیب  $22/3$  و  $9/63$  درصد بود. برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

### مدیریت آبیاری

پژوهش حاضر به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تیمار اصلی روش آبیاری (قطره‌ای و لوله‌های رسی تراوای عمودی (PCI)، قطره‌ای سطحی (DI) و قطره‌ای زیرسطحی (SDI)) و تیمار فرعی مالج (با مالج (M1) و بدون مالج (M2)) در سه تکرار اجرا شد.

عملکرد قابل قبولی در زیست توده و عملکرد گندم زمستانه در شرایط کامل و کسری با استفاده از داده‌های آزمایش ۵ ساله ارائه کرده است و برای دستیابی به کارایی مصرف آب بالا برای سال‌های مختلف هیدرولوژی، حداقل مقدار آبیاری را تعیین کرده است. Wang et al., (2013). ولوداکیس و همکاران در هفت منطقه از یونان عملکرد خوبی از AquaCrop را برای پیش‌بینی عملکرد پنبه با استفاده از داده‌های آزمایش سه ساله و پاسخ عملکرد پنبه به تغییرات آب و هوایی تأیید کردند (Voloudakis et al., 2015). میان و همکاران در تحقیقی که با هدف نشان دادن کارایی مدل آکوا کراپ بر روی گیاه ذرت در منطقه Pennsylvania انجام دادند گزارش کردند که مدل AquaCrop در برآورد تبخیر و تعرق ذرت بیش‌برآورد دارد و بیش‌برآوردی ET توسط مدل AquaCrop به اشتباهات در تخمین پارامترهای هیدرولیکی خاک از جمله FC و WP نسبت داده شد (Mebane et al., 2013). ابی‌صعب و همکاران در تحقیقات خود نشان دادند که مدل AquaCrop در پیش‌بینی تبخیر-تعرق کم‌برآورد دارد و عدم کارایی مناسب مدل در شبیه‌سازی تبخیر-تعرق گیاه سویا و آفتاب‌گردان را گزارش کردند (Abi Saab et al., 2014). مشابه با همین تحقیق انجوم اقبال و همکاران در تحقیقی که با هدف شبیه‌سازی تبخیر-تعرق گندم زمستانه در جنوب چین انجام دادند، خاطرنشان کردند که مدل AquaCrop در پیش‌بینی تبخیر-تعرق گندم زمستانه کم‌برآورد (Anjum Iqbal., 2014). گریوز و همکاران در تحقیقات خود نشان دادند که مدل AquaCrop قادر به شبیه‌سازی دقیق درصد پوشش گیاهی ذرت برای تیمار آبیاری کامل و  $67$  درصد آبیاری کامل بود اما در تیمار  $50$  و  $33$  درصد آبیاری کامل مدل AquaCrop با درصد خطای بالاتری بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای، شبیه‌سازی کرد (Greaves and Wang, 2016). نتایج تحقیقات ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۴) نیز حاکی از عملکرد ضعیف مدل AquaCrop در شبیه‌سازی درصد پوشش گیاهی ذرت در تیمارهای اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری ( $60$ ،  $80$ ،  $100$  و  $120$  درصد تخلیه‌ی رطوبت خاک) و صفر کیلوگرم نیتروژن بر هکتار بود. مساسی و همکاران در تحقیقات خود که به منظور شبیه‌سازی تبخیر-تعرق و رطوبت خاک بر روی گیاه سورگوم دانه‌ای انجام دادند، گزارش کردند که مدل در شبیه‌سازی تبخیر-تعرق سورگوم دانه‌ای بیش‌برآورد دارد (Masasi et al., 2019). به همین دلایل، AquaCrop می‌تواند در شرایط مختلف، ابزاری مناسب برای پیش‌بینی بهره‌وری محصول باشد. همانطور که تحقیقات نشان می‌دهد مدل AquaCrop تحت سناریوهای مختلف، قابلیت بالایی را در شبیه‌سازی رشد و عملکرد محصول و نیز بهره‌وری آب از خود نشان داده است. اما در کمتر مطالعه‌ای اشاره‌ای به شبیه‌سازی تبخیر-تعرق و اجزای آن به صورت جداگانه شده است و در زمینه جداسازی تبخیر-تعرق تحت شرایط

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک

عمق خاک (cm)	جرم مخصوص ظاهری خاک (gr cm <sup>-3</sup> )	رطوبت وزنی در ظرفیت زراعی (%)	رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی دائم (%)	هدایت الکتریکی (dS m <sup>-1</sup> )	پH خاک	بافت خاک
۰-۲۰	۱/۴۲	۲۲/۵	۹/۸	۱/۴۱	۷/۸	لوم
۲۰-۴۰	۱/۴۲	۲۲/۴	۹/۶	۱/۲۱	۷/۹	لوم
۴۰-۶۰	۱/۴۲	۲۲/۱	۹/۵	۲/۴۶	۸/۱۴	لوم

گیاه ذرت با آبیاری کپسول رسی متخلخل (PCI<sup>۱</sup>) و سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI<sup>۲</sup>) آبیاری شد. در این طرح کپسول‌های رسی متخلخل در عمق ۳۰ سانتی‌متر خاک دفن شده بودند. هر کپسول متخلخل دارای طول ۳۰ سانتی‌متر و قطر ۶/۵ سانتی‌متر بود. برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی از لوله‌های ۱۶ میلی‌متری مجهز به قطره‌چکان از نوع Netafim با دبی ۴ لیتر بر ساعت و از نوع تنظیم‌شونده فشار در داخل لوله با فاصله ۴۰ سانتی‌متر استفاده شد و قطره‌چکان‌های Netafim با استفاده از میکروتیوب متصل شده به لترال‌های آبیاری در عمق ۳۰ سانتی‌متری از خاک در زیر ردیف کشت کار گذاشته شدند و آب آبیاری از طریق میکروتیوب به عمق موردنظر منتقل می‌شد. عملیات آبیاری پس از جوانه‌زنی و استقرار بوته‌ها از روی محاسبات انجام شد و براساس دور آبیاری دو روز در هفته در اختیار گیاه قرار گرفت. عمق آب آبیاری موردنیاز بر اساس فرمول پنمن-مانتیت فائو (Allen et al., 1998) و با استفاده از اطلاعات هواشناسی ثبت شده توسط ایستگاه سینوپتیک هواشناسی کرج محاسبه گردید. لازم به ذکر است که یک عدد کنتور حجمی نیز در مسیر جریان آب در لوله نصب شد که حجم آب ورودی به سیستم قطره‌ای زیرسطحی را کنترل می‌کرد. به منظور برآورد مقدار تبخیر-تعرق گیاه مرجع به روش پنمن-مانتیت فائو (Allen et al., 1998) از رابطه زیر استفاده شد:

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma [890 / (T + 273)] U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (1)$$

در رابطه بالا:  $ET_o$ : تبخیر-تعرق گیاه مرجع (mm day<sup>-1</sup>),  $R_n$ : تابش خالص در سطح پوشش گیاهی (Mj m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>),  $T$ : متوسط دمای هوا (°C),  $u_2$ : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (m s<sup>-1</sup>),  $\Delta$ : شیب منحنی فشار بخار (Kpa °C<sup>-1</sup>),  $\gamma$ : ضریب رطوبتی (Kpa °C<sup>-1</sup>),  $G$ : شار گرمایی به داخل خاک (Mj m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>),  $e_s - e_a$ : کاهش فشار بخار اشباع (KPa) می‌باشد.

عمق ناخالص آب آبیاری از رابطه (۲) محاسبه گردید:

$$D_g = \frac{ET_o \times K_c}{e} \quad (2)$$

- 1- porous capsule irrigation  
2- subsurface drip irrigation

در رابطه بالا:  $D_g$ : عمق ناخالص آب آبیاری (mm),  $ET_o$ : تبخیر-تعرق گیاه مرجع (mm day<sup>-1</sup>),  $K_c$ : ضریب گیاهی,  $e$ : راندمان کاربرد آب آبیاری. و در نهایت حجم آب موردنیاز هر کدام از میکرو لایسیمترها از رابطه (۳) محاسبه گردید:

$$V = D_g \times A \quad (3)$$

#### تبخیر-تعرق واقعی ذرت (ET<sub>c</sub>)

تبخیر-تعرق واقعی گیاه ذرت با استفاده از بیلان آب خاک و از طریق رابطه (۴) محاسبه شد:

$$ET_{c-act} = P + I - D - R - \Delta S \quad (4)$$

در رابطه بالا:  $ET_c$ : تبخیر-تعرق بالقوه گیاه ذرت در فاصله اندازه‌گیری آب خاک در لایسیمتر (mm),  $I$ : مقدار آب آبیاری (mm),  $R$ : ارتفاع بارندگی (mm),  $D$ : مقدار آب زهکشی (mm),  $\Delta S$ : تغییرات رطوبت خاک در لایسیمتر (mm) که از رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$\Delta S = S_t - S_{t-1} \quad (5)$$

که در آن  $S_t$  و  $S_{t-1}$  تغییرات رطوبت خاک در زمان‌های  $t$  و  $t-1$  می‌باشد.

مقدار آب زهکش یا آب اضافی از منطقه ریشه در میکرو لایسیمترهایی که در آن‌ها سیستم قطره‌ای اعمال شده بود به صورت حجم‌سنجی از طریق استوانه مدرج اندازه‌گیری شد.

#### محاسبه تبخیر از سطح خاک (E)

در این پژوهش تبخیر از سطح خاک با استفاده از میکرو لایسیمتر اندازه‌گیری شد. میکرو لایسیمترهای استفاده شده دارای قطر داخلی ۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر بودند. هنگامی که این میکرو لایسیمترها در درون خاک قرار گرفتند، لبه آن‌ها حدود یک سانتی‌متر از سطح خاک بالاتر بود و نیز خاک درون میکرو لایسیمترها نیز حدود ۱ تا ۱/۵ سانتی‌متر زیر لبه قرار گرفت. میکرو لایسیمترها با خاک مشابه داخل میکرو لایسیمترهای حاوی کشت ذرت پر شدند و از تفاضل مقدار آب ورودی و زهکشی شده در بازه آبیاری متناسب با

عملکرد وزن تر ذرت علوفه‌ای، ابتدا مقادیر ماده‌ی خشک شبیه‌سازی شد و سپس این مقادیر بر نسبت وزن خشک به وزن تر در هر تیمار تقسیم شد.

پوشش گیاهی در نیمه‌ی اول رشد (مرحله‌ی جوانه‌زنی تا پوشش کامل) و طی دوره‌ی رسیدن به مقدار حداکثر به صورت تابع نمایی افزایش می‌یابد که با توجه به تحدب و تقعر روند رشد با روابط نمایی (۱۱) و (۱۲) تشریح می‌شود (Raes et al., 2012):

$$CC = CC_0 e^{CGC.t} \quad (11)$$

$$CC = CC_x - 0.25 \frac{CC_x^2}{CC_0} e^{-CGC.t} \quad (12)$$

### واسنجی و صحت‌سنجی مدل

تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش شامل روش‌های آبیاری قطره‌ای و لوله‌های رسی تراوای عمودی با مالچ (PCI-M1)، آبیاری قطره‌ای و لوله‌های رسی تراوای عمودی بدون مالچ (PCI-M2)، آبیاری قطره‌ای سطحی با مالچ (DI-M1)، قطره‌ای سطحی بدون مالچ (DI-M2)، قطره‌ای زیرسطحی با مالچ (SDI-M1) و قطره‌ای زیرسطحی بدون مالچ (SDI-M2) بود. برای واسنجی مدل از بین تیمارهای مختلف آزمایشی سه تیمار آبیاری قطره‌ای و لوله‌های رسی تراوای عمودی بدون مالچ (PCI-M2)، آبیاری قطره‌ای سطحی بدون مالچ (DI-M2) و قطره‌ای زیرسطحی بدون مالچ (SDI-M2) انتخاب شد. واسنجی با تعدیل پارامترهای گیاه و خاک برای به حداقل رساندن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی بیوماس ذرت، تبخیر-تعرق ذرت ( $ET_c$ )، تعرق گیاهی ذرت ( $T_p$ ) و تبخیر از سطح خاک (E) صورت گرفت. برای صحت‌سنجی مدل از بین تیمارهای باقی‌مانده سه تیمار روش‌های آبیاری قطره‌ای و لوله‌های رسی تراوای عمودی با مالچ (PCI-M1)، قطره‌ای با مالچ (DI-M2) و قطره‌ای زیرسطحی با مالچ (SDI-M2) در همان سال پژوهش انتخاب شد (جدول ۲). سپس بدون تغییر در فایل‌های گیاهی واسنجی شده نهایی، مدل اجرا و مقادیر بیوماس ذرت،  $ET_c$ ،  $T_p$  و E حاصل از مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده مورد مقایسه قرار گرفت.

### شاخص‌های ارزیابی مدل AquaCrop

به منظور ارزیابی مدل AquaCrop، از شاخص‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات نرمال شده (NRMSE)، میانگین خطای اریب (MBE)، شاخص توافق (d) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) استفاده شد. این شاخص‌ها به ترتیب در روابط (۱۳) تا (۱۷) نشان داده شده‌اند.

آبیاری لایسیمترهای ذرت ارتفاع تبخیر در آن بازه زمانی بدست آمد.

### تعرق گیاهی ذرت ( $T_r$ )

مقدار تعرق گیاهی ذرت از تفاضل مقدار تبخیر-تعرق واقعی و مقدار تبخیر از سطح خاک محاسبه گردید (Moran et al., 2009):

$$T_r = ET_{c-act} - E \quad (6)$$

### پوشش گیاهی

برای محاسبه پوشش گیاهی با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده LAI که طی هفت مرحله در طول فصل رشد اندازه‌گیری شد، از معادله زیر استفاده گردید (Heng et al., 2009; Hsiao et al., 2009):

$$CC = 1.005 [1 - \exp(-0.6 LAI)]^{1.2} \quad (7)$$

در رابطه بالا CC: پوشش گیاهی و LAI: شاخص سطح برگ

### توصیف مدل AquaCrop

روند کلی کار با مدل‌ها بدین صورت است که خروجی‌های بدست آمده با مقادیر اندازه‌گیری شده کمترین اختلاف ممکن را داشته باشد. این مدل با تفکیک تبخیر-تعرق به تعرق از سطح گیاه ( $T_r$ ) و تبخیر از سطح خاک (E) و همچنین توسعه‌ی یک مدل ساده رشد و پیری کانوبی گیاه به عنوان پایه‌ی برآورد تعرق از سطح گیاه و تأثیر دیگر پارامترهای مدیریتی به عملکرد بیولوژیک گیاه میرسد. با تفکیک تبخیر - تعرق می‌توان از مصرف غیر تولیدی آب از طریق تبخیر از سطح خاک به ویژه در شرایط پوشش گیاهی ناکامل جلوگیری کرد. در مدل AquaCrop تبخیر صورت گرفته از سطح خاک از رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

$$E = (1 - CC^*) Ke_x ET_0 \quad (8)$$

در رابطه بالا Estage: تبخیر در مراحل مختلف رشد گیاه (mm)، پوشش گیاهی (درصد)،  $Ke_x$ : ضریب تبخیر از سطح خاک (بدون بعد)،  $ET_0$ : تبخیر-تعرق مرجع (mm). تعرق گیاهی نیز از رابطه (۶) محاسبه می‌شود. با استفاده از تعرق و میزان بهره‌وری آب که باید با توجه به هر گیاه و منطقه واسنجی شود می‌توان میزان عملکرد بیولوژیک گیاه را با استفاده از رابطه (۷) تخمین زد (Steduto et al., 2007; Steduto et al., 2009):

$$T_r = (CC \times K_c) ET_0 \quad (9)$$

$$B = WP \times \sum T_r \quad (10)$$

در روابط بالا  $T_r$ : مقدار تعرق روزانه (mm) است که در رابطه (۷) باید کل تعرق در طول فصل زراعی در نظر گرفته شود،  $ET_0$ : تبخیر-تعرق مرجع (mm)، CC: سطح سایه‌انداز (اعشار)، KC: ضریب تعرق (بدون بعد)، WP: میزان بهره‌وری آب است. مدل AquaCrop وزن خشک کل گیاه (زیست‌توده) را شبیه‌سازی می‌کند. برای شبیه‌سازی

جدول ۲- ورودی‌های گیاهی در واسنجی و ارزیابی کردن مدل

توضیح	واحد	مقدار	پارامتر
پیش فرض	سانتی‌متر	۳۳۰	ماکزیم عمق مؤثر ریشه
واسنجی	درصد	۵۴	پوشش سطح اولیه (CC <sub>0</sub> )
پیش فرض	درصد	۹۶	حداکثر پوشش گیاه (CC <sub>x</sub> )
واسنجی	درصد بر روز	۱۶/۴	نرخ رشد پوشش گیاهی (CGC)
واسنجی	درصد بر روز	۱۱/۷	نرخ کاهش پوشش گیاه (CDC)
پیش فرض	دسی‌زیمنس بر متر	۲	حد پایین آستانه شوری
پیش فرض	دسی‌زیمنس بر متر	۱۰	حد بالای آستانه شوری
واسنجی	روز	۶	مدت زمان کاشت تا جوانه‌زنی
واسنجی	روز	۵۳	مدت زمان کاشت تا بیشینه رشد کانوبی
واسنجی	روز	۷۵	مدت زمان کاشت تا برداشت محصول
واسنجی	روز	۱۰۷	مدت زمان کاشت تا شروع پیری کانوبی
واسنجی	روز	۱۳۲	مدت زمان کاشت تا بلوغ
واسنجی	روز	۱۳	طول دوره گلدهی

منفی بیانگر این است که این مدل در برآورد عامل مورد نظر عدد کوچکتری به دست داده‌اند. مقادیر آماره‌های  $d$  نشان‌دهنده صحت برازش داده‌ها می‌باشد و از مقدار منفی بی‌نهایت در بدترین حالت تا یک در زمان برازش کامل داده‌ها متغیر است. مقدار  $R^2$  نیز از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (13)$$

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\frac{n}{O_i}}} \quad (14)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (15)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i| + |O_i|)^2} \quad (16)$$

$$R^2 = \frac{(\sum (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}))^2}{\sum (P_i - \bar{P})^2 \sum (O_i - \bar{O})^2} \quad (17)$$

## نتایج و بحث

### بیوماس ذرت

نتایج حاصل از واسنجی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی بیوماس ذرت در جدول (۳) ارائه شده است. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود ضریب تبیین  $R^2$  در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب برابر با ۰/۹۶ و ۰/۹۹ به دست آمد. بنابراین می‌توان اظهار داشت که همبستگی نسبتاً خوبی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی بیوماس ذرت برقرار هست. شاخص RMSE در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی بیوماس ذرت به ترتیب برابر ۲/۷۳ و ۱/۸۹ تن در هکتار بدست آمد. با توجه به دامنه تغییرات آماره NRMSE در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی مدل (۱۰/۷٪ و ۷/۷۴٪) دقت این مدل در شبیه‌سازی بیوماس ذرت قابل قبول بود و به ترتیب در محدوده خوب و عالی قرار داشت که نشان از کارایی مناسب مدل می‌باشد. بیوماس ذرت پیش‌بینی شده توسط مدل AquaCrop کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده بود و مقدار MBE برای هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی کمتر از یک بدست آمد (۲/۵۲- و ۱/۵۷-)، که گویای وضعیت مدل در پیش‌بینی همراه با مقداری کم‌برآورد است.

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 ۱۰٪ برای آماره NRMSE نشان‌دهنده دقت عالی مدل است. هم‌چنین مقادیر این شاخص در بازه‌های ۱۰٪-، ۲۰٪-، ۳۰٪- و بیشتر از ۳۰٪ به ترتیب نشان‌دهنده دقت عالی، خوب، متوسط و ضعیف است (Jamieson, 1991). مقدار مثبت شاخص MBE نشان‌دهنده این است که مدل رشد گیاهی AquaCrop مقدار عامل مورد نظر را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است و مقادیر

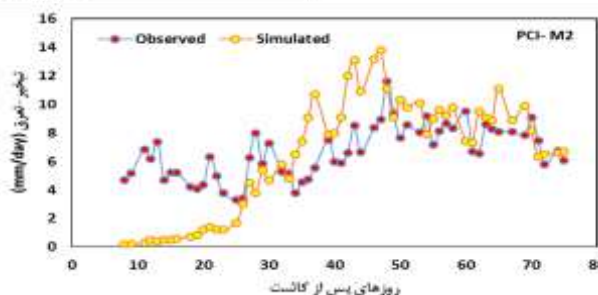
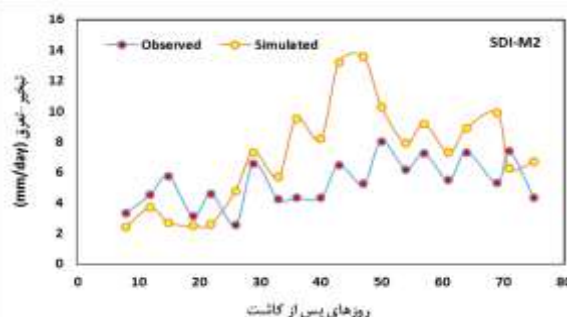
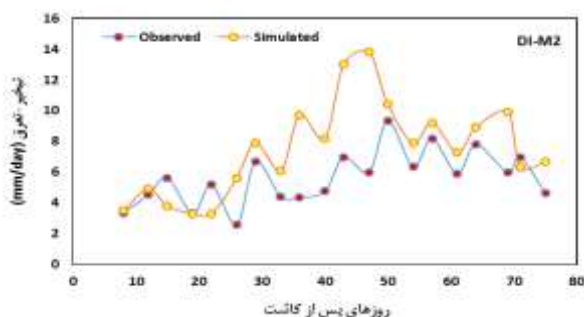
جدول ۳- مقایسه آماری بیوماس مشاهده‌ای و شبیه‌سازی ذرت با مدل AquaCrop در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی

تیمار	RMSE (mm/day)	NRMSE (%)	R <sup>2</sup> (-)	MBE (mm/day)	d (mm/day)
واسنجی	۱/۸۹	۷/۷۴	۰/۹۹	-۱/۵۷	۰/۹۹
صحت‌سنجی	۲/۷۳	۱۰/۷	۰/۹۶	-۲/۵۲	۰/۹۹

در AquaCrop برای تیمارهای DI-M2, PCI-M2 و SDI-M2 در مرحله واسنجی در شکل (۱) نشان داده شده است.

### تبخیر-تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای

تبخیر-تعرق واقعی ذرت (مشاهده‌ای) با استفاده از روش بیلان حجمی آب خاک و تبخیر-تعرق شبیه‌سازی شده توسط مدل



شکل ۱- تبخیر-تعرق مشاهده‌ای و شبیه‌سازی ذرت در طول فصل رشد در مرحله واسنجی مدل

است. با توجه به مقادیر مشاهده‌ای، حداکثر تبخیر-تعرق برای هر کدام از این تیمارها به ترتیب برابر ۱۳/۸، ۱۳/۶ و ۱۳/۸ میلی‌متر در روز و به ترتیب در ۵۰، ۴۸ و ۵۰ بدست آمد. مقایسه این مقادیر نشان می‌دهد که دقت مدل در برآورد حداکثر تبخیر-تعرق در تیمارهای مختلف متفاوت است. جدول (۴) مقادیر مشخصه‌های آماری در ارزیابی مدل AquaCrop را برای مرحله واسنجی نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین مقدار RMSE به ترتیب در تیمارهای SDI-M2 و DI-M2 (برابر ۳/۳۵ و ۳/۰۴ میلی‌متر در روز) نشان می‌دهد که مدل AquaCrop از کارایی نسبتاً خوبی در شبیه‌سازی تبخیر-تعرق برخوردار نیست (جدول ۴). کمترین مقدار NRMSE در تیمار nRMSE و برابر ۴۷ درصد بدست آمد. مثبت بودن شاخص MBE نشانگر بیش‌برآورد مدل در شبیه‌سازی تبخیر-تعرق ذرت است. علت بیش‌برآورد مدل در شبیه‌سازی تبخیر-تعرق مربوط به ضعف در معادلات بیلان آب خاک در مدل و برآورد ضرایب گیاهی در مدل دانست (قربانیان و همکاران، ۱۳۹۳). ضریب تبیین R<sup>2</sup> محاسبه شده

نتایج واسنجی تبخیر - تعرق ذرت در تیمارهای مختلف سامانه آبیاری و بدون مالچ (پوشش سطح خاک) نشان داد که مدل میزان تبخیر-تعرق ذرت را برای همه تیمارها در مرحله اولیه فصل رشد (۲۵ روز پس از کاشت) کمتر از مقدار مشاهده‌ای پیش‌بینی نموده است. با رشد گیاه مشاهده می‌شود که تبخیر-تعرق پیش‌بینی شده مدل تا انتهای مرحله میانی رشد بیشتر از مقدار مشاهده‌ای، برآورد شده است. اختلاف بین مقادیر تبخیر-تعرق مشاهده‌ای و شبیه‌سازی برای هر کدام از تیمارهای DI-M2، SDI-M2 و PCI-M1 در مرحله توسعه فصل رشد نسبت به اوایل و اواسط فصل رشد زیاد بود اما این اختلاف در مرحله میانی از فصل رشد در تیمار PCI-M2 نسبت به دو تیمار دیگر دارای مقدار کمتری بود و در این مرحله میزان تبخیر-تعرق مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده به هم نزدیک شد. مدل AquaCrop حداکثر مقدار تبخیر-تعرق ذرت را برای هر کدام از تیمارهای DI-M2، SDI-M2 و PCI-M2 به ترتیب برابر ۹/۳۲، ۸/۰۳ و ۱۱/۱ میلی‌متر در روز و به ترتیب در ۴۷ روز پس از کاشت برآورد نموده

تعرق نشان می‌دهد که مدل کارایی خوبی را در پیش‌بینی تبخیر-تعرق از خود نشان نمی‌دهد.

برای همه تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که همبستگی خوبی بین مقادیر اندازه‌گیری با شبیه‌سازی شده وجود ندارد. نتایج حاصل از واسنجی و ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی مقادیر تبخیر-

جدول ۴- مقادیر شاخص‌های آماری برای تبخیر-تعرق در مرحله واسنجی

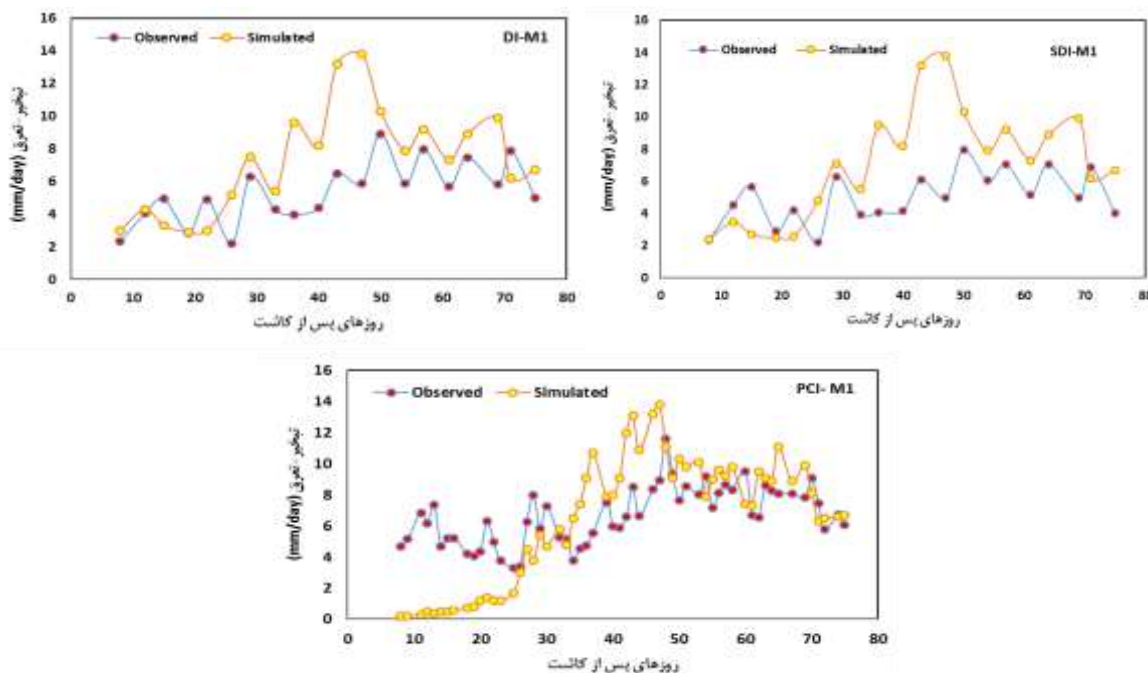
تیمار	RMSE (mm/day)	NRMSE (%)	R <sup>2</sup> (-)	MBE (mm/day)	d (mm/day)
PCI-M2	۳/۱۹	۴۷	۰/۴۰	-۰/۲۲	۰/۶۲
DI-M2	۳/۰۴	۵۴	۰/۳۱	۱/۸۳	۰/۵۸
SDI-M2	۳/۳۵	۶۳	۰/۲۶	۱/۸۱	۰/۵۲

مشاهده‌ای را نشان می‌دهد (شکل ۲). مقایسه نمودار شکل ۳-های تبخیر-تعرق ذرت در روش‌های مختلف آبیاری و تحت شرایط با و بدون کاربرد مالچ نشان می‌دهد که میزان تبخیر-تعرق ذرت در تیمار DI-M2 بیشتر از سایر تیمارها می‌باشد. که علت آن را می‌توان به این دلیل نسبت داد که در روش آبیاری قطره‌ای سطحی بدون پوشش سطح خاک، سطح خاک خیس شده بیشتری نسبت به سایر تیمارها در معرض هوا قرار دارد و این خود به بالاتر بودن میزان تبخیر-تعرق منجر خواهد شد. اما در روش آبیاری قطره‌ای و لوله‌های رسی تراوای عمودی با در نظر داشتن این مهم که هیچ کسر خاک خیس شده‌ای در معرض هوا وجود ندارد لذا می‌توان گفت که مقدار تبخیر از سطح خاک در مقایسه با دو تیمار دیگر ناچیز است و کل میزان آب مصرفی گیاه صرف تعرق گیاهی خواهد شد و تلفات تبخیر در این روش آبیاری قابل چشم‌پوشی است.

### صحت‌سنجی مدل

#### تبخیر-تعرق ذرت علوفه‌ای

در شکل (۲) مقادیر تبخیر-تعرق مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدل در مرحله صحت‌سنجی برای تیمارهای SDI-M1، DI-M1 و PCI-M1 ارائه شده است. نمودارهای شکل (۲) همانند شکل (۱) نشان می‌دهد که تبخیر-تعرق شبیه‌سازی شده در اولین روزهای رشد کمتر از تبخیر-تعرق مشاهده‌ای است ولی بعد از آن میزان تبخیر-تعرق شبیه‌سازی شده بیشتر از تبخیر-تعرق مشاهده‌ای است و این اختلاف برای تیمارهای DI-M1 و SDI-M1 در مرحله توسعه از فصل رشد بیشتر از مراحل اولیه و میانی است. اما در تیمار PCI-M1 این اختلاف در مرحله اولیه از فصل رشد بیشتر نمایان بود. مقایسه اثر مالچ بر تبخیر-تعرق ذرت مشاهده‌ای در روش‌های مختلف آبیاری نشان می‌دهد که کاربرد مالچ (پوشش سطح خاک) موجب کاهش تبخیر-تعرق ذرت می‌شود. مدل AquaCrop نیز روندی مشابه مقادیر



شکل ۲- تبخیر-تعرق مشاهده‌ای و شبیه‌سازی ذرت در طول فصل رشد در مرحله صحت‌سنجی مدل



اکثر موارد مدل همانند مرحله واسنجی در پیش بینی تبخیر-تعرق تمایل به بیش‌برآورد دارد که بیشترین مقدار بی‌برآورد برآورد در تیمار SDI-M1 و برابر ۲/۰۸ میلی‌متر در روز شد. شاخص ضریب تبیین بین ۰/۵۰ تا ۰/۶۲ متغیر بود که همبستگی نسبتاً خوبی را بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی نشان نمی‌دهد (جدول ۵).

بیشترین مقدار RMSE در تیمار SDI-M1 و برابر ۳/۵۳ میلی‌متر در روز حاصل گردید. مقدار شاخص nRMSE در تیمارهای مختلف بین ۴۷ تا ۷۰ درصد مشاهده شد که نشان‌دهنده کارایی ضعیف مدل در شبیه‌سازی تبخیر-تعرق است (Jamieson et al., 1991). مثبت بودن شاخص MBE بین تبخیر-تعرق مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در تیمار SDI-M1 و DI-M1 نشان می‌دهد که در

جدول ۵- مقادیر شاخص‌های آماری برای تبخیر-تعرق در مرحله صحت‌سنجی

تیمار	RMSE (mm/day)	NRMSE (%)	R <sup>2</sup> (-)	MBE (mm/day)	d (mm/day)
PCI-M1	۳/۱۹	۴۷	۰/۴۰	-۰/۲۲	۰/۶۲
DI-M1	۳/۲۱	۵۹	۰/۳۲	۱/۹۲	۰/۵۸
SDI-M1	۳/۵۳	۷۰	۰/۲۶	۲/۰۸	۰/۵۰

ولی بعد از آن میزان تبخیر از سطح خاک شبیه‌سازی شده کمتر از مقدار مشاهده‌ای بود و مدل در این مرحله مقدار تعرق گیاهی را بیشتر از مقدار تعرق مشاهده‌ای برآورد نمود. مدل AquaCrop حداکثر تبخیر از سطح خاک را در طول فصل رشد ذرت برای تیمارهای DI-M1 و SDI-M1 به ترتیب برابر ۳/۸ و ۳/۱ میلی‌متر در روز و ۱۲ روز پس از کاشت ذرت برآورد نموده است. با توجه به مقادیر مشاهده‌ای حداکثر تبخیر از سطح خاک را برای تیمارهای DI-M1 و SDI-M1 به ترتیب برابر ۱/۳۴ و ۱ میلی‌متر در روز و به ترتیب در ۸ روز پس از کاشت بدست آمده است.

همانطور که در شکل (۳) قابل مشاهده است مقدار تبخیر از سطح خاک در هر دو مقدار شبیه‌سازی و مشاهده‌ای در تیمار PCI-M1 برابر با صفر می‌باشد. در این روش آبیاری با توجه به اینکه سطح خاک خیس شده‌ای در مواجهه با سطح هوای آزاد وجود ندارد، لذا هیچ تبخیری از سطح خاک صورت نمی‌گیرد و میزان آب موجود در سفال‌های آبیاری که در عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک کار گذاشته شده‌اند، صرف تعرق گیاهی می‌شود که در شکل (۴) مشهود است. بیشترین مقدار RMSE در تیمار DI-M1 (۱/۱۶ میلی‌متر در روز) مشاهده شد. همان‌طوری که نتایج ارزیابی شاخص‌های آماری در مرحله صحت‌سنجی تبخیر از سطح خاک نشان می‌دهد هیچ‌گونه همبستگی خوبی در برآورد تبخیر از سطح خاک بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده وجود ندارد. و مقدار nRMSE بالا در این تیمارها (۲/۹۶ و ۳/۲۳) نشان‌دهنده عدم کارایی مناسب مدل در برآورد تبخیر از سطح خاک می‌باشد (جدول ۶). مثبت بودن شاخص MBE در هر دو تیمار DI-M1 و SDI-M1 نشانگر بیش‌برآورد مدل در شبیه‌سازی تبخیر از سطح خاک است که این بیش‌برآوردی برای هر دو تیمار DI-M1 و SDI-M1 در مرحله اولیه تا دهه اول مرحله توسعه فصل رشد قابل مشاهده می‌باشد. ضریب تبیین R<sup>2</sup> و شاخص

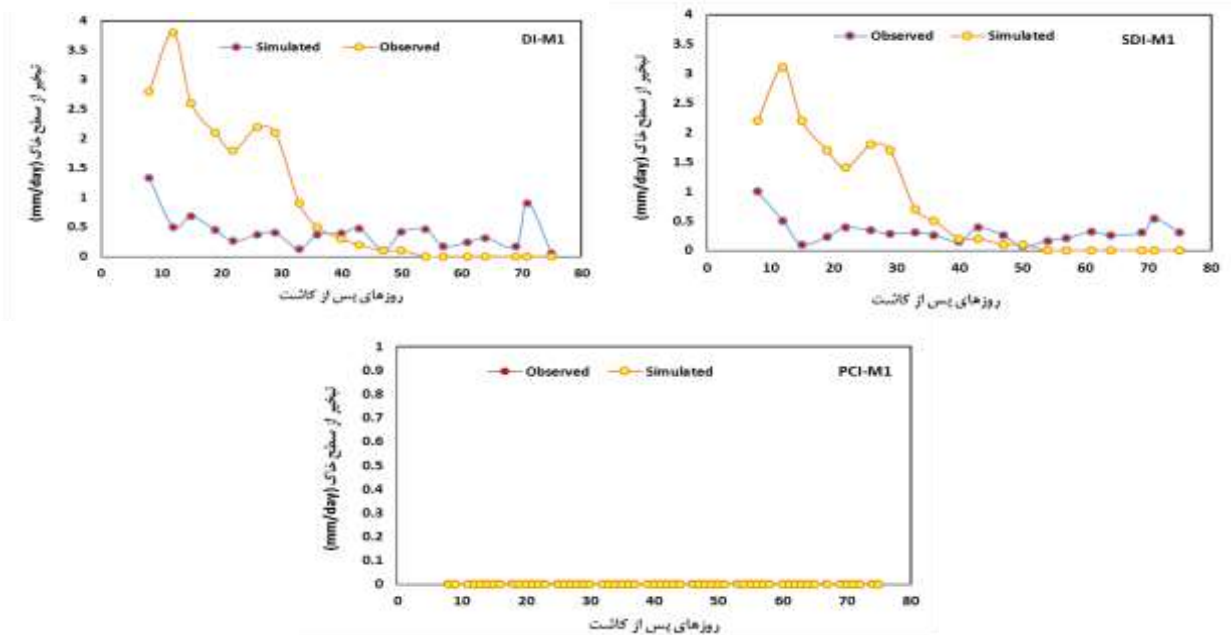
ابی صعب و همکاران ریشه میانگین مربعات خطای مدل AquaCrop در شبیه‌سازی تبخیر-تعرق گیاه سویا و آفتاب‌گردان در لبنان را به ترتیب برابر ۱۳/۶۴ و ۲۶/۹۶ میلی‌متر گزارش نمودند (Abi Saab et al., 2014). همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که مدل AquaCrop در پیش‌بینی تبخیر-تعرق کم‌برآورد دارد و عدم کارایی مناسب مدل در شبیه‌سازی تبخیر-تعرق گیاه سویا و آفتاب‌گردان را گزارش کردند. همچنین انجم اقبال و همکاران نشان دادند که مدل AquaCrop در پیش‌بینی تبخیر-تعرق گندم زمستانه در جنوب چین کم‌برآورد دارد و مقدار RMSE و nRMSE مدل برای مجموع تبخیر-تعرق گندم به ترتیب برابر ۲/۳۳ میلی‌متر و ۹ درصد گزارش گردید (Anjum Iqbal et al., 2014). در مطالعه مبان و همکاران، بیش‌برآوردی ET توسط مدل AquaCrop به اشتباهات در تخمین پارامترهای هیدرولیکی خاک از جمله FC و WP نسبت داده شد (Mebane et al., 2013). نتایج مدل در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی برای شبیه‌سازی تبخیر-تعرق ذرت نشان می‌دهد که مدل از کارایی متوسطی در این زمینه برخوردار است. مقایسه شاخص‌های آماری جدول (۵) برای تیمارهای مختلف روش آبیاری نشان می‌دهد که کارایی مدل در شبیه‌سازی تبخیر-تعرق ذرت در تیمار PCI-M1 بهتر از سایر تیمارها بود، به طوری که کمترین مقدار nRMSE و بیشترین مقدار R<sup>2</sup> را به خود اختصاص داد.

### تبخیر از سطح خاک در طول دوره رشد

در شکل (۳) مقادیر تبخیر از سطح خاک مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدل در مرحله صحت‌سنجی ارائه شده است. در اکثر روزهای پس از کاشت گیاه، در تیمارهای DI-M1 و SDI-M1 مقدار تبخیر از سطح خاک شبیه‌سازی شده در مراحل اولیه و اواسط مرحله توسعه از فصل رشد بیش‌تر از تبخیر از سطح خاک مشاهده‌ای بود

شبیه‌سازی شده وجود ندارد و کارایی مدل در شبیه‌سازی تبخیر از سطح خاک چندان قابل قبول نیست و مقادیر تبخیر از سطح خاک را نزدیک به مقادیر مشاهده‌ای برآورد نمی‌کند.

توافق (d) محاسبه شده برای هر دو تیمار DI-M1 و SDI-M1 (به ترتیب ۰/۱۹ و ۰/۴۷ و  $R^2$  برای ۱/۴ و ۰/۵۴ و میلی‌متر در روز برای d) نشان می‌دهد که همبستگی خوبی بین مقادیر مشاهده‌ای با



شکل ۳- تبخیر از سطح خاک مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در طول فصل رشد ذرت در مرحله صحت‌سنجی مدل

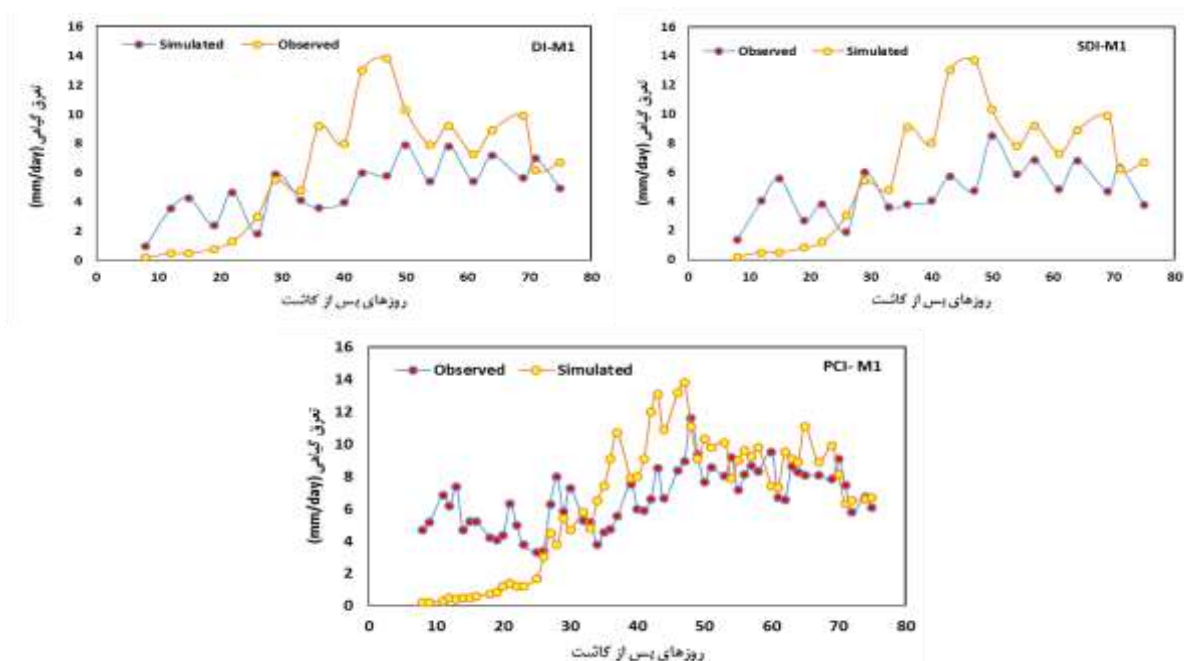
جدول ۶- مقادیر شاخص‌های آماری برای تبخیر از سطح خاک در مرحله صحت‌سنجی

تیمار	RMSE (mm/day)	NRMSE (%)	$R^2$ (-)	MBE (mm/day)	d (mm/day)
PCI-M1	۰	۰	۰	۰	۰
DI-M1	۱/۱۶	۲/۹۶	۰/۱۹	۰/۳۰	۰/۵۴
SDI-M1	۱/۰۲۲	۳/۲۳	۰/۱۴	۰/۲۹	۰/۴۷

تعرق گیاهی در هر دو مقدار شبیه‌سازی و مشاهده‌ای در تیمار PCI-M1 ماکزیمم مقدار را دارا است. در این روش آبیاری با توجه به اینکه سطح خاک خیس شده‌ای در مواجهه با سطح هوای آزاد وجود ندارد، لذا هیچ تبخیری از سطح خاک صورت نمی‌گیرد و میزان آب موجود در سفال‌های آبیاری صرف تعرق گیاهی می‌شود که در شکل (۴) این واقعیت قابل مشاهده است. بیشترین مقدار RMSE در تیمار SDI-M1 (۳/۸۱ میلی‌متر در روز) مشاهده شد. همان‌طوری که نتایج ارزیابی شاخص‌های آماری در مرحله صحت‌سنجی تعرق گیاهی ذرت نشان می‌دهد همبستگی متوسطی در برآورد تعرق گیاهی بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده وجود دارد. و مقدار nRMSE بالا در تیمارهای DI-M1 و SDI-M1 و PCI-M1 (به ترتیب برابر با ۶۹، ۸۱ و ۴۷ درصد) نشان‌دهنده عدم کارایی مناسب مدل در برآورد تعرق گیاهی ذرت علوفه‌ای می‌باشد (جدول ۷).

### تعرق گیاهی ذرت در طول دوره رشد

در دراکتر روزهای پس از کاشت گیاه، در تیمارهای DI-M1 و SDI-M1 مقدار تعرق گیاهی شبیه‌سازی شده در مراحل اولیه از فصل رشد کم‌تر از تعرق گیاهی مشاهده‌ای بود ولی بعد از آن میزان تعرق گیاهی شبیه‌سازی شده بیش‌تر از مقدار مشاهده‌ای بود (شکل ۴). همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده شد در این مرحله میزان تبخیر از سطح خاک را بیشتر از تعرق گیاهی برآورد نمود. مدل AquaCrop حداکثر مقدار تعرق گیاهی را در طول فصل رشد ذرت برای تیمارهای DI-M1 و SDI-M1 و PCI-M1 به ترتیب برابر ۱۳/۶ و ۱۳/۸ و ۱۳/۸ میلی‌متر در روز و ۴۷ روز پس از کاشت ذرت برآورد نمود. با توجه به مقادیر مشاهده‌ای حداکثر تعرق گیاهی برای تیمارهای DI-M1 و SDI-M1 و PCI-M1 به ترتیب برابر ۷/۸۹ و ۸/۵۰ و ۱۱/۹ میلی‌متر در روز و ۵۰ روز پس از کاشت ذرت بدست آمد.



شکل ۴- تعرق گیاهی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در طول فصل رشد ذرت در مرحله صحت‌سنجی مدل

جدول ۷- مقادیر شاخص‌های آماری برای تعرق گیاهی در مرحله صحت‌سنجی

تیمار	RMSE (mm/day)	NRMSE (%)	R <sup>2</sup> (-)	MBE (mm/day)	d (mm/day)
PCI-M1	۳/۱۹	۴۷	۰/۴۰	-۰/۲۲	۰/۶۲
DI-M1	۳/۴۶	۶۹	۰/۴۳	۱/۳۷	۰/۶۴
SDI-M1	۳/۸۱	۸۱	۰/۳۰	۱/۶۱	۰/۵۴

صحت‌سنجی در شکل (۵) ارائه شده است. در همه‌ی تیمارها حدود ۷۰ روز پس کاشت مقدار پوشش گیاهی مشاهده‌ای به بیشترین مقدار می‌رسد. حداکثر پوشش از ۸۹/۷۶ درصد در تیمار DI-M1 به ۹۵/۱۲ درصد در تیمار PCI-M1 افزایش یافت که در حدود ۶ درصد افزایش داشت. به این ترتیب، طبق نتایج مزرعه‌ای، تغییرات پوشش گیاهی نسبت به سامانه‌های مختلف آبیاری میکرو در شرایط مالچ کم است. همانطوری که مشاهده می‌شود مقدار پوشش گیاهی برای هفت مرحله اندازه‌گیری شده در طی فصل رشد در تیمار PCI-M1 بیشتر از تیمارهای SDI-M1 و DI-M1 بود. دلیل این تفاوت را می‌توان به این نسبت داد که در سامانه آبیاری قطره‌ای و لوله‌های رسی تراوای عمودی از آنجایی که سطح خاک خیس شده در مواجهه با سطح هوای آزاد وجود ندارد لذا تغییرات تبخیر از سطح خاک در این روش صفر و ناچیز می‌باشد (شکل ۳)، لذا بیشترین سهم آب مصرفی صرف تعرق گیاهی می‌شود و به تبع آن به افزایش پوشش گیاهی ذرت منجر می‌شود. کمترین میزان پوشش گیاهی به تیمار DI-M1 اختصاص یافت و دلیل آن را می‌توان به سطح خاک خیس شده در سامانه

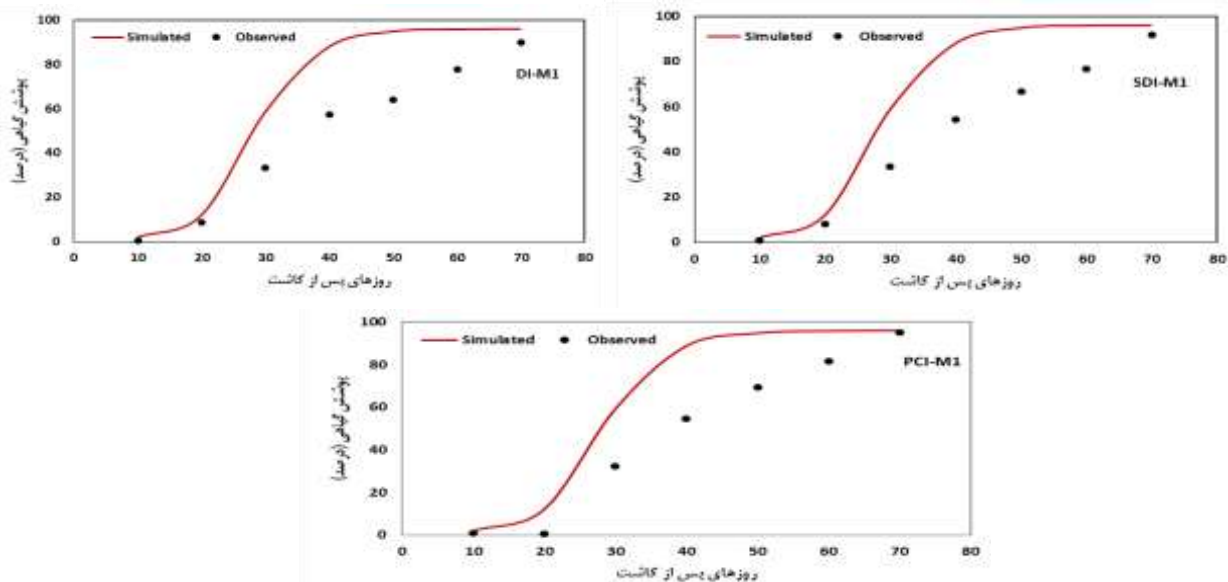
مثبت بودن شاخص MBE در هر دو تیمار DI-M1 و SDI-M1 نشانگر بیش‌برآورد مدل در شبیه‌سازی تعرق گیاهی ذرت در طول مرحله توسعه و میانی فصل رشد ذرت می‌باشد، که این بیش‌برآوردی برای هر دو تیمار DI-M1 و SDI-M1 در مرحله توسعه تا انتهای دوره رشد ذرت به خوبی قابل مشاهده می‌باشد. ضریب تبیین R<sup>2</sup> محاسبه شده برای تیمارهای DI-M1 و SDI-M1 و PCI-M1 (به ترتیب برابر با ۴۳، ۳۰ و ۴۰ درصد) نشان می‌دهد که همبستگی متوسطی بین مقادیر مشاهده‌ای با شبیه‌سازی شده وجود دارد و با توجه به نتایج شاخص آماری d برای هر کدام از تیمارهای DI-M1 و SDI-M1 و PCI-M1 (به ترتیب برابر با ۰/۶۴، ۰/۵۴ و ۰/۶۲ میلی‌متر در روز) توانایی مدل را در شبیه‌سازی اجزای تبخیر-تعرق (تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاهی) متوسط نشان می‌دهد.

#### پوشش گیاهی ذرت در طول دوره رشد

مقایسه‌ی روند رشد پوشش گیاهی شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در تیمارهای DI-M1 و SDI-M1 و PCI-M1 در طی مرحله

مدل در شبیه‌سازی رشد پوشش گیاهی در مرحله صحت‌سنجی برای هر یک از تیمارها در جدول (۸) ارائه شده است. مقدار RMSE درصد پوشش گیاهی برای هر کدام از تیمارهای DI-M1 و SDI-M1 و PCI-M1 به ترتیب ۲۰/۳۹، ۲۰/۶۷ و ۲۰/۲۸ درصد محاسبه شد. شاخص NRMSE پیش‌بینی پوشش گیاهی طی مرحله صحت‌سنجی مدل در همه تیمارها بیشتر از ۳۰ درصد محاسبه شد که نشان‌دهنده عملکرد ضعیف مدل در تیمارهای یادشده است. در این تیمارها حداکثر مقدار پوشش گیاهی شبیه‌سازی شده به کمک مدل AquaCrop بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای پوشش گیاهی است. مثبت بودن مقادیر بالای MBE در همه تیمارهای مطالعه حاکی از بیش‌برآوردی مقادیر شبیه‌سازی پوشش گیاهی نسبت به مقادیر مشاهده‌ای است.

آبیاری قطره‌ای سطحی نسبت داد که در مواجهه با سطح هوای آزاد قرار دارد و به تخییر از سطح خاک منجر می‌شود لذا از سهم کل آب مصرفی، بخش کمتری از آن نسبت به دو تیمار SDI-M1 و PCI-M1 صرف تعرق گیاهی می‌شود و در نتیجه سهم پوشش گیاهی در این سامانه آبیاری نیز نسبت به دو سامانه آبیاری قطره‌ای و لوله‌های رسی تراوای عمودی و قطره‌ای زیرسطحی نیز کمتر خواهد بود. در مرحله اولیه از فصل رشد و در دو مرحله نمونه‌گیری ۱۰ و ۲۰ روز پس از کشت، اختلاف مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده پوشش گیاهی در تیمار PCI-M1 نسبت به دو تیمار SDI-M1 و DI-M1 بیشتر بود. بیشترین میزان اختلاف مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده پوشش گیاهی در همه تیمارهای تحت مطالعه در مرحله میانی فصل رشد مشاهده گردید. شاخص‌ها و پارامترهای آماری ارزیابی



شکل ۵- درصد پوشش گیاهی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در طول فصل رشد ذرت در مرحله صحت‌سنجی مدل

جدول ۸- مقادیر شاخص‌های آماری برای درصد پوشش گیاهی ذرت در مرحله صحت‌سنجی

تیمار	RMSE (%)	NRMSE (%)	R <sup>2</sup> (-)	MBE (%)	d (%)
PCI-M1	۲۰/۲۸	۴۲	۰/۹۰	۱۶/۳۲	۰/۹۲
DI-M1	۲۰/۳۹	۴۳	۰/۹۱	۱۶/۵۶	۰/۹۱
SDI-M1	۲۰/۶۷	۴۳	۰/۹۰	۱۶/۵۵	۰/۹۱

آبیاری کامل بود اما در تیمار ۵۰ و ۳۳ درصد آبیاری کامل مدل آبیاری کامل بود اما در تیمار ۵۰ و ۳۳ درصد آبیاری کامل مدل با AquaCrop در درصد خطای بالاتری بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای، شبیه‌سازی کرد (Greaves and Wang, 2016). نتایج تحقیقات ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۴) نیز حاکی از عملکرد ضعیف مدل AquaCrop در شبیه‌سازی درصد پوشش گیاهی ذرت در تیمارهای اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری (۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد

هنگ و همکاران نیز در تحقیقی که بر روی پیش‌بینی پوشش گیاهی ذرت تحت شرایط تنش آبی بر روی گیاه ذرت انجام دادند بیش‌برآوردی مدل AquaCrop را در پیش‌بینی درصد پوشش گیاهی ذرت گزارش کردند (Heng et al., 2009). گریوز و همکاران در تحقیقات خود نشان دادند که مدل AquaCrop قادر به شبیه‌سازی دقیق درصد پوشش گیاهی ذرت برای تیمار آبیاری کامل و ۶۷٪

توانایی مدل را در شبیه‌سازی اجزای تبخیر-تعرق (تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاهی) متوسط تا ضعیف ارائه می‌دهد.

## منابع

ابراهیمی، م.، رضوردی‌نژاد، و.، مجنونى هریس، ا. ۱۳۹۴. شبیه‌سازی رشد ذرت تحت مدیریت‌های مختلف آب و نیتروژن با مدل AquaCrop. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۶ (۲): ۲۰۷-۲۲۰.

قربانیان کردآبادی، م.، لیاقت، ع.م.، وطن‌خواه، ا.، و نوری، ح. ۱۳۹۳. شبیه‌سازی عملکرد و تبخیر-تعرق ذرت علوفه‌ای با استفاده از مدل AquaCrop. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۴ (۲): ۶۴-۴۷.

Abi Saab, M.T., Albirizio, R., Nangia, V., Karam, F. and Roupahel, Y. 2014. Deelopng scenarios to assess sunflower and aoybean yield under different sowing dates and water regimes in the bekaa valley (Lebanon): simulation with AquaCrop. International Journal of Plant Production. 8(4): 457-482.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO, Rome.

Anjum Iqbal, M., Shen Y., Stricevic R., Pei H., Sun H., Amiri E., Penas A. and Rio S. 2014. Evaluation of the FAO AquaCropmodel for winter wheat on the north china plain under deficit irrigation from field experiment to regional yield simulation. Agricultural Water Management. 135: 61-72

Ayars, J.E., Fulton, A. and Taylor, B. 2015. Subsurface drip irrigation in California-Here to stay?. Agric Water Manage. 157: 39-47.

Díaz-Pérez, J.C. and Eaton, T.E. 2015. Eggplant (Solanum melongena L.) plant growth and fruit yield as affected by drip irrigation rate. Horticultural Science. 50 (11): 1709-1714.

Farahani, H.J., Izzi, G. and Oweis, T.Y. 2009. Parameterization and evaluation of the AquaCrop model for full and deficit irrigated cotton. Agronomy jJournal. 101(3): 469-476.

Filipovic, V., Romić, D., Romić, M., Borosić, J., Filipovic, L., Mallmann, F.J.K., and Robinson, D.A. 2016. Plastic mulch and nitrogen fertigation in growing vegetables modify soil temperature, water and nitrate dynamics: experimental results and a modeling study. Agricultural Water Management. 176: 100-110.

García García, J., Martínez-Cutillas, A. and Romero, P. 2012. Financial analysis of wine grape production using regulated deficit irrigation and partial-root zone drying strategies. Irrigation Science. 30: 179-188.

تخلیه‌ی رطوبت خاک) و صفر کیلوگرم نیتروژن بر هکتار بود. با توجه به نتایج این تحقیق نیز مشاهده می‌شود که مدل قادر به شبیه‌سازی دقیق درصد پوشش گیاهی ذرت تحت سامانه‌های مختلف آبیاری در شرایط مالچ نمی‌باشد.

## نتیجه‌گیری

نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی بیوماس ذرت علوفه‌ای گویای وضعیت مدل در پیش‌بینی، همراه با مقداری کم‌برآورد است. مدل میزان تبخیر-تعرق ذرت را برای همه تیمارها در مرحله اولیه فصل رشد (۲۵ روز پس از کاشت) کمتر از مقدار مشاهده‌ای پیش‌بینی نموده است. با رشد گیاه مشاهده می‌شود که تبخیر-تعرق پیش‌بینی شده مدل تا انتهای مرحله میانی رشد بیشتر از مقدار مشاهده‌ای، برآورد شده است. اختلاف بین مقادیر تبخیر-تعرق مشاهده‌ای و شبیه‌سازی تبخیر-تعرق برای هر کدام از تیمارهای DI-M2، SDI-M2 و PCI-M1 در مرحله توسعه فصل رشد نسبت به اوایل و اواسط فصل رشد زیاد بود، اما این اختلاف در مرحله میانی از فصل رشد در تیمار PCI-M2 نسبت به دو تیمار دیگر دارای مقدار کمتری بود و در این مرحله میزان تبخیر-تعرق مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده به هم نزدیک شد. نتایج ارزیابی شاخص‌های آماری در مرحله صحت‌سنجی تبخیر از سطح خاک نشان می‌دهد که هیچ‌گونه همبستگی خوبی در برآورد تبخیر از سطح خاک بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده وجود ندارد و مقدار nRMSE بالا در این تیمارها نشان‌دهنده عدم کارایی مناسب مدل در برآورد تبخیر از سطح خاک می‌باشد. مثبت بودن شاخص MBE در هر دو تیمار DI-M1 و SDI-M1 نشانگر بیش‌برآورد مدل در شبیه‌سازی تبخیر از سطح خاک است که این بیش‌برآوردی برای هر دو تیمار DI-M1 و SDI-M1 در مرحله اولیه تا دهه اول مرحله توسعه فصل رشد قابل مشاهده می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که همبستگی خوبی بین مقادیر مشاهده‌ای با شبیه‌سازی شده وجود ندارد و کارایی مدل در شبیه‌سازی تبخیر از سطح خاک چندان قابل قبول نیست و مقادیر تبخیر از سطح خاک را نزدیک به مقادیر مشاهده‌ای برآورد نمی‌کند. بر اساس نتایج، همبستگی متوسطی در برآورد تعرق گیاهی بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده وجود داشت. حداکثر مقدار پوشش گیاهی شبیه‌سازی شده به کمک مدل AquaCrop بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای پوشش گیاهی است. مثبت بودن مقادیر بالای MBE در همه تیمارهای مطالعه حاکی از بیش‌برآوردی مقادیر شبیه‌سازی پوشش گیاهی نسبت به مقادیر مشاهده‌ای است. ارزیابی‌های آماری بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی تبخیر-تعرق و اجزای تبخیر-تعرق برای همه تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش نشان می‌دهد که مدل قابلیت خوب و بالایی را از خود نشان نداد و

- of Horticultural Science and Biotechnology. 5(2): 140-143.
- Reddy, M., Ayyanagowdar, M.S., Patil, M.G., Polisgowdar, B.S., Nemichandrappa, M. and Patil, JR., 2018. Performance of Water Melon under Mulching, Subsurface and Surface Drip Irrigation Systems in Semi-Arid Region. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*. 6(1): 488-496.
- Smith, M. 1992. CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management. In: *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 46*. FAO, Rome, Italy.
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D. and 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.
- Stöckle, C.O., Donatelli, M. and Nelson, R. 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *Eur. J. Agron.* 18(3–4): 289–307.
- Tiwari, K.N., Kumar, M., Santosh, D.T., Singh, V.K., Maji, M.K. and Karan, A.K. 2014. Influence of drip irrigation and plastic mulch on yield of sapota (*achraszapota*) and soil nutrients. *Irrigation & Drainage Systems Engineering*. 3: 116.
- Van Diepen, C.A., Wolf, J., van Keulen, H. and Rappoldt, C. 1989. WOFOST: a simulation model of crop production. *Soil Use and Management*. 5(1): 16–24.
- Van Halsema, G.E. and Vincent, L. 2012. Efficiency and productivity terms for water management: a matter of contextual relativism versus general absolutism. *Agric. Water Manage.* 108: 9–15.
- Voloudakis, D., Karamanos, A., Economou, G., Kalivas, D., Vahamidis, P., Kotoulas, V., Kapsomenakis, J. and Zerefos, C. 2015. Prediction of climate change impacts on cotton yields in Greece under eight climatic models using the AquaCrop crop simulation model and discriminant function analysis. *Agricultural Water Management*. 147: 116-128.
- Wang, L., Caylor, K.K., Villegas, J.C., Barron-Gafford, G.A., Breshears, D.D. and Huxman, T.E. 2010. Partitioning evapotranspiration across gradients of woody plant cover: assessment of a stable isotope technique. *Geophys. Res. Lett.* 37: L09401.
- Wang, X., Wang, Q., Fan, J. and Fu, Q. 2013. Evaluation of the AquaCrop model for simulating the impact of water deficits and different irrigation regimes on the biomass and yield of winter wheat grown on China's Loess Plateau. *Agricultural Water Management*. 129: 95–104.
- Wilcox, B.P., Breshears, D.D. and Seyfried, M.S. 2003. Water balance on rangelands. In: Stewart, B.A., Howell, T.A. (Eds.), *Encyclopedia of Water*
- Greaves, G.E. and Wang, Y.M., 2016. Assessment of FAO AquaCrop model for simulating maize growth and productivity under deficit irrigation in a tropical environment. *Water*. 8(12): 557.
- Heng, L.K., Hsiao, T., Evett, S., Howell, T. and Steduto, P. 2009. Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. *Agronomy Journal*. 101(3): 488–498.
- Hsiao, T.C., Heng, L., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D. and Fereres, E. 2009. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. *Agronomy Journal*. 101(3): 448–459.
- Jamieson, P.D., Porter, J.R. and Wilson, D.R. 1991. A test of computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crops Research*. 27: 337-350
- Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J. and Ritchie, J.T. 2003. The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*. 18(3): 235–265.
- Masasi, B., Taghvaeian, S., Gowda, P.H., Warren, J. and Marek, G., 2019. Simulating soil water content, evapotranspiration, and yield of variably irrigated grain sorghum using AquaCrop. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*. 55(4): 976-993.
- Mebane, V.J., Day, R.L., Hamlett, J.M., Watson, J.E. and Roth G.W. 2013. Validating the FAO AquaCrop Model for Rainfed Maize in Pennsylvania. *Agronomy Journal*. 105 (2): 419–27.
- Moran, M.S., Scott, R.L., Keefer, T.O., Emmerich, W.E., Hernandez, M., Nearing, G.S., Paige, G.B., Cosh, M.H. and O'Neill, P.E. 2009. Partitioning evapotranspiration in semiarid grassland and shrubland ecosystems using time series of soil surface temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149: 59-72.
- Newman, B.D., Wilcox, B.P., Archer, S.R., Breshears, D.D., Dahm, C.N., Duffy, C.J., McDowell, N.G., Phillips, F.M., Scanlon, B.R. and Vivoni, E.R. 2006. Ecohydrology of water-limited environments. A scientific vision. *Water Resources Research*. 42: 1–15.
- Paul, J.C., Mishra, J.N., Pradhan, P.L. and Panigrahi, B. 2013. Effect of drip and surface irrigation on yield, water-use-efficiency and economics of capsicum (*Capsicum annum* L.) Grown under mulch and no mulch conditions in eastern coastal India. *Indian Journal of Sustainable Development*. 2(1): 99-108.
- Panigrahi, H.K., Agrawal, N., Agrawal, R., Dubey, S. and Tiwari, S.P. 2016. Effect of drip irrigation and polythene mulch on the fruit yield and quality parameters of mango (*Mangifera indica* L.). *Journal*

drip irrigation based on eddy covariance observation in an arid area of northwestern China. *Agricultural Water Management*. 171: 21–30.

Science. Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 791–794.

Yang, P., Hu, H., Tian, F., Zhang, Z. and Dai, C. 2016. Crop coefficient for cotton under plastic mulch and

## Performance Assessment of AquaCrop Model for Estimating Maize (*Zea mays* L.) Evapotranspiration and its Components in Micro Irrigation Systems under Mulch Conditions

H. Dehghanisanij<sup>1\*</sup>, S. Akhavan<sup>2</sup>, H. Ramezani Etedali<sup>3</sup>, E. Kanani<sup>4</sup>, M.M. Nakhjavani Moghadam<sup>5</sup>

Received: Oct.23, 2020

Accepted: Dec.07, 2020

### Abstract

The aim of this study was to simulate the effect of micro irrigation systems under mulch conditions on evapotranspiration, soil surface evaporation and plant transpiration of forage maize using AquaCrop model. In this study, the AquaCrop model's performance was tested using data for silage maize (*Zea mays* L.) under surface drip, subsurface drip and permeability clay pipe irrigation systems with mulch conditions in the semiarid environment of Karaj, Alborz during 2014. According to the NRMSE index, in the calibration and validation stage (7.74% and 10.7%), the accuracy of this model to simulating forage maize biomass was acceptable, and AquaCrop simulated well the biomass yield (B-yield) of silage maize. The model had moderate efficiency for simulating corn evapotranspiration. The performance of the model in maize evapotranspiration simulation was better in PCI-M1 treatment than other treatments. So that, it had the lowest value of nRMSE and the highest value of  $R^2$ . There was no good correlation between the observed and simulated values in estimating soil surface evaporation and high nRMSE values in these treatments (2.96 and 3.23%) indicate the inefficiency of the AquaCrop model in estimating soil surface evaporation. The positive MBE index in both DI-M1 and SDI-M1 treatments indicates that the model overestimates the soil surface evaporation and does not estimate close to the observed values. Statistical evaluations between observational values and plant transpiration simulation showed a moderate correlation between observed and simulated values. The value of NRMSE index for canopy cover was calculated to be more than 30% in all treatments, which indicates the poor performance of the model. In these treatments, the maximum amount of canopy cover simulated using the AquaCrop model is more than the observed values.

**Keywords:** AquaCrop, Canopy cover, Drip irrigation, Partitioning evapotranspiration, Permeability clay pipe irrigation

1- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Alborz, Iran

2- Assistant Professor, Department of Water Engineering College of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

3- Associate Professor, Department of Water Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

4- Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

5- Assistant Professor of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

(\*- Correspondin Author Email: h.dehghansanij@areeo.ac.ir)