

# شبیه‌سازی تأثیر مدیریت آب مصرفی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد دو رقم بادام‌زمینی با استفاده از مدل WOFOST

علی عبدزادگوهری\*

بخش تحقیقات مدیریت آب در مزرعه، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.  
\* ایمیل نویسنده مسئول: abdzadgohari\_a@yahoo.com

## چکیده:

**زمینه و هدف:** یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید محصول بادام‌زمینی، تنش و کمبود آب در مراحل رشد گیاه است. از این رو مدل‌های شبیه‌سازی محصول می‌تواند برای پیش‌بینی عملکرد و تأثیر تنش آبی بر رشد و نمو گیاه مفید باشند. در این مطالعه، از مدل WOFOST برای شبیه‌سازی عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در بادام‌زمینی استفاده شد. با توجه به این که پژوهش‌های زیادی در خصوص استفاده از مدل در گیاه بادام‌زمینی در کشور گزارش نشده است، لذا هدف از این پژوهش، ارزیابی توانایی مدل مذکور در شبیه‌سازی عملکرد دو رقم بادام‌زمینی در شرایط آبیاری در مراحل مختلف رشد در منطقه آستانه‌اشرفیه بود.

**روش پژوهش:** این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی شامل آبیاری تا آغاز زمان گلدهی ( $I_1$ )، آبیاری تا آغاز زمان غلاف‌دهی ( $I_2$ ) و آبیاری کامل ( $I_3$ ) و فاکتور فرعی شامل دو رقم بادام‌زمینی جنوبی ( $C_1$ ) و گیل ( $C_2$ ) بود. برای شبیه‌سازی عملکرد بادام‌زمینی، از مدل WOFOST نسخه ۷،۱،۳ استفاده شد. در این مدل، شبیه‌سازی رشد گیاه بر مبنای چرخه کربن بوده که رشد گیاه را در سه وضعیت عدم وجود عامل محدود کننده، محدودیت آب و محدودیت مواد غذایی شبیه‌سازی می‌نماید.

**یافته‌ها:** ارزیابی مدل نشان داد که ریشه میانگین مربعات بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در برآورد میزان عملکرد زیست توده برای رقم جنوبی و گیل در سال ۱۳۹۶ به ترتیب ۰/۵۵۴ و ۰/۵۰۱ درصد، برای سال ۱۳۹۷ به ترتیب ۰/۸۷۲ و ۰/۸۹۷ درصد و در سال ۱۳۹۸ به ترتیب ۰/۴۴۹ و ۰/۴۶۶ درصد بود. ریشه میانگین مربعات بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در برآورد میزان عملکرد دانه برای رقم جنوبی و گیل در سال ۱۳۹۶ به ترتیب ۰/۰۵۲ و ۰/۰۶۵ درصد، در سال ۱۳۹۷ به ترتیب ۰/۱۳۲ و ۰/۱۳۱ درصد و در سال ۱۳۹۸ به ترتیب ۰/۱۰۱ و ۰/۰۹۶ درصد بود. مقادیر میانگین خطای نسبی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در سال‌های ۱۳۹۶، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ برای عملکرد زیست‌توده به ترتیب ۱۰/۲، ۱۸/۱ و ۷/۷ درصد و برای عملکرد دانه به ترتیب ۴/۳۵، ۴/۴ و ۴/۵- درصد و شاخص ضریب کارایی بین ۰/۴۴۲ تا ۰/۹۶۰ متغیر بود.

**نتایج:** بررسی مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای بر عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه نشان داد که شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطای نسبی و متوسط میزان خطای نسبی و سایر آزمون‌های آماری در محدوده قابل قبولی بود و مدل WOFOST، عکس‌العمل دو رقم بادام‌زمینی را در تیمارهای مختلف آبیاری به‌خوبی شبیه‌سازی نمود.

**کلیدواژه‌ها:** بهره‌وری مصرف آب، تبخیر-تعرق، تنش آبی، مدل‌سازی گیاهی



شاپا چاپی: ۲۲۵۱-۷۴۸۰  
شاپا الکترونیکی: ۲۲۵۰-۷۴۰۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:

<https://wsrj.srbiau.ac.ir>

پست الکترونیک:

[iauwsrj@srbiau.ac.ir](mailto:iauwsrj@srbiau.ac.ir)

[iauwsrj@gmail.com](mailto:iauwsrj@gmail.com)

سال دوازدهم

شماره یک (۴۵)

پائیز ۱۴۰۱

تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۰۱/۱۷

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۰۴/۲۱

صفحات: ۱۲۳-۱۰۹



## مقدمه

فیزیولوژیک گیاهی و اصلاح عملیات زراعی مانند آبیاری در مراحل مختلف رشد و استفاده از کم‌آبیاری، افزایش می‌یابد (Abdzad Gohari, 2021b). روش‌های متعددی برای اعمال کم‌آبیاری و بهره‌وری مصرف آب ارائه شده است که استفاده کارآمد از منابع آب و انتخاب روش‌های مناسب برای آبیاری گیاه بادام‌زمینی را نشان می‌دهد. در مراحل فنولوژیکی بادام‌زمینی، مراحل گلدهی و پر شدن غلاف حساس‌ترین مرحله در برابر تنش آبی است، زیرا مقدار آب مصرفی بر میزان گلدهی تأثیر می‌گذارد و عدم آبیاری در زمان مناسب، باعث کاهش سرعت و تعداد گلدهی می‌شود (Zhang et al., 2021; Reddy et al., 2003). نتایج پژوهشگران نشان داد که کمبود آب مصرفی، عملکرد و تولید ماده خشک در ارقام مختلف بادام‌زمینی را کاهش می‌دهد (Arunyanark et al., 2009; Pimratch et al., 2013; Tojo Soler et al., 2009).

مدل‌های شبیه‌سازی محصول به‌طور گسترده برای صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌های زراعی و بررسی نیاز آبی گیاه در شرایط مختلف محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل‌ها درک بهتر و ارزیابی دقیق‌تری از تأثیر مقدار آب مصرفی بر رشد محصول را برای تولید پایدار ارائه می‌دهند. بنابراین، اثر آبیاری بر رشد و عملکرد گیاه را می‌توان با استفاده از آزمایش‌های مزرعه‌ای و مدل‌های شبیه‌سازی بررسی کرد. در دهه اخیر، بسیاری از مدل‌های شبیه‌سازی رشد با پیچیدگی‌های مختلف توسعه یافته و به کار گرفته شده‌اند. در میان، مدل شبیه‌سازی رشد WOFOST (WORLD FOOD STUDIES) در چهارچوب مطالعات علوم مختلف بر روی امنیت جهانی غذا و پتانسیل جهانی تولید غذا توسط مرکز مطالعات جهانی غذا با همکاری دانشگاه کشاورزی واخینگن و مرکز تحقیقات بیولوژیکی و حاصلخیزی خاک تولید شد (Bouman et al., 1996). مدل WOFOST یکی از مدل‌های مکانیستیک می‌باشد که شبیه‌سازی رشد گیاه را بر مبنای تابعی از دما، تابش خورشید و بارندگی شبیه‌سازی می‌نماید (Boogaard et al., 1998) و یک عضو از خانواده مدل-

بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L) یکی از بقولات مهم در جهان است که به دلیل داشتن روغن، پروتئین، فیبر و ویتامین عمدتاً به‌منظور آجیل و خوراک دام مصرف می‌شود (Shi cheng et al., 2021; Arya et al., 2015). تولید بادام‌زمینی تحت تأثیر عوامل زیادی از جمله، دما، رطوبت، خواص فیزیکی و شیمیایی خاک قرار دارد (Zhao et al., 2019; Dong et al., 2018; Han et al., 2019; Nataraj et al., 2016). در بسیاری از مناطق، تولید بادام‌زمینی به‌صورت دیم و در شرایط نیمه‌خشک با بارندگی کم یا بارش با توزیع نامناسب انجام می‌شود. در این مناطق، تنش آبی می‌تواند در هر مرحله از رشد رخ دهد و منجر به کاهش عملکرد ۲۲ تا ۵۳ درصد گردد (Thangthong et al., 2019). کشت بادام‌زمینی در کشور، در استان‌های گیلان، گلستان، اردبیل، کرمان و شمال خوزستان صورت می‌گیرد و در استان گیلان، شهرستان آستانه‌اشرفیه بیشترین سطح کشت بادام‌زمینی را با مساحت ۲۵۰۰ هکتار دارا می‌باشد (Abdzad Gohari and Sadeghipour, 2019). یکی از محدودیت‌های مهم در تولید بادام‌زمینی به‌ویژه در اواسط فصل رشد، تنش آبی است که در زمان گلدهی و تشکیل غلاف بسیار اثرگذار است (Abdzad Gohari, 2021a). تنش آبی موجب ریزش قابل ملاحظه گل‌ها در بادام‌زمینی شده و با عدم پر شدن غلاف، عملکرد دانه به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد (Babazadeh et al., 2018). اگر تنش آبی در زمان پایانی فصل رویش واقع شود، علاوه بر کاهش عملکرد، میزان آلودگی به بیماری‌ها را نیز افزایش می‌دهد (Abdzad Gohari, 2021a). تنش آبی در بادام‌زمینی همچنین باعث بسته شدن روزنه‌ها، کاهش میزان جذب، تثبیت دی‌اکسیدکربن، کاهش میزان کلروفیل و میزان غذاسازی می‌شود (Arunyanark et al., 2009). از این‌رو بیشترین عملکرد زمانی به‌دست می‌آید که شرایط محیطی از جمله رطوبت قابل دسترس در تمامی مراحل رشد بادام‌زمینی در حد مطلوب باشد. بهره‌وری مصرف آب یکی از شاخص‌های اساسی در تعیین کارایی استفاده از آب جهت تولید است که با شناخت رفتار

این پژوهش در استان گیلان و در شهرستان آستانه- اشرفیه با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۵ دقیقه، طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۹۴ دقیقه، با ارتفاع متوسط ۵- متر از سطح دریا، در سال‌های زراعی ۱۳۹۶، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ انجام شد. منطقه از لحاظ آب و هوایی، معتدل و مرطوب بود. این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی شامل آبیاری تا آغاز زمان گلدهی ( $I_1$ )، آبیاری تا آغاز زمان غلاف‌دهی ( $I_2$ ) و آبیاری کامل ( $I_3$ ) و تیمار فرعی شامل دو رقم بادام‌زمینی جنوبی ( $C_1$ ) و گیل ( $C_2$ ) بود. داده‌های هواشناسی در طول فصل رشد برای سه سال، در شکل (۱) ارائه شده است. قبل از آماده‌سازی زمین، جهت ارزیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، از نقاط مختلف مزرعه در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی-متری به طور تصادفی نمونه‌برداری شد (جدول ۱). زمان کاشت بذرها برای هر دو رقم در سال‌های ۱۳۹۶، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ به ترتیب ۱۵، ۱۴ و ۱۵ اردیبهشت‌ماه و زمان برداشت محصول در این سال‌ها به ترتیب ۱۹، ۲۰ و ۲۰ شهریورماه بود. بر اساس آزمایش خاک، ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن (از منبع اوره)، ۵۰ کیلوگرم کود فسفر (سوپرفسفات تریپل) و ۱۰۰ کیلوگرم کود پتاسیم (سولفات پتاسیم) به صورت تقسیط در سه نوبت، به خاک داده شد. مقدار آب آبیاری بر اساس کمبود رطوبت خاک محاسبه شد و درصد حجمی رطوبت خاک قبل از آبیاری با نمونه-گیری از عمق‌های ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک اندازه‌گیری و عمق خالص آبیاری ( $d_n$ ) برحسب سانتی‌متر، پس از تخلیه رطوبتی مجاز (Maximum Allowable Depletion, MAD) و با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید. تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌عنوان تیمار آبیاری کامل در نظر گرفته شدند (Abdzad Gohari et al, 2022).

هایی است که در دانشگاه واخنینگن توسط دوویت پایه-گذاری شد و جزء مدل‌هایی می‌باشد که از مدل SUCROS مشتق شده است (Van Ittersum et al, 2003). مدل WOFOST در ابتدا به‌عنوان مدل شبه‌سازی رشد گیاه برای ارزیابی عملکرد پتانسیل گیاهان مختلف در کشورهای استوایی استفاده شد (Van Keulen and Van Diepen, 1990). این مدل می‌تواند به‌طور پویا مراحل رشد فنولوژیکی گیاه را از جوانه‌زنی تا رسیدگی فیزیولوژیک بر اساس خصوصیات ژنتیکی گیاه زراعی و شرایط محیطی شبه‌سازی کند. در این مدل، تجمع ماده خشک بر اساس نرخ ناخالص اسمیلاسیون دی‌اکسیدکربن کانوبی برآورد می‌شود. این نرخ به انرژی تابشی دریافتی توسط کانوبی وابسته می‌باشد که خود تابعی از تشعشع ورودی و سطح برگ است. در پژوهشی Rotter و همکاران (۱۹۹۷) واسنجی و اعتباریابی مدل را برای ذرت در کنیا انجام دادند و نتیجه گرفتند که مدل مقدار عملکرد را با خطای ۱۵ درصدی پیش‌بینی می‌کند. مدل WOFOST برای برآورد تولید پتانسیل گیاهان در اتحادیه اروپا به‌عنوان تابعی از شرایط خاک و اقلیم استفاده شد (Rabbinge and Van Latesteijn, 1992). همچنین مدل WOFOST برای مطالعات ارزیابی اثر شرایط اقلیمی بر رشد محصول مورد استفاده قرار گرفت (Wolf and Van Diepen, 1994). با توجه به این‌که پژوهشی در خصوص ارزیابی مدل WOFOST و مدیریت مصرف آب بر گیاه بادام‌زمینی در کشور گزارش نشده است، لذا هدف از این پژوهش، استفاده از مدل WOFOST در شبه‌سازی عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در دو رقم بادام‌زمینی جنوبی و گیل تحت شرایط مدیریت آبیاری در مراحل مختلف رشد در منطقه آستانه‌اشرفیه بود.

## مواد و روش‌ها

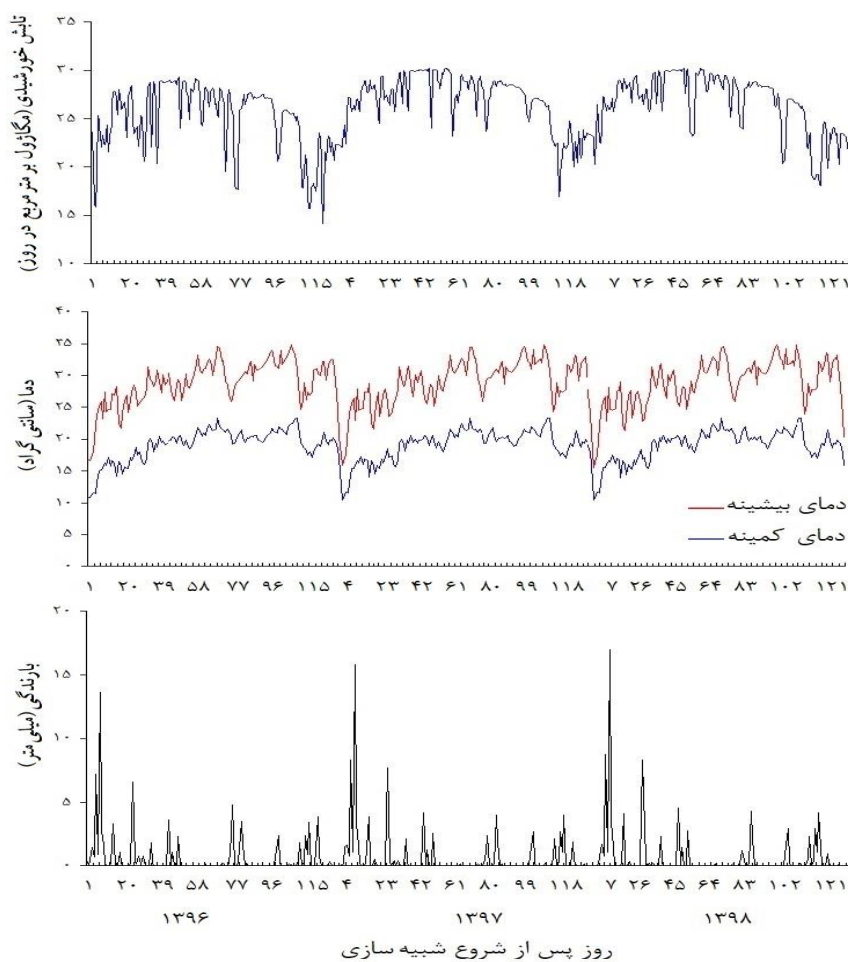
$$d_n = \frac{(0_{FC} - 0_{PWP})}{100} \times MAD \times D_r \quad (1)$$

آب زهکشی شده هستند که این مقادیر صفر در نظر گرفته شدند.  $\Delta S$ : نشان دهنده تغییرات ذخیره رطوبت خاک برحسب میلی‌متر می‌باشد که جهت تعیین آن، پس از هر نوبت آبیاری، از کرت‌های آزمایشی نمونه‌گیری رطوبتی انجام پذیرفت. تبخیر و تعرق گیاه مرجع یا پتانسیل ( $ET_0$ ) از روش پنمن مانیتث و با استفاده از مدل کراپ وات محاسبه گردید (جدول ۲). برای تعیین عملکرد گیاه، از هر پلات دو ردیف کشت از طرفین حذف و دوازده بوته به‌طور تصادفی انتخاب و پس از کف‌بردن، جهت نمونه‌گیری آماده شدند. سپس نمونه‌ها در داخل آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند و بعد از خشک‌شدن، توسط ترازو و با دقت یک‌صدم گرم وزن شدند.

که در آن،  $\Theta_{Fc}$ : درصد حجمی رطوبت خاک در ظرفیت زراعی،  $\Theta_{pwp}$ : درصد حجمی رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم و  $D_f$ : عمق توسعه ریشه گیاه (سانتی-متر) می‌باشد. اندازه‌گیری بیشترین عمق توسعه ریشه با روش پروفیل مستقیم و به میزان ۶۰ سانتی‌متر بود. مقدار آب تحویلی به هر واحد آزمایشی توسط کنتور انجام شد. مقدار آب مصرف شده در طول دوره رشد گیاه شامل مجموع آب آبیاری و میزان بارندگی بود. اندازه‌گیری تبخیر و تعرق واقعی گیاه بادام‌زمینی از طریق اندازه‌گیری اجزای بیلان آب بر اساس رابطه (۲) انجام شد.

$$I+P-ET_c-R-D=\Delta S \quad (2)$$

که در آن،  $I$ : مقدار آب آبیاری (میلی‌متر)،  $P$ : بارندگی مؤثر (میلی‌متر) و  $ET_c$ : مقدار تبخیر و تعرق گیاه (میلی-متر). پارامترهای  $R$  و  $D$  به ترتیب مقدار رواناب و عمق



شکل ۱. متغیرهای هواشناسی اندازه‌گیری شده از شروع شبیه‌سازی برای محل مورد مطالعه در طی سه سال آزمایش

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در مزرعه مورد مطالعه

سال	عمق خاک (سانتی‌متر)	هدایت الکتریکی (dS/m)	کربن آلی (%)	نیترژن کل (%)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	رس سیلت شن (درصد)
۱۳۹۶	۰-۳۰	۰/۶۵۵	۰/۶۷۰	۰/۰۸۶	۶/۲۷	۲۳۵	۱۷ ۳۳ ۵۰
	۳۰-۶۰	۰/۶۴۷	۰/۶۹۰	۰/۰۹۸	۶/۲۱	۲۱۶	۱۹ ۳۲ ۴۹
۱۳۹۷	۰-۳۰	۰/۶۳۲	۰/۶۹۰	۰/۰۹۴	۶/۴۵	۲۴۱	۱۵ ۳۴ ۵۱
	۳۰-۶۰	۰/۶۳۷	۰/۶۸۰	۰/۰۹۲	۶/۱۸	۳۲۲	۱۹ ۳۱ ۵۰
۱۳۹۸	۰-۳۰	۰/۶۳۹	۰/۶۹۰	۰/۰۹۶	۶/۳۳	۲۲۸	۱۷ ۳۳ ۵۰
	۳۰-۶۰	۰/۶۴۶	۰/۶۷۵	۰/۰۸۹	۶/۲۳	۲۶۹	۱۸ ۳۲ ۵۰

رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی (درصد)، رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی (درصد) و وزن مخصوص ظاهری (گرم بر مترمکعب) در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر به ترتیب ۲۴/۶، ۱۲/۱ و ۱/۴۶ و در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر به ترتیب ۲۵/۷، ۱۳/۲ و ۱/۴۶ بود.

جدول ۲. مقادیر تعرق، تبخیر، تبخیر-تعرق، آب مصرفی و رطوبت اولیه خاک در شرایط اندازه‌گیری شده

سال	تیمارها	تعرق	تبخیر	تبخیر-تعرق	بارندگی	آبیاری	آب مصرفی	رطوبت خاک
۱۳۹۶	I <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	۶۲/۷	۲۸۶/۶	۳۴۹/۳	۸۴/۴	۱۱۳	۱۹۷/۴	۱۵۱/۹
	I <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	۱۱۹/۶	۲۸۲/۳	۴۰۱/۹	۸۴/۴	۲۹۳	۳۷۷/۴	۲۴/۵
	I <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	۱۸۶/۸	۲۸۹/۶	۴۷۶/۴	۸۴/۴	۵۱۰	۵۹۴/۴	۰
	I <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	۶۳/۲	۳۱۶	۳۷۹/۲	۸۴/۴	۱۱۱	۱۹۵/۴	۱۸۳/۸
	I <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	۱۱۹/۱	۳۱۳/۲	۴۳۲/۳	۸۴/۴	۲۸۶	۳۷۰/۴	۶۱/۹
	I <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	۱۸۳/۷	۳۲۲/۸	۵۰۶/۵	۸۴/۴	۵۰۱	۵۸۵/۴	۰
۱۳۹۷	I <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	۶۳/۱	۲۶۷/۳	۳۳۰/۴	۸۵/۵	۱۱۶	۲۰۱/۵	۱۲۸/۹
	I <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	۱۴۴/۱	۲۶۸/۹	۴۱۳	۸۵/۵	۳۰۲	۳۸۷/۵	۲۵/۵
	I <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	۲۱۹/۲	۲۷۳/۱	۴۹۲/۳	۸۵/۵	۵۲۴	۶۰۹/۵	۰
	I <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	۶۳	۲۶۷/۱	۳۳۰/۱	۸۵/۵	۱۱۴	۱۹۹/۵	۱۳۰/۶
	I <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	۱۴۴/۳	۲۶۸/۶	۴۱۲/۹	۸۵/۵	۳۰۰	۳۸۵/۵	۲۷/۴
	I <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	۲۱۶	۲۶۸/۵	۴۸۴/۵	۸۵/۵	۵۱۲	۵۹۷/۵	۰
۱۳۹۸	I <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	۵۴/۵	۲۵۴/۲	۳۰۸/۷	۸۵/۹	۱۲۰	۲۰۵/۹	۱۰۲/۸
	I <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	۱۲۹/۷	۲۵۹/۴	۳۸۹/۱	۸۵/۹	۳۰۹	۳۹۴/۹	۰
	I <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	۲۱۱	۲۶۵/۴	۴۷۶/۴	۸۵/۹	۵۳۶	۶۲۱/۹	۰
	I <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	۵۴/۴	۲۵۳/۹	۳۰۸/۳	۸۵/۹	۱۱۸	۲۰۳/۹	۱۰۴/۴
	I <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	۱۲۹/۷	۲۵۹/۳	۳۸۹	۸۵/۹	۳۰۷	۳۹۲/۹	۰
	I <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	۲۰۷/۸	۲۶۰/۹	۴۶۸/۷	۸۵/۹	۵۲۵	۶۱۰/۹	۰

I<sub>1</sub>: آبیاری تا آغاز گلدهی. I<sub>2</sub>: آبیاری تا آغاز غلاف‌دهی. I<sub>3</sub>: آبیاری کامل؛ C<sub>1</sub>: رقم جنوبی و C<sub>2</sub>: رقم گیل.

وضعیت عدم وجود عامل محدود کننده، محدودیت آب و محدودیت مواد غذایی شبیه‌سازی می‌نماید. فرآیندهای اصلی شامل توسعه فنولوژیکی، جذب دی‌اکسید کربن، تعرق، تنفس، تجزیه و توزیع میزان ماده خشک بین اندام‌های مختلف بر اساس مرحله نمو صورت می‌گیرد. رشد در

معرفی و شناسایی پارامترهای ورودی و خروجی مدل WOFOST در این پژوهش از مدل WOFOST نسخه ۷,۱,۳ برای شبیه‌سازی عملکرد گیاه بادام‌زمینی استفاده شد. در این مدل، شبیه‌سازی رشد گیاه بر مبنای چرخه کربن بوده و دارای ساختاری پیچیده است که رشد گیاه را در سه

آنالیز آماری و دقت برآورد مدل

ارزیابی نتایج مدل با استفاده از ترکیب روش‌های گرافیکی و آماری انجام شد. مقایسه مقادیر و پراکنش داده‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده با نمودار و خط ۱:۱ نشان داده شد. برای مقایسه آماری بین نتایج، از شاخص‌های آماری موجود در روابط (۶ تا ۱۲) استفاده شد.

$$MRE = \frac{|M_i - S_i|}{M_i} \times 100 \quad (6)$$

$$RMSE = \left( \sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2 / n \right)^{0.5} \quad (7)$$

$$RMSE_n = \left[ \left( \sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2 / n \right)^{0.5} / \bar{M}_{avr} \right] \times 100 \quad (8)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (M_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2} \quad (9)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|S_i - \bar{M}| + |M - \bar{M}|)^2} \quad (10)$$

$$ME = \max \frac{100}{M} |S_i - M_i| \quad (11)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n m_i - \sum_{i=1}^n s_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (12)$$

که در آن  $M, S, \bar{M}, \bar{S}$  و  $N$  به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده، مقادیر شبیه‌سازی شده، میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده و تعداد مقادیر اندازه‌گیری شده است. در ارزیابی میزان عملکرد شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده اگر مقادیر میانگین خطای نسبی (Mean Relative Error, MRE) و ریشه میانگین مربعات (Root Mean Square Error, RMSE)، به صفر و مقادیر شاخص توافق یا سازگاری (Index of Agreement, IOA), d و ضریب کارایی (Coefficient of Efficiency, EF) به ۱ نزدیک‌تر باشند، نشان‌دهنده این مطلب است که مدل شبیه‌سازی را بهتر انجام داده است (Willmott, 1982; Singh et al., 2008). اگر ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (Normalized Root Mean Square Error, RMSE<sub>n</sub>)، کمتر از ۱۰ درصد باشد شبیه‌سازی عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ درصد خوب، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد متوسط و بالاتر از ۳۰ درصد، ضعیف برآورد شده است (Jamieson, 1991; et al., 2014; Yang et al., 2014). میزان شاخص حداکثر خطا (Maximum Error, ME)، نشان‌دهنده بیشترین خطا

حالت پتانسیل و محدودیت آبی به صورت دینامیکی با گام زمانی یک روزه شبیه‌سازی می‌شود (Boogaard et al., 1998). اطلاعات ورودی مورد نیاز برای اجرای مدل شامل اطلاعات کلی، فایل گیاهی، هواشناسی، خاک، مواد غذایی و اجرای مجدد توصیف می‌باشد (Boogaard et al., 1998). در بخش اطلاعات کلی، رشد گیاه تحت یکی از شرایط عدم وجود عامل محدود کننده، محدودیت آب و یا محدودیت مواد غذایی شبیه‌سازی می‌شود. در صورت انتخاب وضعیت عدم وجود عامل محدود کننده و یا محدودیت آب، نیازی به وارد کردن اطلاعات مواد غذایی نیست. اگر وضعیت رشد گیاه تحت شرایط محدودیت آب انتخاب شود، تاریخ شروع بیلان آب، برای شبیه‌سازی بیلان آب مشخص می‌شود. پارامترهای هواشناسی شامل تابش، میانگین حداقل و حداکثر دمای روزانه، میانگین سرعت باد در ارتفاع دو متری و کل بارش، در طول دوره رشد می‌باشد. این مدل آبیاری را به‌طور مستقیم در نظر نمی‌گیرد و مقدار آبیاری به‌عنوان بارش به بارندگی روزانه اضافه می‌گردد. در فایل مربوط به خاک، مقادیر رطوبت خاک در ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم، رطوبت اشباع، مجموع آب قابل دسترس و هدایت الکتریکی اشباع نیاز می‌باشد.

بهره‌وری مصرف آب

برای محاسبه مقدار بهره‌وری مصرف آب از روابط (۳ تا ۵) استفاده شد.

$$WP_T = \frac{Y}{T} \quad (3)$$

$$WP_{ET} = \frac{Y}{E+T} \quad (4)$$

$$WP_{I+R} = \frac{Y}{I+R} \quad (5)$$

که در آن،  $WP_T$ : میزان بهره‌وری بر اساس تعرق،  $WP_{ET}$ : میزان بهره‌وری بر اساس تبخیر-تعرق،  $WP_{I+R}$ : میزان بهره‌وری آب بر اساس مصرفی (آبیاری+بارندگی)،  $T$ : میزان تعرق (میلی‌متر)،  $E$ : میزان تبخیر (میلی‌متر)،  $I$ : مقدار آب آبیاری (میلی‌متر)،  $R$ : بارندگی (میلی‌متر) و  $Y$ : میزان عملکرد برحسب کیلوگرم بر هکتار می‌باشد.

بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای است که هرچه کمتر باشد، مدل کارایی بهتری خواهد داشت. شاخص ضریب باقیمانده (Coefficient of Residual Mass, CRM)، برآورد کمتر یا بیش از حد را در مقایسه با شرایط اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد و هرچه به صفر نزدیک باشد، دقت بالاتری خواهد داشت (Walpole et al., 1998).

## نتایج و بحث

### ارزیابی مدل WOFOST برای دو رقم بادام‌زمینی

داده‌های اندازه‌گیری شده برای دو رقم بادام‌زمینی، مربوط به سال‌های ۱۳۹۶، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ بود و با استفاده از مدل WOFOST، مقادیر عملکرد زیست‌توده و دانه برای سال‌های مورد مطالعه در تیمارهای مختلف آبیاری شبیه‌سازی شد. ضرایبی که ویژگی‌های رشد و نمو بادام‌زمینی را در مدل تعریف می‌کنند، با استفاده از داده‌های تجربی کالیبره شدند. پارامترهای گیاهی بسیار حساس‌اند و شامل مجموع دمای روزانه از جوانه زدن تا گلدهی، مجموع دمای روزانه از گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیکی، سطح ویژه برگ، حداکثر افزایش نسبی در شاخص سطح برگ، ضریب روشنایی نور، راندمان مصرف نور و حداکثر شدت جذب دی‌اکسیدکربن می‌باشند (جدول ۳).

با افزایش مقدار آب آبیاری، مقدار عملکرد دانه در دو رقم افزایش یافت و مدل توانست روند تغییرات عملکرد دانه را در سطوح مختلف آب شبیه‌سازی کند. نتایج

ارزیابی مدل نشان داد که مقدار خطای نسبی (MRE) بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در عملکرد زیست توده در سال ۱۳۹۶ بین ۱/۳- تا ۱۶/۵ درصد و در سال ۱۳۹۷ بین ۹/۶ تا ۲۴/۲ درصد و در سال ۱۳۹۸ بین ۴ تا ۱۴/۴ درصد بود. مقادیر مذکور برای عملکرد دانه در سال ۱۳۹۶ بین ۱/۲- تا ۸ درصد، در سال ۱۳۹۷ بین ۵/۱- تا ۱۳/۲ درصد و در ۱۳۹۸ بین ۲۲/۶- تا ۲۴/۰- درصد متغیر بود (جدول ۴). به‌طور متوسط مقدار خطای نسبی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در سال‌های ۱۳۹۶، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ برای عملکرد زیست‌توده به ترتیب ۱۰/۲، ۱۸/۱ و ۷/۷ درصد و برای عملکرد دانه به ترتیب ۴/۳۵، ۶/۴ و ۴/۵- درصد بود. متوسط خطای نسبی و ریشه میانگین مربعات نشان دهنده برآورد خوب مدل در سال‌های مورد مطالعه بود. با توجه به جدول (۵)، شاخص ضریب کارایی (EF) در سال‌های ۱۳۹۶، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در عملکرد زیست‌توده برای رقم جنوبی به ترتیب ۰/۷۸۶، ۰/۴۴۲ و ۰/۸۴۱ و در رقم گیل به ترتیب ۰/۸۲۰، ۰/۴۳۳ و ۰/۸۳۷ بود. در طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸، این ضریب برای عملکرد دانه در رقم جنوبی به ترتیب ۰/۹۵۵، ۰/۹۲۵ و ۰/۹۸۸ و در رقم گیل به ترتیب ۰/۹۸۱، ۰/۹۲۶ و ۰/۹۶۰ بود. از آنجایی که شاخص ضریب کارایی، بین منفی بی‌نهایت تا مثبت یک متغیر است، از این-رو مقادیر شبیه‌سازی شده حاکی از قابل اطمینان بودن نتایج دارد. شاخص توافق ویلموت (d) برای عملکرد زیست

جدول ۳. پارامترهای اندازه‌گیری شده و یا واسنجی شده در دو رقم بادام‌زمینی

پارامتر	تعریف	دامنه تغییرات مقادیر		واحد
		رقم جنوبی	رقم گیل	
TSUM <sub>1</sub>	مجموع دمای روزانه از جوانه‌زنی تا گلدهی	۳۹۲	۳۹۰	°C-days
TSUM <sub>2</sub>	مجموع دمای روزانه از گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیکی	۹۶۸	۹۷۰	°C-days
SLA	سطح ویژه برگ	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۱۲	ha kg <sup>-1</sup>
RGRLAI	حداکثر افزایش نسبی در شاخص سطح برگ	۰/۰۵	۰/۰۵	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>
KDIF	ضریب روشنایی نور	۰/۶	۰/۶	-
EFF	راندمان مصرف نور	۰/۴	۰/۴	Kg.ha <sup>-1</sup> hr <sup>-1</sup> J <sup>-1</sup> m <sup>2</sup> s
AMAX	حداکثر شدت جذب دی‌اکسیدکربن	۵۰	۵۰	kg ha <sup>-1</sup> hr <sup>-1</sup>

توده و دانه در هر دو رقم جنوبي و گيل در سال‌های مورد مطالعه از ۰/۹۴۹ تا ۰/۹۹۸ متغير بود که نزديک بودن شاخص به عدد یک، نشان دهنده قابل اطمینان بودن مقادير شبیه‌سازی شده است (جدول ۵). با توجه به این‌که میزان شاخص حداکثر خطا (ME)، نشان دهنده بیشترین خطا بين مقادير شبیه‌سازی و مشاهده‌ای است، لذا هرچه این شاخص کمتر باشد، مدل کارایی بهتری خواهد داشت. با توجه به نتایج، در هر دو رقم، این شاخص از دقت

خوبی برخوردار بود (جدول ۵). بررسی شاخص ضریب جرم باقی‌مانده (CRM) در عملکرد زیست‌توده و دانه در دو رقم گیل و جنوبي منفی به دست آمد که نشان دهنده تخمین بیش از حد مدل می‌باشد؛ اما در تمام تیمارها، مقادير به‌دست آمده نزديک به صفر مشاهده شد که نشان دهنده دقت بالای مدل در شبیه‌سازی پارامترهای اندازه-گیری شده است (جدول ۵).

جدول ۴. میزان درصد خطای نسبی و مقادير عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه در شرایط شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای

تیمارها	سال ۱۳۹۶			سال ۱۳۹۷			سال ۱۳۹۸		
	MRE (%)	Y <sub>Simu</sub> (kg/ha)	Y <sub>Obs</sub> (kg/ha)	MRE (%)	Y <sub>Simu</sub> (kg/ha)	Y <sub>Obs</sub> (kg/ha)	MRE (%)	Y <sub>Simu</sub> (kg/ha)	Y <sub>Obs</sub> (kg/ha)
عملکرد زیست‌توده	I <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	۳۴۵۰c	۳۶۲۰c	۲۰/۱	۴۲۶۵	۳۵۵۰c	۱۶/۵	۴۰۲۰	۳۴۵۰c
	I <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	۴۸۹۰b	۵۱۰۵b	۲۳/۴	۶۱۹۵	۵۰۲۰b	۱۵/۸	۵۶۶۱	۴۸۹۰b
	I <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	۶۳۸۷a	۶۳۸۶a	۹/۸	۷۰۳۴	۶۴۰۹a	۰/۷	۶۴۳۳	۶۳۸۷a
	I <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	۳۴۱۰c	۳۵۹۰c	۲۱/۶	۴۲۶۸	۳۵۱۰c	۱۵/۵	۳۹۳۸	۳۴۱۰c
	I <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	۴۸۰۵b	۵۰۸۰b	۲۴/۲	۶۲۰۴	۴۹۹۵b	۱۴/۲	۵۴۸۸	۴۸۰۵b
	I <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	۶۳۰۰a	۶۴۱۹a	۹/۶	۷۰۴۷	۶۴۳۰a	-۱/۳	۶۲۱۷	۶۳۰۰a
متوسط	۴۸۷۳/۷	۵۰۳۳/۳	۱۸/۱	۵۸۳۵/۵	۴۹۸۵/۷	۱۰/۲	۵۲۹۲/۸	۴۸۷۳/۷	
عملکرد دانه	I <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	۳۴۵c	۳۶۲c	-۵/۱	۳۳۷	۳۵۵c	-۱/۲	۳۴۱	۳۴۵c
	I <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	۹۷۸b	۱۰۲۱b	۱۰/۵	۱۱۰۹	۱۰۰۴b	۵/۰	۱۰۲۷	۹۷۸b
	I <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	۱۵۲۵a	۱۵۲۴a	۱۳/۲	۱۷۳۲	۱۵۳۰a	۴/۹	۱۶۰۰	۱۵۲۵a
	I <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	۳۴۱c	۳۵۹c	-۴/۳	۳۳۶	۳۵۱c	۴/۱	۳۵۵	۳۴۱c
	I <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	۹۶۱b	۱۰۱۶b	۱۰/۹	۱۱۰۸	۹۹۹b	۸/۰	۱۰۳۸	۹۶۱b
	I <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	۱۵۰۱a	۱۵۳۲a	۱۳/۰	۱۷۳۴	۱۵۳۵a	۵/۳	۱۵۸۱	۱۵۰۱a
متوسط	۹۴۱/۸	۹۶۹	۶/۴	۱۰۵۹/۳	۹۶۲/۳	۴/۳۵	۹۹۰/۳	۹۴۱/۸	

I<sub>1</sub>: آبیاری تا آغاز گلدهی، I<sub>2</sub>: آبیاری تا آغاز غلاف‌دهی، I<sub>3</sub>: آبیاری کامل؛ C<sub>1</sub>: رقم جنوبي و C<sub>2</sub>: رقم گیل. Y<sub>Simu</sub> و Y<sub>Obs</sub> به ترتیب عملکرد مشاهده شده و شبیه‌سازی شده (کیلوگرم بر هکتار). حروف مختلف بعد از اعداد در ستون مشاهده‌ای، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بين تیمارها است (p < 0.01).

جدول ۵. ارزیابی نتایج شبیه‌سازی عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه در دو رقم بادام‌زمینی

سال	رقم	RMSE (t/ha)	RMSE <sub>n</sub> (%)	EF (%)	d (%)	ME (%)	CRM (%)
عملکرد زیست‌توده	جنوبي	۰/۵۵۴	۱۱/۲۹۰	۰/۷۸۶	۰/۹۷۵	۱۶/۵۵۲	-۰/۰۹۴
	گیل	۰/۵۰۱	۱۰/۳۴۹	۰/۸۲۰	۰/۹۷۸	۱۵/۴۸۴	-۰/۰۷۸
	جنوبي	۰/۸۷۲	۱۷/۴۷۰	۰/۴۴۲	۰/۹۵۲	۲۳/۴۰۶	-۰/۱۶۸
عملکرد دانه	گیل	۰/۸۹۷	۱۸/۰۳۰	۰/۴۳۳	۰/۹۴۹	۲۴/۲۰۴	-۰/۱۷۳
	جنوبي	۰/۴۴۹	۸/۹۳۳	۰/۸۴۱	۰/۹۸۶	۱۳/۷۱۲	-۰/۰۷۷
	گیل	۰/۴۶۶	۹/۲۷۶	۰/۸۳۷	۰/۹۸۵	۱۴/۴۲۹	-۰/۰۸۰
عملکرد دانه	جنوبي	۰/۰۵۲	۵/۴۵۴	۰/۹۸۸	۰/۹۹۹	۵/۰۱۰	-۰/۰۴۲
	گیل	۰/۰۶۵	۶/۹۱۶	۰/۹۸۱	۰/۹۹۸	۸/۰۱۲	-۰/۰۶۱
	جنوبي	۰/۱۳۲	۱۳/۶۹۲	۰/۹۲۵	۰/۹۹۳	۱۳/۲۰۳	-۰/۱۰۰
	گیل	۰/۱۳۱	۱۳/۶۵۲	۰/۹۲۶	۰/۹۹۳	۱۲/۹۶۴	-۰/۱۰۲
	جنوبي	۰/۱۰۱	۱۰/۴۳۵	۰/۹۵۵	۰/۹۹۶	۲۴/۰۳۳	-۰/۰۲۲
	گیل	۰/۰۹۶	۹/۸۹۷	۰/۹۶۰	۰/۹۹۶	۲۲/۵۶۳	-۰/۰۲۳



در جدول (۶) میزان درصد خطای نسبی، مقادیر بهره‌وری مصرف آب بر اساس تبخیر، تبخیر-تعرق و آب مصرفی در شرایط شبه‌سازی شده و مشاهده‌ای نشان داده است. عکس‌العمل فیزیولوژیکی گیاه بادام‌زمینی برای مدیریت مصرف آب در مراحل مختلف رشد و شرایط محیطی متغیر، منجر به نیازهای تعرق متفاوت شده و متعاقب آن مقدار تعرق در گیاه تغییر می‌کند. لذا تأمین آب مصرفی در هر دو رقم بادام‌زمینی تحت تأثیر تعرق و تبخیر-تعرق بوده که منتج به مقادیر مختلف عملکرد دانه و زیست توده در گیاه می‌شود. بیشترین درصد خطای نسبی در شرایط بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد زیست-توده در سال‌های مورد مطالعه در سال ۱۳۹۸ رخ داد. بهره‌وری مصرف آب بر اساس تعرق ( $WP_T$ )، تبخیر-تعرق ( $WP_{ET}$ ) و میزان آب مصرفی ( $WP_{I+R}$ ) در تیمار  $I_1C_1$  (آبیاری تا آغاز گلدهی در رقم جنوبی) به ترتیب  $31/66$ ،  $31/70$  و  $24/03$  درصد و در تیمار  $I_1C_2$  (آبیاری تا آغاز گلدهی در رقم گیل) به ترتیب  $30/46$ ،  $30/42$  و  $22/56$  بود که حاکی از ارزیابی مدل در حد متوسط است؛ اما در سایر تیمارهای آبیاری، درصد خطای نسبی در بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد زیست‌توده و دانه در سال‌های مورد مطالعه بسیار مناسب و خوب ارزیابی شد. با افزایش مقدار آب مورد نیاز در شرایط آبیاری کامل، مقدار بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد زیست‌توده و دانه در شرایط شبه‌سازی و مشاهده شده، نسبت به شرایط آبیاری تا زمان گلدهی و آبیاری تا زمان غلاف‌دهی بیشتر بود و مدل نیز، افزایش عملکرد شبه‌سازی شده را با دقت قابل قبولی نشان داد. ارزیابی مدل نشان داد که ریشه میانگین مربعات بین مقادیر مشاهده شده و شبه‌سازی شده در برآورد میزان بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد زیست توده بر اساس تعرق، برای رقم جنوبی و گیل در سال ۱۳۹۶ به ترتیب  $0/305$  و  $0/308$  درصد، برای سال ۱۳۹۷ به ترتیب  $0/489$  و  $0/512$  درصد و در سال ۱۳۹۸ به ترتیب  $0/308$  و  $0/289$  درصد بود. در حالی که این شاخص بر اساس تبخیر-تعرق، برای رقم جنوبی و گیل در

سال ۱۳۹۶ به ترتیب  $0/090$  و  $0/070$  درصد، برای سال ۱۳۹۷ به ترتیب  $0/153$  و  $0/154$  درصد و در سال ۱۳۹۸ به ترتیب  $0/079$  و  $0/075$  درصد بود. ریشه میانگین مربعات در برآورد میزان بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد زیست توده بر اساس آب مصرفی، برای رقم جنوبی و گیل در سال ۱۳۹۶ به ترتیب  $0/205$  و  $0/189$  درصد، برای سال ۱۳۹۷ به ترتیب  $0/275$  و  $0/290$  درصد و در سال ۱۳۹۸ به ترتیب  $0/114$  و  $0/122$  درصد بود. ریشه میانگین مربعات بین مقادیر مشاهده شده و شبه‌سازی شده در برآورد میزان بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد دانه بر اساس تعرق، برای رقم جنوبی و گیل در سال ۱۳۹۶ به ترتیب  $0/38$  و  $0/35$  درصد، در سال ۱۳۹۷ به ترتیب  $0/072$  و  $0/066$  درصد و در سال ۱۳۹۸ به ترتیب  $0/130$  و  $0/123$  درصد بود. مقادیر این شاخص در برآورد میزان بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد دانه بر اساس تبخیر-تعرق، برای رقم جنوبی و گیل در سال ۱۳۹۶ به ترتیب  $0/012$  و  $0/012$  درصد، در سال ۱۳۹۷ به ترتیب  $0/026$  و  $0/023$  درصد و در سال ۱۳۹۸ به ترتیب  $0/029$  و  $0/026$  درصد بود (جدول ۷). ریشه میانگین مربعات در برآورد میزان بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد دانه بر اساس آب مصرفی، برای رقم جنوبی و گیل در سال ۱۳۹۶ به ترتیب  $0/010$  و  $0/015$  درصد، برای سال ۱۳۹۷ به ترتیب  $0/025$  و  $0/026$  درصد و در سال ۱۳۹۸ به ترتیب  $0/028$  و  $0/027$  درصد بود. شاخص ضریب کارایی در بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد زیست توده و بر اساس تعرق در دو رقم جنوبی و گیل بین  $0/823$  و  $9/63$  و بر اساس تبخیر-تعرق بین  $1/675$  و  $0/755$  و بر اساس آب مصرفی بین  $0/048$  و  $0/858$  متغیر بود. در حالی که این تغییرات در بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد دانه بر اساس تعرق در دو رقم جنوبی و گیل بین  $0/37$  و  $0/926$  و بر اساس تبخیر-تعرق بین  $0/83$  و  $0/984$  و بر اساس آب مصرفی بین  $0/396$  و  $0/928$  متغیر بود. نتایج سایر شاخص‌های ارزیابی شبه‌سازی بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه در دو رقم بادام-زمینی در جدول (۷) ارائه شده است.

جدول ۶. درصد خطای نسبی، مقادیر بهره‌وری مصرف آب بر اساس تبخیر، تبخیر-تعرق و آب مصرفی در شرایط شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای

سال ۱۳۹۶			سال ۱۳۹۷			سال ۱۳۹۸			سال ۱۳۹۹			سال ۱۳۹۸			تیمارها					
WP <sub>WU(Bio)</sub> (kg/m <sup>3</sup> )			WP <sub>ET(Bio)</sub> (kg/m <sup>3</sup> )			WP <sub>E(Bio)</sub> (kg/m <sup>3</sup> )			WP <sub>WU(Bio)</sub> (kg/m <sup>3</sup> )			WP <sub>ET(Bio)</sub> (kg/m <sup>3</sup> )			WP <sub>E(Bio)</sub> (kg/m <sup>3</sup> )					
۱/۷۶a	۱/۷۶a	۱/۷۵a	۱/۱۷b	۱/۰۷c	۰/۹۸۸c	۶/۶۴a	۵/۶۳a	۵/۵۰۲a	I <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	شرایط مشاهده‌ای	۱/۲۹b	۱/۳۰b	۱/۳۰b	۱/۳۱a	۱/۲۲b	۱/۲۲b	۳/۹۴b	۳/۹۴b	۴/۰۹b	I <sub>2</sub> C <sub>1</sub>
۱/۰۳c	۱/۰۵c	۱/۰۸c	۱/۳۴a	۱/۳۰a	۱/۳۴a	۳/۰۳c	۲/۹۲c	۳/۴۲c	I <sub>3</sub> C <sub>1</sub>											
۱/۷۶a	۱/۷۶a	۱/۷۵a	۱/۱۶b	۱/۰۶c	۰/۹۰c	۶/۶۰a	۵/۵۷a	۵/۴۰a	I <sub>1</sub> C <sub>2</sub>											
۱/۲۹b	۱/۳۰b	۱/۳۰b	۱/۳۱a	۱/۲۱b	۱/۱۱b	۳/۹۲b	۳/۴۶b	۴/۰۳b	I <sub>2</sub> C <sub>2</sub>											
۱/۰۵c	۱/۰۸c	۱/۰۸c	۱/۳۷a	۱/۳۳a	۱/۲۴a	۳/۰۹c	۲/۹۸c	۳/۴۳c	I <sub>3</sub> C <sub>2</sub>											
۱/۸۳	۲/۱۲	۲/۰۴	۱/۱۰	۱/۲۹	۱/۰۶	۶/۲۲	۶/۷۶	۵/۹۳	I <sub>1</sub> C <sub>1</sub>											
۱/۴۷	۱/۶۰	۱/۵۰	۱/۴۱	۱/۵۰	۱/۳۵	۴/۲۳	۴/۳۰	۴/۵۴	I <sub>2</sub> C <sub>1</sub>											
۱/۰۸	۱/۱۵	۱/۰۸	۱/۴۰	۱/۴۳	۱/۳۶	۳/۱۶	۳/۲۱	۳/۴۷	I <sub>3</sub> C <sub>1</sub>											
۱/۸۵	۲/۱۴	۲/۰۲	۱/۱۰	۱/۲۹	۰/۹۶	۶/۲۲	۶/۷۷	۵/۷۶	I <sub>1</sub> C <sub>2</sub>											
۱/۴۸	۱/۶۱	۱/۴۸	۱/۴۱	۱/۵۰	۱/۲۲	۴/۲۳	۴/۳۰	۴/۴۲	I <sub>2</sub> C <sub>2</sub>											
۱/۱۰	۱/۱۸	۱/۰۶	۱/۴۰	۱/۴۵	۱/۲۴	۳/۱۷	۳/۲۶	۳/۴۱	I <sub>3</sub> C <sub>2</sub>											
۴/۰۳	۲۰/۱۴	۱۶/۵۲	-۶/۴۱	۲۰/۱۴	۷/۷۶	-۶/۴۱	۲۰/۱۴	۷/۶۹	I <sub>1</sub> C <sub>1</sub>											
۱۳/۷۱	۲۳/۴۱	۱۵/۷۷	۷/۴۵	۲۳/۴۱	۱۱/۰۶	۷/۴۲	۲۳/۴۱	۱۱/۰۲	I <sub>2</sub> C <sub>1</sub>											
۴/۸۵	۹/۷۵	۰/۷۲	۴/۵۲	۹/۷۵	۱/۴۰	۴/۵۱	۹/۷۵	۱/۴۰	I <sub>3</sub> C <sub>1</sub>											
۴/۹۶	۲۱/۶۰	۱۵/۴۸	-۵/۷۰	۲۱/۶۰	۶/۷۲	-۵/۷۵	۲۱/۶۰	۶/۷۴	I <sub>1</sub> C <sub>2</sub>											
۱۴/۴۳	۲۴/۲۰	۱۴/۲۱	۸/۱۰	۲۴/۲۰	۹/۴۸	۸/۱۰	۲۴/۲۰	۹/۴۸	I <sub>2</sub> C <sub>2</sub>											
۴/۵۲	۹/۶۰	-۱/۳۲	۲/۵۱	۹/۶۰	-۰/۶۴	۲/۵۰	۹/۶۰	-۰/۶۳	I <sub>3</sub> C <sub>2</sub>											
WP <sub>WU(Seed)</sub> (kg/m <sup>3</sup> )			WP <sub>ET(Seed)</sub> (kg/m <sup>3</sup> )			WP <sub>E(Seed)</sub> (kg/m <sup>3</sup> )			تیمارها											
۰/۱۸b	۰/۱۸b	۰/۱۷b	۰/۱۲c	۰/۱۱c	۰/۰۹۹d	۰/۶۶b	۰/۵۶b	۰/۵۵b	I <sub>1</sub> C <sub>1</sub>											
۰/۲۶a	۰/۲۶a	۰/۲۶a	۰/۲۶b	۰/۲۴b	۰/۲۴b	۰/۷۹a	۰/۷۰a	۰/۸۲a	I <sub>2</sub> C <sub>1</sub>											
۰/۲۵a	۰/۲۵a	۰/۲۶a	۰/۳۲a	۰/۳۱a	۰/۳۲a	۰/۷۲a	۰/۷۰a	۰/۸۲a	I <sub>3</sub> C <sub>1</sub>											
۰/۱۸b	۰/۱۸b	۰/۱۸b	۰/۱۲c	۰/۱۱c	۰/۰۹c	۰/۶۶b	۰/۵۶b	۰/۵۴b	I <sub>1</sub> C <sub>2</sub>											
۰/۲۶a	۰/۲۶a	۰/۲۶a	۰/۲۶b	۰/۲۴b	۰/۲۲b	۰/۷۸a	۰/۶۹a	۰/۸۱a	I <sub>2</sub> C <sub>2</sub>											
۰/۲۵a	۰/۲۶a	۰/۲۶a	۰/۳۲a	۰/۳۲a	۰/۳۰a	۰/۷۴a	۰/۷۱a	۰/۸۲a	I <sub>3</sub> C <sub>2</sub>											
۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۴۵	۰/۵۳	۰/۵۰	I <sub>1</sub> C <sub>1</sub>											
۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۷۴	۰/۷۷	۰/۸۲	I <sub>2</sub> C <sub>1</sub>											
۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۸۶	I <sub>3</sub> C <sub>1</sub>											
۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۴۶	۰/۵۳	۰/۵۲	I <sub>1</sub> C <sub>2</sub>											
۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۳	۰/۷۴	۰/۷۷	۰/۸۴	I <sub>2</sub> C <sub>2</sub>											
۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۳۱	۰/۷۹	۰/۸۰	۰/۸۷	I <sub>3</sub> C <sub>2</sub>											
-۲۴/۰۳	-۵/۰۷	-۱/۱۵۹	-۳۱/۷۰	-۵/۰۷	-۸/۵۹	-۳۱/۶۶	-۵/۰۷	-۸/۶۵	I <sub>1</sub> C <sub>1</sub>											
-۰/۱۰	۱۰/۴۶	۵/۰۱	-۵/۶۰	۱۰/۴۶	۰/۷۴	-۵/۶۳	۱۰/۴۶	۰/۷۱	I <sub>2</sub> C <sub>1</sub>											
۹/۹۷	۱۳/۲۰	۴/۹۲	۹/۶۳	۱۳/۲۰	۵/۶۲	۹/۶۱	۱۳/۲۰	۵/۶۳	I <sub>3</sub> C <sub>1</sub>											
-۲۲/۵۶	-۴/۲۷	۴/۱۱	-۳۰/۴۲	-۴/۲۷	-۳/۸۰	-۳۰/۴۶	-۴/۲۷	-۳/۷۸	I <sub>1</sub> C <sub>2</sub>											
۰/۲۰	۱۰/۹۱	۸/۰۱	-۵/۳۵	۱۰/۹۱	۳/۵۳	-۵/۳۵	۱۰/۹۱	۳/۵۴	I <sub>2</sub> C <sub>2</sub>											
۹/۴۷	۱۲/۹۶	۵/۳۳	۷/۳۶	۱۲/۹۶	۶/۰۵	۷/۳۵	۱۲/۹۶	۶/۰۷	I <sub>3</sub> C <sub>2</sub>											

I<sub>1</sub>: آبیاری تا آغاز گلدهی. I<sub>2</sub>: آبیاری تا آغاز غلاف‌دهی. I<sub>3</sub>: آبیاری کامل. C<sub>1</sub>: رقم جنوبی و C<sub>2</sub>: رقم گیل. WP<sub>WU(Bio)</sub>، WP<sub>ET(Bio)</sub> و WP<sub>E(Bio)</sub>: به ترتیب بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد زیست‌توده بر اساس تبخیر، تبخیر-تعرق و آب مصرفی. WP<sub>WU(Seed)</sub>، WP<sub>ET(Seed)</sub> و WP<sub>E(Seed)</sub>: بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد دانه بر اساس تبخیر، تبخیر-تعرق و آب مصرفی. حروف مختلف بعد از اعداد در ستون مشاهده‌ای، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها است (p < 0.01).

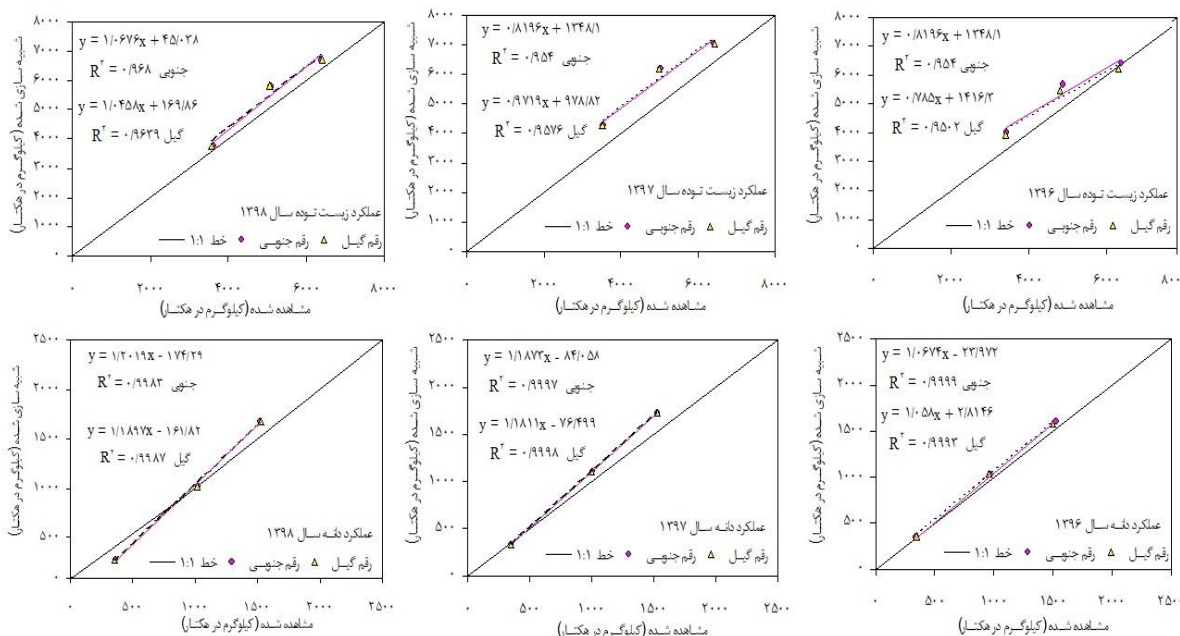
جدول ۷. ارزیابی نتایج شبیه‌سازی بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه در دو رقم بادام‌زمینی

بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد زیست‌توده						بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد دانه					
سال ۱۳۹۶		سال ۱۳۹۷		سال ۱۳۹۸		سال ۱۳۹۶		سال ۱۳۹۷		سال ۱۳۹۸	
جنوبی	گیل	جنوبی	گیل	جنوبی	گیل	جنوبی	گیل	جنوبی	گیل	جنوبی	گیل
۰/۳۵۸	۰/۳۰۵	۰/۴۸۹	۰/۵۱۲	۰/۳۰۸	۰/۲۸۹	۰/۳۵۸	۰/۳۰۵	۰/۴۸۹	۰/۵۱۲	۰/۳۰۸	۰/۲۸۹
۰/۰۹۰	۰/۰۷۰	۰/۱۵۳	۰/۱۵۴	۰/۰۷۹	۰/۰۷۵	۰/۰۹۰	۰/۰۷۰	۰/۱۵۳	۰/۱۵۴	۰/۰۷۹	۰/۰۷۵
۰/۲۰۵	۰/۱۸۹	۰/۲۷۵	۰/۲۹۰	۰/۱۱۴	۰/۱۲۲	۰/۲۰۵	۰/۱۸۹	۰/۲۷۵	۰/۲۹۰	۰/۱۱۴	۰/۱۲۲
۸/۲۵۷	۷/۱۱۲	۱۲/۲۱۲	۱۲/۷۸۲	۶/۷۹۷	۶/۳۷۱	۸/۲۵۷	۷/۱۱۲	۱۲/۲۱۲	۱۲/۷۸۲	۶/۷۹۷	۶/۳۷۱
۷/۶۱۹	۶/۴۷۸	۱۲/۸۰۴	۱۲/۸۲۳	۶/۲۱۹	۵/۸۳۸	۷/۶۱۹	۶/۴۷۸	۱۲/۸۰۴	۱۲/۸۲۳	۶/۲۱۹	۵/۸۳۸
۱۴/۸۸۶	۱۳/۷۲۴	۲۰/۱۴۰	۲۱/۹۸	۸/۲۳	۸/۹۲۰	۱۴/۸۸۶	۱۳/۷۲۴	۲۰/۱۴۰	۲۱/۹۸	۸/۲۳	۸/۹۲۰
۰/۸۳۰	۰/۸۲۳	۰/۸۲۳	۰/۷۹۴	۰/۹۶۰	۰/۹۶۳	۰/۸۳۰	۰/۸۲۳	۰/۸۲۳	۰/۷۹۴	۰/۹۶۰	۰/۹۶۳
۰/۶۲۱	۰/۷۵۵	-۱/۶۷۵	-۱/۰۳۳	-۰/۱۶۹	۰/۲۳۹	۰/۶۲۱	۰/۷۵۵	-۱/۶۷۵	-۱/۰۳۳	-۰/۱۶۹	۰/۲۳۹
۰/۴۷۱	۰/۵۵۱	۰/۱۱۸	-۰/۰۴۸	۰/۸۵۸	۰/۸۲۸	۰/۴۷۱	۰/۵۵۱	۰/۱۱۸	-۰/۰۴۸	۰/۸۵۸	۰/۸۲۸
۰/۹۸۵	۰/۹۸۷	۰/۹۸۲	۰/۹۷۹	۰/۹۹۵	۰/۹۹۶	۰/۹۸۵	۰/۹۸۷	۰/۹۸۲	۰/۹۷۹	۰/۹۹۵	۰/۹۹۶
۰/۹۶۷	۰/۹۶۷	۰/۹۶۷	۰/۸۶۷	۰/۹۵۴	۰/۹۶۳	۰/۹۶۷	۰/۹۶۷	۰/۹۶۷	۰/۸۶۷	۰/۹۵۴	۰/۹۶۳
۰/۹۶۳	۰/۹۶۸	۰/۹۶۸	۰/۹۴۱	۰/۹۸۶	۰/۹۸۴	۰/۹۶۳	۰/۹۶۸	۰/۹۶۸	۰/۹۴۱	۰/۹۸۶	۰/۹۸۴
۱۱/۰۲۳	۹/۴۸۰	۱۷/۳۲۴	۱۸/۰۹۱	۷/۴۱۸	۸/۰۹۵	۱۱/۰۲۳	۹/۴۸۰	۱۷/۳۲۴	۱۸/۰۹۱	۷/۴۱۸	۸/۰۹۵
۱۱/۰۵۶	۹/۴۷۹	۱۷/۳۴۶	۱۸/۰۷۶	۷/۴۴۶	۸/۰۹۶	۱۱/۰۵۶	۹/۴۷۹	۱۷/۳۴۶	۱۸/۰۷۶	۷/۴۴۶	۸/۰۹۶
۱۶/۵۲۲	۱۵/۳۱۶	۲۳/۴۰۶	۲۴/۲۰۴	۱۳/۷۱۲	۱۴/۴۲۹	۱۶/۵۲۲	۱۵/۳۱۶	۲۳/۴۰۶	۲۴/۲۰۴	۱۳/۷۱۲	۱۴/۴۲۹
-۰/۰۷۱	-۰/۰۵۶	-۰/۱۱۷	-۰/۱۲۰	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۱	-۰/۰۷۱	-۰/۰۵۶	-۰/۱۱۷	-۰/۱۲۰	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۱
-۰/۰۶۵	-۰/۰۴۸	-۰/۱۲۲	-۰/۱۲۱	-۰/۰۲۲	-۰/۰۱۹	-۰/۰۶۵	-۰/۰۴۸	-۰/۱۲۲	-۰/۱۲۱	-۰/۰۲۲	-۰/۰۱۹
-۰/۱۲۲	-۰/۱۰۷	-۰/۱۸۵	-۰/۱۹۳	-۰/۰۷۳	-۰/۰۷۸	-۰/۱۲۲	-۰/۱۰۷	-۰/۱۸۵	-۰/۱۹۳	-۰/۰۷۳	-۰/۰۷۸

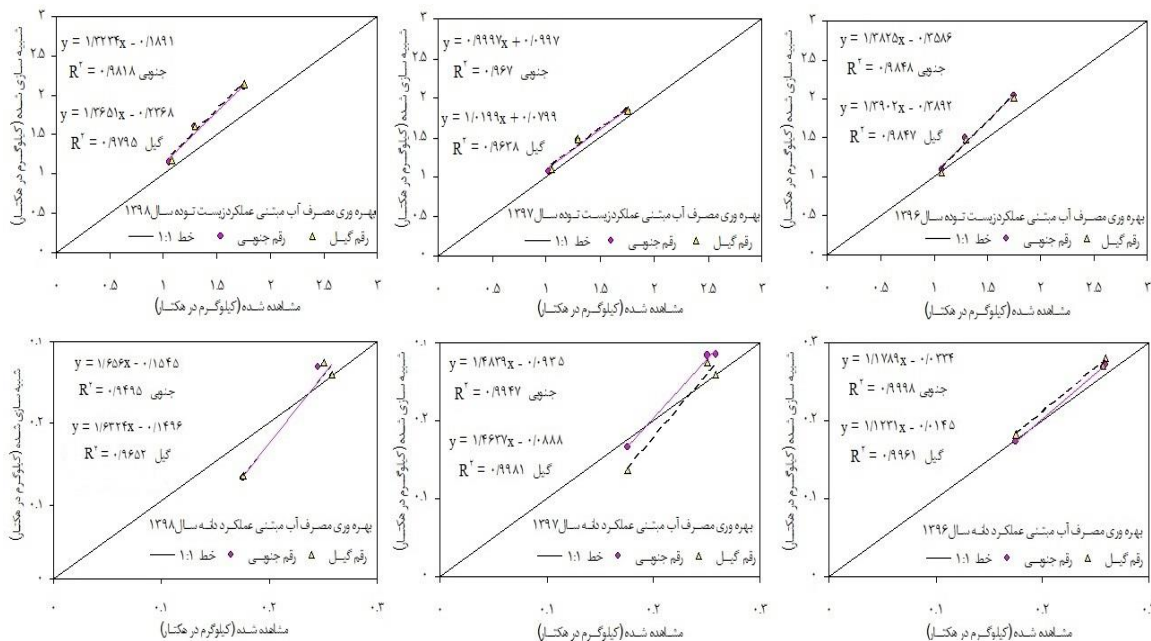
WP<sub>T</sub>: میزان بهره‌وری بر اساس تعرق، WP<sub>ET</sub>: میزان بهره‌وری بر اساس تبخیر تعرق، WP<sub>I+R</sub>: میزان بهره‌وری آب بر اساس آب مصرفی (آبیاری+بارندگی).

مدل در تیمار آبیاری تا زمان غلاف‌دهی، مقدار بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد زیست‌توده را بیشتر از مقدار مشاهده شده تخمین زد و کاهش آب در ابتدای رشد و تحت شرایط آبیاری تا زمان گلدهی، موجب افزایش مقدار خطای متوسط در بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد دانه در رقم جنوبی گردید. بهره‌وری بر اساس میزان تعرق برای گیاه بادام‌زمینی، متغیر قابل سنجشی می‌باشد که به شرایط محیطی بستگی دارد. مقایسه مقادیر بهره‌وری آب بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی توسط مدل و نتایج به دست آمده از مقادیر اندازه‌گیری شده نشان داد که هر دو رقم جنوبی و گیل می‌توانند در منطقه مورد مطالعه توصیه شوند. در پژوهشی Zhang و همکاران (۲۰۲۱) گزارش دادند که کمبود آب، ماده خشک و عملکرد بادام‌زمینی را کاهش می‌دهد و در شرایط تنش آبی، بهره‌وری مصرف آب افزایش پیدا می‌کند، اما افزایش بهره‌وری مصرف آب در شرایط خشکی با افزایش تولید همراه نیست و میان این دو رابطه عکس وجود دارد، چرا که افزایش بهره‌وری مصرف آب ناشی از کاهش تعرق است و از افزایش تولید ناشی نمی‌شود. تا هنگامی که در شرایط تنش آبی، امکان افزایش ظرفیت فتوسنتزی به دلیل بهره‌وری مصرف آب محدودیت‌های ژنتیکی و محیطی وجود نداشته باشد، بیشتر با کاهش تعرق همراه است و با توجه به وابستگی عملکرد به تعرق، این مساله به کاهش عملکرد می‌انجامد (Qin et al., 2017). در شکل‌های (۲ و ۳) مقایسه مقادیر عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه، بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر

عملکرد زیست توده و دانه در شرایط مشاهده شده و شبیه سازی شده به وسیله مدل، در دو رقم جنوبی و گیل با خط ۱:۱ نشان داده شده است. در نتایج مشاهده شد که در مدل WOFOST، شبیه سازی عملکرد زیست توده و دانه در شرایط ایده آل بود و نقاط مربوطه، نزدیک به خط ۱:۱ هستند و می توان شبیه سازی عملکرد زیست توده و دانه را برای مراحل مختلف رشد در سال های مورد مطالعه، مطلوب ارزیابی کرد.



شکل ۲. مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شده عملکرد زیست توده و دانه در دو رقم بادام زمینی



شکل ۳. مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شده بهره وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد زیست توده و دانه در دو رقم بادام زمینی

## نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از ارزیابی مدل WOFOST نشان داد که این مدل قادر است با دقت قابل قبولی مراحل رشد بادام-زمینی را شبیه‌سازی کند. در آزمایش مزرعه‌ای، با افزایش مقدار آب آبیاری، عملکرد دانه و تبخیر- تعرق ارقام افزایش یافت و مدل توانست روند تغییرات این صفات را در سطوح مختلف آب مطابق با نتایج مشاهده شده در مزرعه شبیه‌سازی کند؛ اما با افزایش تنش کم‌آبی، درصد خطای نسبی شبیه‌سازی شده در شرایط تنش بیشتر از شرایط آبیاری شده بود. خطای نسبی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در برآورد میزان عملکرد زیست-توده در سال ۱۳۹۶ بین ۱/۳- تا ۱۶/۵ درصد و در سال ۱۳۹۷ بین ۹/۶ تا ۲۴/۲ درصد و در سال ۱۳۹۸ بین ۴ تا ۱۴/۴ درصد بود و در برآورد عملکرد دانه در سال ۱۳۹۶ بین ۱/۲- تا ۸ درصد، در سال ۱۳۹۷ بین ۵/۱- تا ۱۳/۲ درصد و در سال ۱۳۹۸ بین ۲۲/۶- تا ۲۴/۰- درصد بود.

## سپاسگزاری

بدین‌وسیله از دوست و همکار عزیز جناب آقای دکتر نوری که اینجانب را در نگارش مقاله یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

## Reference:

- Abdzad Gohari, A. & Sadeghipour, A. (2019). Weed management in Peanut fields. Andishmandan Pars Publications, 62 p. [in Persian]
- Abdzad Gohari, A. (2021a). Investigations of yield, production function and water productivity of two Peanut cultivars under conditions deficit irrigation in different irrigation methods. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 467-482. [in Persian]
- Abdzad Gohari, A. (2021b). Investigation of the effect of deficit irrigation and two irrigation methods on yield and yield components of two Peanut cultivars. Journal of Water Research in Agriculture (Soil and Water Science), 35(1), 61-73. [in Persian]
- Abdzad Gohari, A., Tafteh, A., Ebrahimipak, N., & Babazadeh, H. (2022). Estimation of Stress Coefficients, Plant Coefficients and Yield Response to Water in Peanut under Different Levels Irrigation. Iranian Journal of Soil and Water Research, 52 (11), 2763-2774. [in Persian]
- Arunyanark, A., Jogloy, S., Akkasaeng, C., Vorasoot, N., Nageswara Rao, R.C., Wright, G.C. & Patanothai, A. (2009). Association between aflatoxin contamination and drought tolerance traits in peanut. Field Crops Research, 114, 14-22.
- Arya, S. S., Salve, A. R., & Chauhan, S. (2015). Peanuts as Functional Food: A Review. Journal of Food Science and Technology, 53, 31-41.
- Babazadeh, H., Abdzad Gohari, A., & Khonok, A. (2018). Effect of Different Amounts of Water and Nitrogen fertilizer on Peanut Yield and Its Components. Journal of Water Research in Agriculture, 31 (4), 571-584. [in Persian]
- Boogaard, H.L., Diepen, C. A., Van Rotter, R. P., Cabrera, J. M.C.A., & Van Laar, H.H. (1998). User's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center 1.5. Technical document 52, DLO Winand Staring Centre, Wageningen, Netherland.
- Bouman, B.A.M., Van Keulen, H.H., Van Laar, H., & Rabbinge, R. (1996). The school of de Wit crop growth simulation models: A pedigree and historical overview. Agricultural Systems, 52, 171-198.
- Dong, Y.J., Chen, W.F., Zhuge, Y.P., Song, Y.L., Hu, G.Q., Wan, Y.S., Liu, F.Z., & Li, X. (2018). Effect of application of exogenous nitric oxide at different critical growth stages in alleviating Fe deficiency chlorosis of peanut growing in calcareous soil. Journal of Plant Nutrition, 47, 867-887.
- Han, L.Z., Liu, C., & Zhou, J. (2019). Effects of inoculation with growth-promoting bacteria on peanut rhizosphere soil microorganism and nutrient elements. In: Genom. Applied Biology, 38, 3065-3073.

- Jamieson, P.D., Porter, J.R., & Wilson, D.R. (1991). A test of the computer simulation model ARCWHEAT on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crops Research*, 27, 337-350.
- Nataraj, K.C., Babu, M.V., Narayanaswamy, G., Bhargavi, K., Reddy, B.S., Rao, C.S. (2016). Nutrient management strategies in groundnut-based crop production systems in dry-land regions of southern Andhra Pradesh. *Indian Journal of Fertiliser*, 16 (10), 58-75.
- Pimratch S, Jogloy S, Vorasoot N, Toomsan B, Patanothai A, Holbrook CC. (2008). Relationship between biomass production and nitrogen fixation under drought-stress conditions in peanut genotypes with different levels of drought resistance. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194, 15-25.
- Qin, F.F., & Ci, D.W., (2017). Previous drought alters physiological responses to subsequent drought stress in peanut seedlings. *Acta Ecologica Sinica*, 37 (24), 8486–8498.
- Rabbinge, R. & Van Latesteijn, H.C. (1992). Long-term options for land use in the European Community. *Agricultural Systems*, 40,195-210.
- Reddy, T.Y., Reddy, V.R., & Anbumozhi, V. (2003). Physiological responses of groundnut (*Arachis hypogaea* L) to drought stress and its amelioration: a critical review. *Plant Growth Regulation*, 41:75-88.
- Rotter, R., Van Keulen, H., & Jansen, M.J.W. (1997). Variations in yield response to fertilizer application in the tropics: I. quantifying risks for small holders based on crop growth simulation. *Agricultural Systems*, 53, 41-68.
- Shi cheng, Z. JiLong, L. Xin-Peng, X. Xiao-Mao, L. Moro, L., Shao-Jun, R. Ignacio, Q., & Ping, H.E. (2021). Peanut Yield, Nutrient Uptake and Nutrient Requirements in Different Regions of China. *Journal of Integrative Agriculture*. 20(9), 2502-2511.
- Singh, A. K., Tripathy, R., & Chopra, U.K. (2008). Evaluation of CERES Wheat and Crop System models for water-nitrogen interactions in wheat crop. *Agricultural Water Management*, 95, 776-786.
- Thangthong, N., Sanun Jogloy., S. Punjansing, T. Craig, K. Kesmala, T. & Vorasoot, N. (2019). Changes in Root Anatomy of Peanut (*Arachis hypogaea* L.) under Different Durations of Early Season Drought. *Agronomy*, 9(215), 1-18.
- Tojo Soler, CM., Suleiman, A., Anothai, J., Flitcroft, I., & Hoogenboom, G. (2013). Scheduling irrigation with a dynamic crop growth model and determining the relation between simulated drought stress and yield for Peanut. *Irrigation Science*, 31, 889-901.
- Van Ittersum, M.K., Leffelaar, P.A., Van Keulen, H., Kropff, M.J., Bastiaans, L., & Goudriaan, J. (2003). On approaches and applications of the Wageningen crop models. *European Journal Agronomy*, 18, 201-234.
- Van Keulen, H., & Van Diepen, C.A. (1990). Crop growth models and agroecological characterization. In: Scaife, A. (ed.): *Proceedings of the first congress of the European Society of Agronomy*, 5-7 December 1990, Paris. CEC, ESA, INRA. 2, 1-16.
- Walpole, R.E., Myers, R.M. & Myers, S.L. (1998). *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*. (6th ed) New Jersey, Prentice Hall International, 823 pp.
- Willmott, C.J. (1982). Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of American Meteorology Society*, 63, 1309-1313.
- Wolf, J., & Van Diepen, C.A. (1994). Effects of climate change on silage maize production potential in the European Community. *Agric. Forest Meteorol.* 71(12), 33–60.
- Yang, J.M., Yang, J.Y., Liu, S., & Hoogenboom, G. (2014). An evaluation of the statistical methods for testing the performance of crop models with observed data. *Agricultural Systems*, 127, 81-89.
- Zhang, J., Wang, Q., Xia, G., Wu, Q., & Chi., D. (2021). Continuous regulated deficit irrigation enhances peanut water use efficiency and drought resistance. *Agricultural Water Management*. 255, 106997.
- Zhao, Y.J., Liu, J.L., Zhang, Y.B., Liu, S., & Sun., H.J. (2019). The response of spring peanut to nitrogen, phosphorus and potassium in Eastern Hebei Province. *Acta Agriculturae. Boreali Sinica*, 34, 192-198.



Print ISSN: 2251-7480  
Online ISSN: 2251-7400

Journal of  
**Water and Soil  
Resources Conservation  
(WSRCJ)**

**Web site:**  
<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

**Email:**  
[iauwsrcj@srbiau.ac.ir](mailto:iauwsrcj@srbiau.ac.ir)  
[iauwsrcj@gmail.com](mailto:iauwsrcj@gmail.com)

**Vol. 12  
No. 1 (45)  
Autumn 2022**

**Received:**  
2022-04-06

**Accepted:**  
2022-07-12

**Pages: 109-123**

## The Effect of Water Use Management in Growth Different Stages on Two Peanut Cultivars Using WOFOST Model

Ali Abdzad Gohari<sup>1\*</sup>

On-Farm Water Management Department, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

\*Corresponding author email: [abdzadgohari\\_a@yahoo.com](mailto:abdzadgohari_a@yahoo.com)

### Abstract:

**Background and Aim:** One of the most important factors limiting peanut production is water stress and shortage in plant growth stages. Therefore, crop simulation models can be useful for predicting yield and assessing the effect of water stress on plant growth and development. In this study, the WOFOST model was used to simulate biomass yield, seed yield and water use productivity in peanut. As the peanut modeling research has not been well-addressed in Iran, thus, the purpose of this study is to evaluate the ability of WOFOST model to simulate the yield of two peanut cultivars under irrigation conditions at different growth stages in Astaneh Ashrafiyeh region.

**Method:** This experiment was performed in the form of split plots in a randomized complete block design with three iterations. The main treatment included irrigation until the beginning of flowering time ( $I_1$ ), irrigation until the beginning of pod time ( $I_2$ ) and full irrigation ( $I_3$ ), and the sub-treatment included two cultivars of Jonobi peanut ( $C_1$ ) and Guil ( $C_2$ ). The WOFOST version 7.1.3 model was employed. In this model, crop growth simulation is based on carbon cycle, which models crop growth in three situations: absence of limiting factor, water limitation, and nutrient limitation.

**Results:** Model evaluation showed that the root mean square between the observed and simulated values in estimating biomass yield for Jonobi and Guil cultivars in 2017 were 0.554 and 0.501%, in 2018 were 0.872 and 0.897%, and in 2019 were 0.449 and 0.466%, respectively. The root of the mean squares between the observed and simulated values in estimating seed yield for Jonobi and Guil cultivars in 2017 were 0.052 and 0.065%, in 2018 were 0.132 and 0.131%, and in 2019 were 0.101 and 0.096%, respectively. The mean values of relative error between the observed and simulated values in 2017, 2018 and 2019 for biomass yield were 10.2, 18.1, and 7.7%, and for seed yield were 4.35, 6.4 and, -4.5%, respectively; also the efficiency coefficient index ranged from 0.442 to 0.960.

**Conclusion:** Evaluation of simulated and observed values on biomass yield and seed yield demonstrate that RMSE,  $RMSE_n$  and other statistical indexes were acceptable and the WOFOST model simulated two peanut cultivars accurately in different irrigation treatments.

**Keywords:** Crop modeling, Evapotranspiration, Water stress, Water use productivity

