

شبیه‌سازی رطوبت خاک در شرایط کم‌آبیاری با استفاده از مدل DSSAT

حمزه دوکوهکی^۱، مهدی قیصری^{۲*}، سید فرهاد موسوی^۳ و سید مجید میرلطیفی^۴

(E-mail: gheisari@yahoo.com)

(تاریخ دریافت: ۹۰/۱۰/۱۸ - تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۳/۲۷)

چکیده

استفاده از مدل‌های گیاهی در شرایط کم‌آبیاری نیاز به مطالعه دارد. هدف از انجام این تحقیق، بررسی کارایی و دقت بسته نرم‌افزاری DSSAT در برآورد رطوبت پروفیل خاک تحت دو سطح آب کاربردی در مزرعه ذرت علوفه‌ای می‌باشد. دو تیمار آبیاری شامل یک تیمار کم آبیاری (SMD ۰/۷۵) و یک تیمار آبیاری کامل (SMD)، با ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژنه در هکتار برای گیاه ذرت علوفه‌ای در دو سال زراعی اجرا شد. رطوبت خاک در لایه‌های مختلف پروفیل خاک به صورت روزانه اندازه‌گیری شد. پس از واسنجی مدل، نتایج شبیه‌سازی رطوبت در نیم‌رخ خاک با مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه مقایسه شد. نتایج نشان داد که RMSE مدل در برآورد رطوبت برای تیمارهای مختلف، بسته به عمق بین ۱/۷ تا ۱۳/۶ درصد رطوبت حجمی است. خطای متوسط مجذور مربعات استاندارد برای تیمار کم آبیاری در برآورد کل آب خاک ۹/۸۸۷ و برای تیمار آبیاری کامل ۱۳/۰۷۶ درصد بود. همچنین خطای سیستماتیک مدل در برآورد کل آب در نیم‌رخ خاک بین ۰/۲ تا ۴/۱ سانتی‌متر بود. از طرفی، همواره بیشترین خطای مدل در برآورد رطوبت در اولین لایه از پروفیل خاک رخ داده است. به‌طور کلی، با توجه به ماهیت حرکت آب در خاک و نتایج به دست آمده، بسته نرم‌افزاری DSSAT برای استفاده در شرایط کم‌آبیاری قابل توصیه می‌باشد.

کلمات کلیدی: کم‌آبیاری، ماژول آب و خاک، مدل‌های گیاهی، CERES-Maize، DSSAT

-
- ۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان - ایران
 - ۲ - استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان - ایران (نویسنده مسئول مکاتبات*)
 - ۳ - استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان - ایران
 - ۴ - دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران - ایران

مقدمه

خشک ارزیابی شد و نتایج آن نشان داد که مدل در رطوبت ناکافی خاک، شبیه‌سازی نامناسبی از رشد گیاه دارد (۱۶). محققان دیگر مدل اصلی CERES-Maize را با اصلاح زیربرنامه حرکت آب در خاک برای خاک‌های لوم سیلنی و لوم شنی ویرایش کردند و آن را CERES2WF نامیدند. آنها دریافتند که مدل اصلی CERES-Maize مقدار آب خاک را با متوسط خطای بین ۳/۳۱- تا ۵/۶ درصد پیش‌بینی می‌کند، در صورتی که مدل جدید CERES2WF در برآورد رطوبت خاک خطای بین ۱/۶۵- تا ۵/۶ درصد داشت (۸). در تحقیقی دیگر، با کاربرد مدل CERES-Maize در دشت‌های شمال چین با آب و هوای گرم و نیمه مرطوب گزارش شد که این مدل در سال‌های خشک، عملکرد محصول را کمتر و در سال‌های مرطوب بیشتر از مقدار مشاهده‌ای برآورد می‌نماید، اما در سال‌هایی که بارندگی به حد نرمال نزدیک بود، برآورد بسیار خوب بود (۲۷). در ادامه این بررسی‌ها، محقق دیگری ماژول آب و خاک جدیدی را برای DSSAT ارائه کرد. وی به وسیله رابطه اصلاح شده داری، حرکت آب در خاک را محاسبه کرد. نتایج مطالعات او نشان داد که ماژول جدید آب و خاک نتایج بهتری را ارائه می‌دهد و دلیل این برتری را بهبود روش‌های محاسبه شار جریان به سمت بالا و پایین عنوان کرد (۷).

در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا، تولیدات زراعی به شدت به آبیاری وابسته است. به جهت همین وابستگی در صورتی که آبیاری از نظر مقدار و توزیع زمانی مطلوب نباشد، میزان محصول کاهش خواهد یافت. به همین سبب، مدل‌هایی که بتوانند شرایط رشد گیاه را در شرایط مختلف آب کاربردی به خوبی شبیه‌سازی کنند، می‌توانند به عنوان یک ابزار ارزشمند در جهت مدیریت آبیاری مورد استفاده قرار گیرند (۵ و ۲۳). با توجه به قرار گرفتن حدود یک سوم از کشورهای جهان در محدوده خشک و نیمه خشک و عدم کفایت منابع آب، لزوم به کارگیری روش‌های مدیریتی همچون کم‌آبیاری در این شرایط مشخص است. با توجه به اهمیت رطوبت خاک در مدل‌های گیاهی و استفاده از مدل‌هایی همچون مدل DSSAT، به وضوح ضرورت انجام تحقیق و بررسی در مورد عملکرد این مدل‌ها در برآورد

کمبود آب همواره به عنوان یکی از مهم‌ترین فاکتورهای محدودکننده در تولیدات گیاهی در سرتاسر جهان مطرح بوده است. به دلیل امکان تغییرات آب و هوایی و رقابت فعالیت‌های انسانی بر سر منابع آب، صنعت کشاورزی نیازمند بررسی و جستجوی راهکارهای مدیریتی مناسب جهت افزایش کارایی آب است (۲۳). مطالعات مزرعه‌ای برای در نظر گرفتن تأثیر راهکارهای مدیریت آب بر تولید محصولات زراعی یک روش کلاسیک و دقیق است. با توجه به این‌که این روش هزینه‌بر و وقت‌گیر است، عموماً بررسی سناریوهای مختلف مدیریتی در شرایط آب و هوایی متفاوت، بافت‌های متفاوت خاک و تاریخ‌های مختلف کشت در مزرعه ممکن نیست. به همین سبب، مدل‌های گیاهی توسعه یافته‌اند تا بتوانند برای سناریوهای مختلف، رشد گیاه را شبیه‌سازی کنند. از طرف دیگر، طی ۲۵ سال گذشته مدل‌های گیاهی ثابت کرده‌اند که می‌توانند به عنوان یک ابزار قدرتمند، داده‌های آزمایشگاهی تهیه شده تحت شرایط خاص آب و هوا و خاک را برای کشت در دیگر شرایط محیطی تعمیم دهند. مدل‌سازی گیاهی باعث کاهش عملیات میدانی برای رسیدن به راهکارهای کارآمدتر مدیریتی در درازمدت می‌شود (۴ و ۹).

بسته نرم‌افزاری DSSAT^۱ شامل ۲۸ مدل گیاهی به طور گسترده در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا این مدل دقیق، ساده و کارآمد است و نیاز به داده‌های ورودی کمی دارد. مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی مانند DSSAT از روش‌های ساده شده و تجربی جهت محاسبه رطوبت روزانه خاک استفاده می‌کنند. از طرفی، این ساده‌سازی‌ها قابلیت تحلیل فرایند آب و خاک مدل را کاهش می‌دهد (۲۲). مدل‌های گیاهی پیش از استفاده جهت مدیریت آبیاری، می‌بایست برای مناطق خشک و نیمه خشک دنیا مورد آزمایش کامل قرار گیرند (۵ و ۱۷). از این‌رو، مدل‌های گیاهی موجود در بسته نرم‌افزاری DSSAT و همچنین ماژول^۲ آب و خاک این مدل بارها و بارها در سرتاسر جهان مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته‌اند. مدل CERES-Maize برای مناطق نیمه

1 - Decision Support System for Agrotechnology Transfer

2 - Module

زیست‌توده در طی دوره رشد و همچنین حداکثر شاخص سطح برگ و وزن زیست‌توده نهایی در زمان برداشت اندازه‌گیری شد. قطر ساقه و ارتفاع بوته در زمان برداشت اندازه‌گیری شد. تمام مراحل رویشی و زایشی ذرت طی دوره رشد ثبت شد. داده‌های هواشناسی مورد نیاز از ایستگاه کلیماتولوژی ورامین که در فاصله ۵۰۰ متری طرح قرار داشت اخذ گردید (۲ و ۳). خصوصیات خاک منطقه مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است.

مدل DSSAT

داده‌های هواشناسی شامل تابش خورشیدی در بالای پوشش گیاهی یا ساعات آفتابی، ماکزیمم و مینیمم دمای هوا در بالای گیاه و همچنین بارندگی به صورت روزانه در فایل آب و هوای مدل استفاده شد. خصوصیات نگهداری آب در خاک، چگالی ظاهری و خصوصیات فیزیکی خاک در فایل خاک مدل ثبت شد. خصوصیات مدیریتی گیاه شامل نام و نوع گونه کشت شده، زمان کاشت، عمق و روش کاشت، فاصله و جهت کاشت، تراکم کشت، فاکتورهای مدیریت آب آبیاری شامل روش و میزان آبیاری، میزان و روش کاربرد کود و نوع کود کاربردی و زمان برداشت در فایل X ثبت گردید. فایل‌های A و T با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای تهیه شدند.

ماژول SPAM^۱ موجود در مدل DSSAT، وظیفه محاسبه میزان تبخیر و تعرق پتانسیل، میزان پتانسیل برداشت آب توسط ریشه و جداسازی میزان تبخیر از تعرق و همچنین تعیین میزان تعرق واقعی گیاه را بر عهده دارد. در این مطالعه، میزان تبخیر و تعرق توسط مدل، براساس رابطه پریستلی تیلور تعیین شد و به کمک روش ارائه شده توسط ریچی جداسازی تبخیر از تعرق صورت گرفته است (۱۷ و ۱۸).

ماژول آب و خاک

ماژول آب و خاک CERES-Wheat که برای استفاده تمام مدل‌های گیاهی DSSAT تعمیم یافته است، از روش یک‌بعدی ریچی بهره می‌برد (۱۹). در این روش، تغییرات روزانه رطوبت ناشی از نفوذ باران یا آبیاری، نفوذ عمقی، جریان غیراشباع رو به بالا، تبخیر از سطح خاک و برداشت آب توسط گیاه محاسبه می‌شود. این مدل برای محاسبه میزان

رطوبت آب در خاک در شرایط کم‌آبایی احساس می‌شود. هدف از انجام این تحقیق، بررسی کارایی و دقت بسته نرم‌افزاری DSSAT در برآورد رطوبت پروفیل خاک تحت دو سطح آب کاربردی در مزرعه ذرت علوفه‌ای می‌باشد.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایشی مزرعه

طرح آزمایشی در قطعه زمینی با ابعاد ۸۵ × ۲۰۵ متر واقع در ایستگاه تحقیقاتی سازمان تحقیقات کشاورزی ورامین در دو سال زراعی (۱۳۸۲ و ۱۳۸۳) انجام گردید. مشخصات ایستگاه مذکور شامل ارتفاع از سطح دریا ۹۷۳ متر، طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۲° ۳۸' ۵۱° شرقی و ۳۵° شمالی می‌باشد. طرح آزمایشی در دو سطح آبیاری شامل یک سطح تنش آبی با ضریب کمتر از تخلیه مجاز رطوبتی (SMD ۰/۷۵) W₁ و یک سطح آبیاری کامل (SMD) W₂، در سه تکرار در قالب بلوک‌های نواری اجرا گردید (۱ و ۱۰). نیاز ذرت به مواد غذایی به طور کامل با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار تأمین شد، لذا در طول دوره رشد هیچ‌گونه تنش تغذیه‌ای به گیاه وارد نشد. تا زمان استقرار کامل گیاه، تمام تیمارها یکسان آبیاری شدند. پس از آن، تیمارها تا پایان فصل رشد ذرت اعمال گردیدند. زمان آبیاری تیمار شاهد و تیمار کم‌آبایی یکسان بود. زمانی که ۵۰ درصد آب قابل استفاده از عمق توسعه ریشه ذرت در تیمار شاهد تخلیه شد، تمام تیمارها آبیاری شدند. عمق آب آبیاری در تیمار شاهد برای پر نمودن کمبود آب خاک در عمق توسعه ریشه تا حد رطوبت ظرفیت زراعی محاسبه گردید و ۷۵ درصد آن مقدار به تیمار کم‌آبایی داده شد. از یک سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت - آبیاش متحرک برای آبیاری استفاده شد. برای مدیریت آبیاری در سال اول، رطوبت خاک به روش وزنی تا عمق ۷۰ سانتی‌متری دو یا سه بار در دور آبیاری (ترجیحاً قبل و بعد از آبیاری) و در سال دوم، با استفاده از نوترون‌متر در نیم‌رخ خاک تا عمق ۱۸۰ سانتی‌متری به صورت روزانه اندازه‌گیری شد. منبع نیتروژن کود اوره بود و از طریق سیستم آبیاری با مدیریت کود آبیاری طی دوره رشد در اختیار گیاه قرار داده شد. شاخص سطح برگ و وزن

زهکشی زمانی که لایه بالاتر رطوبتی بیش از میزان ظرفیت زراعی داشته باشد، از روش آبیاری استفاده می‌کند. میزان جریان غیراشباع رو به بالا نیز براساس تخمین میزان

پخشیدگی و اختلاف میزان رطوبت در لایه‌های مجاور محاسبه می‌شود (۱۱ و ۱۸).

جدول ۱ - خصوصیات خاک مزرعه مورد مطالعه

لایه	عمق (cm)	رس (%)	سیلت (%)	وزن مخصوص ظاهری (g/cm ³)	ظرفیت زراعی (cm ³ /cm ³)	نقطه پژمردگی (cm ³ /cm ³)	ظرفیت اشباع خاک (cm ³ /cm ³)	مواد آلی (%)	بافت خاک
۱	۵	۳۱/۰	۴۳	۱/۳۷	۰/۳۰	۰/۱۴	۰/۴۴	۰/۶۶	لوم رسی
۲	۱۵	۳۱/۰	۴۳	۱/۳۷	۰/۳۰	۰/۱۴	۰/۴۵	۰/۶۶	لوم رسی
۳	۲۰	۳۲/۰	۴۵	۱/۳۷	۰/۳۱	۰/۱۵	۰/۴۵	۰/۶۶	لوم رسی
۴	۳۰	۳۲/۰	۴۵	۱/۳۷	۰/۳۱	۰/۱۵	۰/۴۵	۰/۷۳	لوم رسی
۵	۴۰	۳۲/۰	۴۵	۱/۳۷	۰/۳۱	۰/۱۵	۰/۴۵	۰/۷۳	لوم رسی
۶	۵۰	۳۱/۵	۴۴	۱/۳۷	۰/۳۰	۰/۱۵	۰/۴۵	۰/۴۷	لوم رسی
۷	۶۰	۳۱/۵	۴	۱/۳۷	۰/۳۰	۰/۱۵	۰/۴۵	۰/۴۷	لوم رسی
۸	۷۰	۳۲/۰	۴۴	۱/۳۷	۰/۳۰	۰/۱۵	۰/۴۵	۰/۴۵	لوم رسی

شبه‌سازی شده و مشاهده‌ای می‌باشد و از رابطه زیر محاسبه می‌شود (۲۳):

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

$$NRMSE = \frac{RMSE \times 100}{\bar{O}} \quad (2)$$

در این رابطه‌ها، P_i مقادیر شبه‌سازی، O_i مقادیر مشاهده شده، N تعداد مشاهده‌ها و \bar{O} مقدار میانگین مشاهده‌ها می‌باشد. مقدار NRMSE برحسب درصد بیان می‌شود و نسبت اختلاف میان داده‌های مشاهده‌ای و شبه‌سازی به متوسط مشاهده‌ها را نشان می‌دهد. اگر مقدار NRMSE کمتر از ۱۰ درصد باشد، شبه‌سازی بسیار خوب، بیشتر از ۱۰ درصد و کمتر از ۲۰ درصد باشد، شبه‌سازی خوب، بیش از ۲۰ درصد و کمتر از ۳۰ درصد شود، شبه‌سازی نسبتاً خوب و بالای ۳۰ درصد باشد، شبه‌سازی ضعیف ارزیابی می‌شود (۲۵). شاخص آماری توافق ویلموت (d) دارای مقداری بین صفر تا یک است که مقدار یک بیانگر بهترین برازش می‌باشد و از رابطه زیر محاسبه می‌شود (۲۵):

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (3)$$

پارامترهای آلیبدو، ضریب بازتابش سطح خاک (SALB)، پارامتر محدودکننده فاز اول تبخیر از سطح خاک (U)، پارامتر CN و ضریب زهکشی (SWCON) نیز در این ماژول استفاده شده‌اند. داده‌های هواشناسی، از جمله بارندگی روزانه، دمای هوا، تشعشعات خورشیدی و همچنین مقدار آبیاری نیز برای انجام محاسبات توسط ماژول فوق مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۲ و ۱۸).

واستجی مدل CERES-Maize

برای استفاده از مدل CERES-Maize برای ذرت علوفه‌ای در یک منطقه جدید مانند ورامین لازم است ابتدا ضرایب ژنتیکی این رقم تخمین زده شوند. در این تحقیق، از ضرایب ژنتیکی استخراج شده در مطالعات پیشین برای ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ استفاده شد (۱).

ارزیابی نتایج خروجی مدل

مقایسه نتایج میدانی و شبه‌سازی شده توسط مدل با استفاده از شاخص‌های آماری انجام شد. از پارامترهای آماری متوسط، حداقل و حداکثر و شاخص‌های آماری RMSE، NRMSE، d برای بررسی دقت شبه‌سازی استفاده شد. شاخص آماری RMSE بیانگر میانگین تفاوت بین داده

سطح خاک است، لذا می‌توان نتیجه گرفت که مشخصاً مدل در تخمین میزان تبخیر از سطح خاک با مشکل روبه‌رو است. منشأ این مشکل را می‌توان در تخمین نادرست میزان تبخیر و تعرق و یا در روش نادرست جداسازی تبخیر و تعرق از یکدیگر دانست. البته محققین دیگر نیز استفاده از رابطه پریستلی تیلور را برای تخمین میزان تبخیر و تعرق یکی از منابع ایجادکننده خطا در تخمین رطوبت خاک توسط مدل CERES دانستند (۱۵ و ۲۰). روندی که در برآورد رطوبت توسط مدل در هر دو تیمار آبیاری و برای هر دو سال مشاهده می‌شود این است که در لایه‌های سطحی نیم‌رخ خاک برآورد رطوبت مطلوب نبوده است، اما از لایه سوم با افزایش عمق، دقت مدل در شبیه‌سازی رطوبت افزایش می‌یابد، به طوری که بالاترین دقت مدل در هر دو سال در لایه‌های شش و یا هفت و کمترین دقت مدل در لایه‌های یک و دو رخ داده است (جدول‌های ۳ و ۴).

نکته قابل ملاحظه‌ای که نتایج هر دو سال شبیه‌سازی نشان می‌دهد این است که با افزایش عمق آبیاری، از تیمار کم‌آبایی تا تیمار آبیاری کامل، برای یک لایه خاص، دقت مدل در برآورد رطوبت افزایش یافته است. با توجه به نحوه عملکرد مازول آب و خاک DSSAT می‌توان گفت این امر به سبب عدم تطابق مقدار FC و SAT استفاده شده در محاسبات با مقدار مزرعه‌ای باشد. مدل DSSAT امکان وقوع جریان آب خاک را در حالت اشباع به کمک پارامتر SAT و برای حالت غیراشباع به کمک پارامتر FC بررسی می‌کند. حال با این وجود، در صورت تخمین زیاد مقدار SAT و FC به ترتیب احتمال ایجاد جریان‌های اشباع و غیراشباع کاهش می‌یابد، لذا رطوبت محاسبه شده نسبت به مقدار واقعی همراه با کمی خطا خواهد بود. در نتیجه می‌توان گفت با افزایش عمق آبیاری احتمال به وقوع پیوستن این جریان‌ها بیشتر می‌شود و در نهایت دقت مدل در برآورد رطوبت افزایش می‌یابد. با در نظر گرفتن اینکه همواره این پارامترها دارای تغییرات مکانی و زمانی هستند و همچنین اندازه‌گیری آنها به صورت دقیق در مزرعه امکان‌پذیر نیست، لذا این خطا برای یک مدل کاربردی در سطح مزرعه ناچیز است.

پارامترهای d ، $RMSE_s$ (ریشه میانگین مربعات خطای سیستماتیک)، $RMSE_u$ (ریشه میانگین مربعات خطای غیرسیستماتیک) و $RMSE$ (ریشه میانگین مربعات خطا) برای ارزیابی کارایی مدل‌ها توسط محققین توصیه شده است (۲۵). طبق نتایج به دست آمده از دیگر تحقیقات، $RMSE$ از جمله بهترین پارامترها برای ارزیابی کارایی مدل است. محاسبه ریشه میانگین مربعات خطای سیستماتیک و غیرسیستماتیک نیاز به تعیین شیب و مقدار عرض از مبدأ حاصل از رگرسیون حداقل مجزورات دارد.

$$\bar{P} = a + bP_i$$

$$RMSE_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\bar{P}_i - O_i)^2}{N}} \quad (4)$$

$$RMSE_u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P}_i)^2}{N}} \quad (5)$$

P_i بهترین تخمین از مقدار پیش‌بینی شده را بیان می‌کند. همچنین $RMSE_u$ بیان می‌کند که چه مقدار از خطای حاصل از شبیه‌سازی به سبب فرایندهای اتفاقی بوده است (۲۲).

نتایج و بحث

ارزیابی کارایی مدل در تخمین رطوبت خاک می‌بایست از دو دیدگاه مورد بررسی قرار گیرد: توانایی مدل در شبیه‌سازی رطوبت در لایه‌های مختلف خاک و بررسی کارایی مدل در پیش‌بینی مقدار کل آب در پروفیل خاک.

شبیه‌سازی رطوبت در لایه‌های خاک

مقایسه نتایج مقادیر رطوبت شبیه‌سازی شده و مشاهده شده برای هر دو تیمار آبیاری در هفت لایه خاک برای سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ در جدول‌های (۳) و (۴) آورده شده است. شاخص‌های آماری $RMSE$ ، $NRMSE$ و d برای مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهده‌ای استفاده شدند. با توجه به نتایج به دست آمده، بیشترین مقدار $RMSE$ در هر دو تیمار و برای هر دو سال در لایه ابتدایی رخ داده است (جدول‌های ۳ و ۴). از آنجا که آن بخش از محاسبات که توسط مدل تنها برای لایه ابتدایی محاسبه می‌شود، تبخیر از

جدول ۳ - میزان رطوبت اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده به همراه شاخص‌های آماری برای دو تیمار آبیاری و در ۷ لایه در سال ۱۳۸۲

	لایه ۱	لایه ۲	لایه ۳	لایه ۴	لایه ۵	لایه ۶	لایه ۷	
W ₁ (0.75 SMD)	۰/۱۹۵	۰/۱۹۵	۰/۱۹۵	۰/۱۶۴	۰/۱۶۴	۰/۱۶۴	۰/۱۶۴	متوسط مقادیر مشاهده‌ای (cm ³ /cm ³)
	۰/۲۶۴	۰/۲۲۲	۰/۱۸۵	۰/۱۷	۰/۱۶۵	۰/۱۶۳	۰/۱۶۳	متوسط مقادیر شبیه‌سازی (cm ³ /cm ³)
	۰/۱۳۶	۰/۰۵۹	۰/۰۳۷	۰/۰۳۱	۰/۰۳۴	۰/۰۳	۰/۰۳	ریشه میانگین مربعات خطا (cm ³ /cm ³)
	۰/۴۳۵	۰/۶۱۸	۰/۷۳۶	۰/۳۹۲	۰/۰۹۵	۰/۰۶۴	۰/۰۶۳	شاخص تطابق
	۶۹/۷۴۴	۳۰/۲۵۶	۱۸/۹۷۴	۱۸/۹۰۲	۲۰/۷۳۲	۱۸/۲۹۳	۱۸/۲۹۳	ریشه میانگین مربعات خطای استاندارد (%)
W ₂ (SMD)	۰/۲۱۹	۰/۲۱۹	۰/۲۱۹	۰/۲۴۶	۰/۲۳۵	۰/۲۴۹	۰/۲۴۹	متوسط مقادیر مشاهده‌ای (cm ³ /cm ³)
	۰/۲۵۱	۰/۲۷۷	۰/۲۶۵	۰/۲۵۹	۰/۲۳۱	۰/۲۳۸	۰/۲۱۳	متوسط مقادیر شبیه‌سازی (cm ³ /cm ³)
	۰/۱۰۷	۰/۰۹۳	۰/۰۷۵	۰/۰۵۲	۰/۰۴۵	۰/۰۵۴	۰/۰۶۶	ریشه میانگین مربعات خطا (cm ³ /cm ³)
	۰/۶۲۸	۰/۶۰۶	۰/۷۲۶	۰/۷۸۵	۰/۸۲۳	۰/۸۰۸	۰/۷۰۴	شاخص تطابق
	۴۸/۸۵۸	۴۲/۴۶۶	۳۴/۲۴۷	۲۱/۱۳۸	۱۹/۱۴۹	۲۱/۶۸۷	۲۶/۵۰۶	ریشه میانگین مربعات خطای استاندارد (%)

لایه ۱: صفر تا ۵، لایه ۲: ۵ تا ۱۵، لایه ۳: ۱۵ تا ۲۰، لایه ۴: ۲۰ تا ۳۰، لایه ۵: ۳۰ تا ۴۰، لایه ۶: ۴۰ تا ۵۰ و لایه ۷: ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر

جدول ۴ - رطوبت اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده به همراه شاخص‌های آماری برای هر دو تیمار آبیاری و در ۷ لایه در سال ۱۳۸۳

	لایه ۱	لایه ۲	لایه ۳	لایه ۴	لایه ۵	لایه ۶	لایه ۷	
W ₁ (0.75 SMD)	۰/۲۴۹	۰/۲۳۳	۰/۲۱۶	۰/۱۹۸	۰/۲۰۶	۰/۱۹۵	۰/۱۹۷	متوسط مقادیر مشاهده‌ای (cm ³ /cm ³)
	۰/۲۲۴	۰/۲۲۵	۰/۲۱۶	۰/۱۹۶	۰/۱۸۴	۰/۱۸۴	۰/۱۸۵	متوسط مقادیر شبیه‌سازی (cm ³ /cm ³)
	۰/۰۷۴	۰/۰۳۹	۰/۰۳۴	۰/۰۱۸	۰/۰۲۵	۰/۰۱۷	۰/۰۲۱	ریشه میانگین مربعات خطا (cm ³ /cm ³)
	۰/۵۲۳	۰/۷۳۱	۰/۷۷۷	۰/۹	۰/۷۸۱	۰/۹۰۳	۰/۸۳۶	شاخص تطابق
	۲۹/۷۱۹	۱۶/۷۳۸	۱۵/۷۴۱	۹/۰۹۱	۱۳۶/۱۲	۸/۷۱۸	۱۰/۶۶۰	ریشه میانگین مربعات خطای استاندارد (%)
W ₂ (SMD)	۰/۲۶۸	۰/۲۷۷	۰/۲۷۶	۰/۲۷۸	۰/۲۷۳	۰/۲۵۸	۰/۲۵۳	متوسط مقادیر مشاهده‌ای (cm ³ /cm ³)
	۰/۲۶۸	۰/۲۸۳	۰/۲۸۹	۰/۲۸۶	۰/۲۶۹	۰/۲۵۲	۰/۲۳۹	متوسط مقادیر شبیه‌سازی (cm ³ /cm ³)
	۰/۰۶۴	۰/۰۳۸	۰/۰۳۸	۰/۰۲۴	۰/۰۲۵	۰/۰۲۶	۰/۰۲۲	ریشه میانگین مربعات خطا (cm ³ /cm ³)
	۰/۵۳۸	۰/۶۶۴	۰/۶۱۳	۰/۶۳۹	۰/۷۳۵	۰/۸۳۸	۰/۹۰۷	شاخص تطابق
	۲۳/۸۸۱	۱۳/۷۱۸	۱۳/۷۶۸	۸/۶۳۳	۹/۱۵۸	۱۰/۰۷۸	۸/۶۹۶	ریشه میانگین مربعات خطای استاندارد (%)

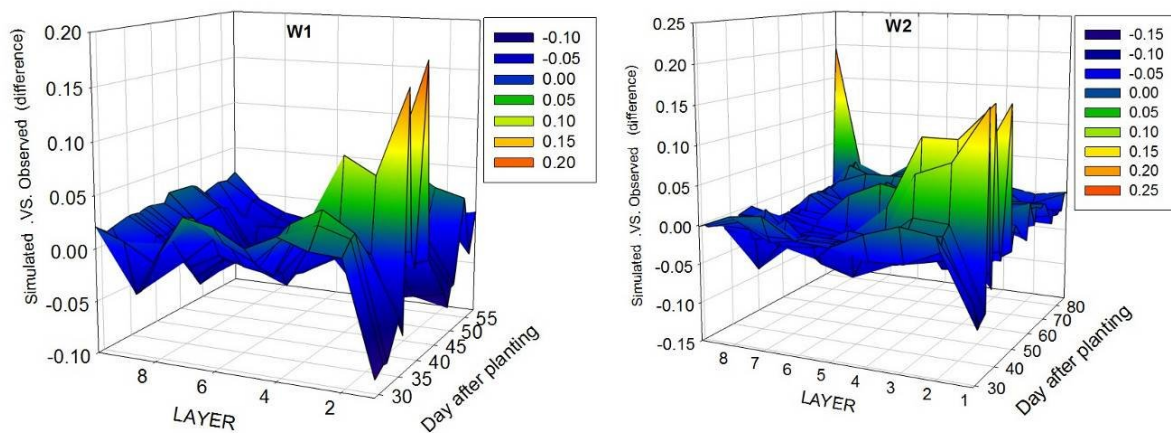
لایه ۱: صفر تا ۵، لایه ۲: ۵ تا ۱۵، لایه ۳: ۱۵ تا ۲۰، لایه ۴: ۲۰ تا ۳۰، لایه ۵: ۳۰ تا ۴۰، لایه ۶: ۴۰ تا ۵۰ و لایه ۷: ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر

از مقدار واقعی پیش‌بینی شده است، همین مطلب توسط محققین دیگر نیز گزارش شده بود (۶). حداکثر خطا در شبیه‌سازی برای هر دو تیمار عموماً در ابتدای فصل رشد و در لایه سطحی رخ داده است. میزان این اختلاف در لایه‌های میانی نیز دارای کمترین مقدار بوده است که می‌تواند تحت تأثیر دقت مدل در شبیه‌سازی تبخیر از سطح خاک باشد.

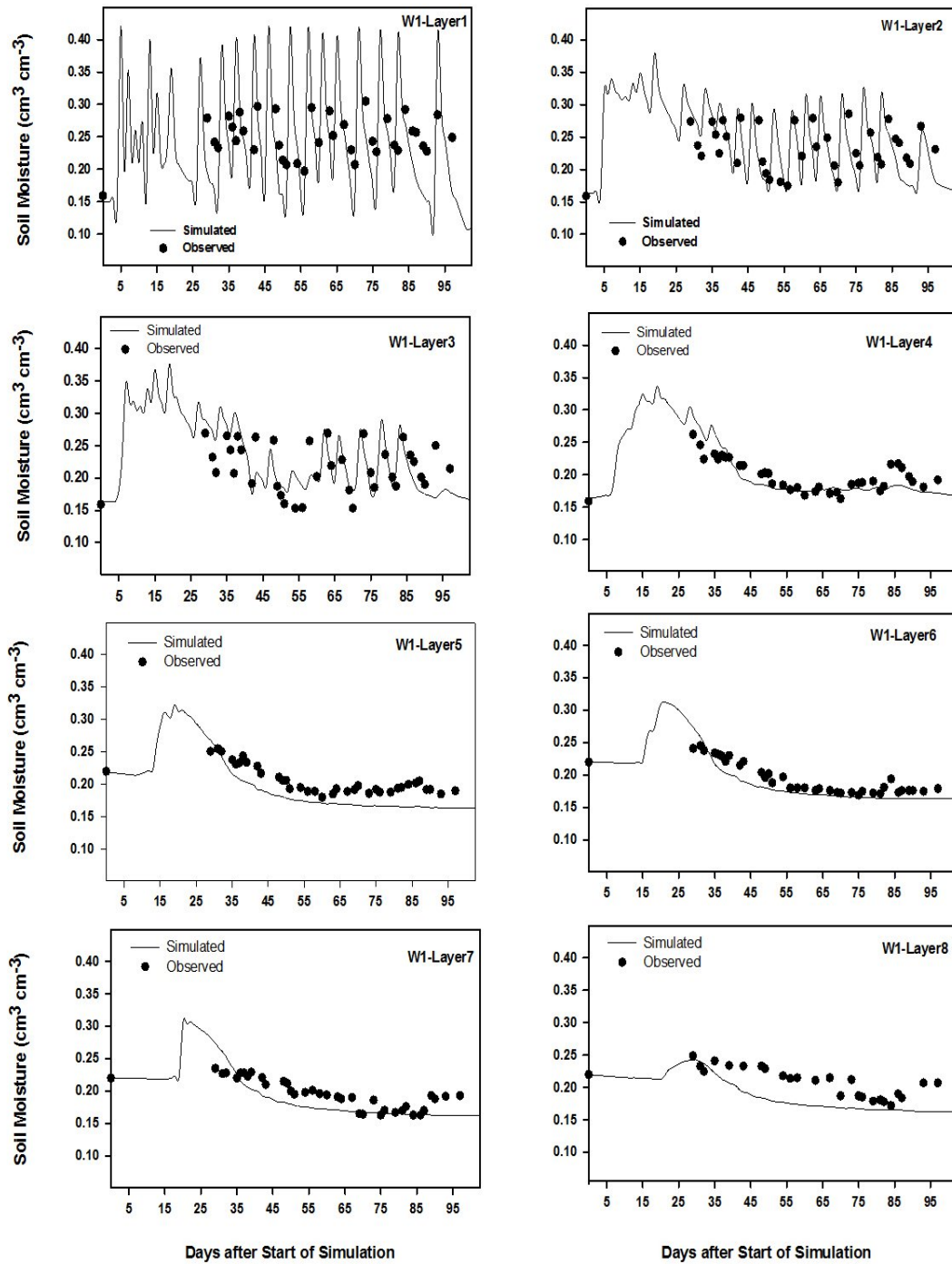
بررسی شبیه‌سازی رطوبت توسط مدل برای اعماق مختلف خاک نشان داد که مدل می‌تواند تغییرات رطوبت خاک را در لایه‌های متفاوت خاک به صورت روزانه به خوبی پیش‌بینی کند. شکل‌های (۲) و (۳) مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده خاک را در هر لایه به همراه مقدار شبیه‌سازی شده برای تیمارهای کم‌آبایی و آبیاری کامل نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که پس از اجرای تیمارهای تنش آبی (۳۰ روز پس از کشت) در تیمار تنش به دلیل عمق کم‌آبایی، عدم نفوذ عمقی آب و برداشت آب توسط گیاه رطوبت خاک در لایه‌های سوم به بعد خاک تغییرات زیادی نداشته است، مدل نیز حداکثر تا عمق ۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک، جریان عمودی رو به پایین را برای این تیمار شبیه‌سازی کرده است (شکل ۲). لذا باتوجه به همین تغییرات ناچیز رطوبت، شبیه‌سازی نیز برای هر دو سال در لایه‌های انتهایی با دقت بسیار خوبی صورت گرفته است.

لازم به ذکر است وابستگی مدل به پارامترهای FC و SAT که اندازه‌گیری دقیق آنها در سطح مزرعه امکان‌پذیر نیست که این امر یکی از محدودیت‌های مدل DSSAT به حساب می‌آید. مقادیر خطای به دست آمده در این پژوهش برای رطوبت خاک در لایه‌های مختلف بین ۰/۰۱۷ تا ۰/۱۳۶ رطوبت حجمی بوده است که این مقادیر نسبت به پژوهش تحقیقات پیشین که دقت مدل CERES-Maize برای برآورد رطوبت ۰/۰۹۸ تا ۰/۱۶۶ رطوبت حجمی باتوجه به عمق خاک عنوان شده بود، کمتر می‌باشد (۲۶). همچنین در تحقیقی دیگر، مدل CERES-Maize در خاک لوم به کار برده شد و RMSE مدل در تخمین رطوبت بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۵۴ رطوبت حجمی گزارش شد (۸). در مطالعه دیگری نیز مدل DSSAT برای شبیه‌سازی رطوبت حجمی در سه سایت جداگانه استفاده شد. مقادیر RMSE مدل در شبیه‌سازی رطوبت بین ۳/۰ تا ۱۴ درصد حجمی گزارش شد (۱۴).

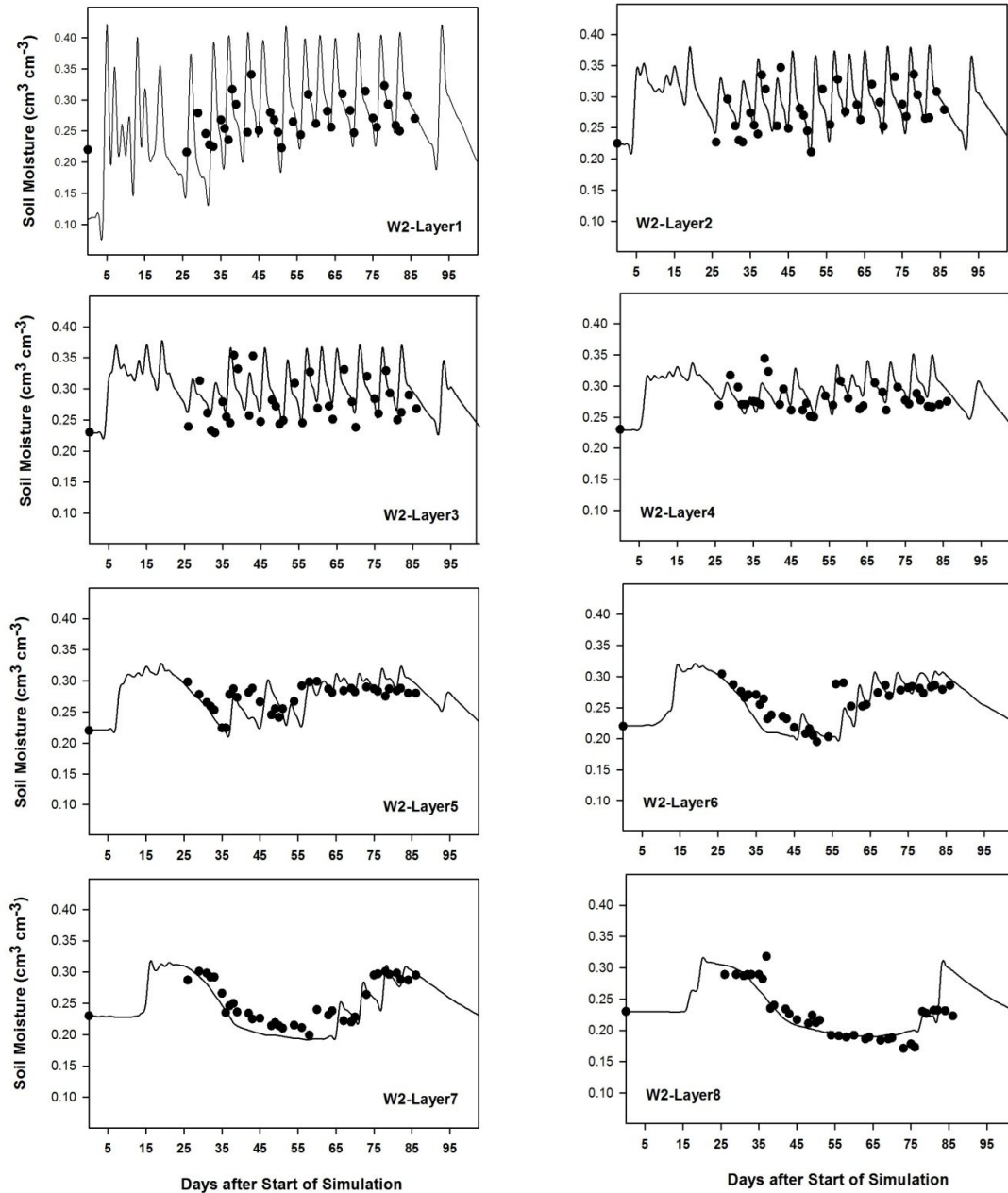
نتایج به دست آمده اختلاف مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای برای تمام لایه‌ها و در کل دوره رشد را نشان می‌دهد (شکل ۱). در این شکل، مقادیر مثبت نشان‌دهنده پیش‌بینی بیش از مقدار و مقادیر منفی نشان‌دهنده پیش‌بینی کمتر از حد انتظار است. در انتهای دوره رشد مقادیر رطوبت شبیه‌سازی شده در اعماق بیش از ۴۰ سانتی‌متر همواره بیش



شکل ۱ - تغییرات رطوبت در لایه‌های مختلف خاک برای تیمار کم‌آبایی (W₁) و آبیاری کامل (W₂) در طول دوره رشد گیاه برای سال ۱۳۸۳



شکل ۲ - رطوبت اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در تیمار کم آبیاری در لایه‌های مختلف خاک در سال ۱۳۸۳



شکل ۳ - رطوبت اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در تیمار آبیاری کامل در لایه‌های مختلف خاک در سال ۱۳۸۳

تیمار کم‌آبیاری $1/985$ سانتی‌متر در سال ۱۳۸۲ و بیشترین آن در تیمار آبیاری کامل $5/4$ سانتی‌متر در سال ۱۳۸۳ می‌باشد. همچنین بیشترین مقدار شاخص تطابق برای شبیه‌سازی کل آب خاک در تیمار آبیاری کامل در سال ۱۳۸۲، $0/934$ و کمترین مقدار این شاخص برای تیمار آبیاری کامل در سال ۱۳۸۳، $0/324$ رخ داده است.

پیش‌بینی مقدار کل آب خاک

مقادیر کل آب خاک مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط DSSAT، به همراه شاخص‌های آماری RMSE و d در جدول (۵) ارائه شده است. خطای RMSE کل آب خاک در دو تیمار آبیاری برای دو سال کشت بین $1/985$ تا $5/7$ سانتی‌متر تغییر می‌کند، به طوری که کمترین مقدار RMSE در

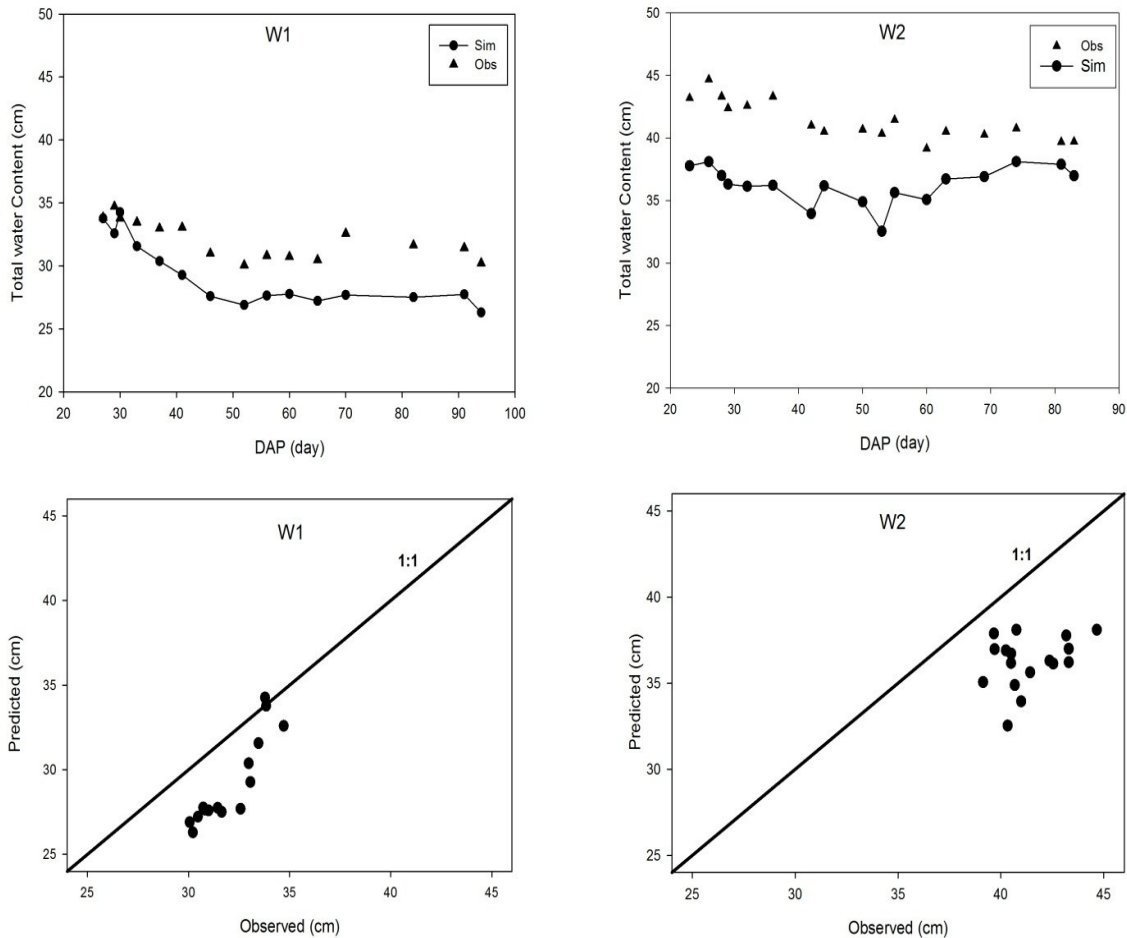
جدول ۵ - مقدار کل آب خاک شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در نیم‌رخ خاک، به همراه شاخص‌های آماری برای دو تیمار کم‌آبیاری (W_1) و آبیاری کامل (W_2) در سال ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳

۱۳۸۲				شاخص
W_2 (SMD)		W_1 (0.7 SMD)		
شبه‌سازی	مشاهده‌ای	شبه‌سازی	مشاهده‌ای	
۲۰/۰۹	۲۲/۴۹	۱۱/۳۱	۱۰/۴۲	متوسط (cm)
۳۶/۲۰	۴۷/۵۶	۱۲/۸۹	۱۲/۵۴	حداکثر (cm)
۹/۵۴	۶/۲۰	۹/۵۴	۶/۲۰	حداقل (cm)
۵/۷۰		۱/۹۸		خطای متوسط مجذور مربعات (cm)
۰/۹۴		۰/۷۰		شاخص تطابق
۵/۵۴		۱/۷۱		خطای سیستماتیک (cm)
۲۵/۳۳		۱۸/۹۵		خطای متوسط مجذور مربعات استاندارد (%)
۱۳۸۳				شاخص
W_2 (SMD)		W_1 (0.7 SMD)		
شبه‌سازی	مشاهده‌ای	شبه‌سازی	مشاهده‌ای	
۳۶/۲۵۱	۴۱/۳۷۴	۲۹/۲۰۹	۳۲/۰۵۱	متوسط (cm)
۳۸/۱۰۰	۴۴/۶۷۰	۳۴/۲۶۰	۳۴/۷۱۰	حداکثر (cm)
۳۲/۵۳۰	۳۹/۱۴۰	۲۶/۲۹۵	۳۰/۰۶۰	حداقل (cm)
۵/۴۱۰		۳/۱۶۹		خطای متوسط مجذور مربعات (cm)
۰/۳۲۴		۰/۶۰۳		شاخص تطابق
۴/۰۲۵		۲/۰۱۷		خطای سیستماتیک (cm)
۱۳/۰۷۶		۹/۸۸۷		خطای متوسط مجذور مربعات استاندارد (%)

مبین این موضوع است که نحوه برداشت داده‌ها در دو تیمار و خطای غیرسیستماتیک تولید شده نزدیک به هم است، لذا اختلاف خطای تولید شده در تیمار آبیاری کامل با تیمار کم‌آبیاری تنها می‌تواند به دلیل خطای تولیدی توسط مدل در برآورد رطوبت باشد.

مقدار کل آب پروفیل خاک برای دو تیمار آبیاری در سال ۱۳۸۳ در شکل (۴) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مدل به خوبی روند تغییرات مقدار کل آب در پروفیل خاک را شبیه‌سازی نموده است، اما همواره مقادیر شبیه‌سازی شده کمتر از داده‌های واقعی بوده است. نتایج سال ۱۳۸۲ نیز روند مشابهی را نشان می‌دهد.

باتوجه به نتایج به دست آمده، براساس مقدار RMSE و دقت مدل برای تخمین مقدار کل آب خاک در سطوح مختلف آب کاربردی نظم مشخصی ندارد (جدول ۵). بالاترین دقت مدل در سال ۱۳۸۳ به ترتیب در سطوح کم‌آبیاری و آبیاری کامل رخ داده است. مقایسه نتایج نشان داد که برای هر دو سال تحقیق، مقدار خطای سیستماتیک در شبیه‌سازی رطوبت در تیمار آبیاری کامل دارای بیشترین مقدار و در تیمار کم‌آبیاری دارای کمترین مقدار است. مقدار زیادتیر RMSE در تیمار آبیاری کامل ممکن است تحت تأثیر خطا در اندازه‌گیری مزرعه‌ای باشد. برای بررسی این موضوع از شاخص $RMSE_{II}$ استفاده شد. نتایج $RMSE_{II}$ و نزدیک بودن این مقادیر در هر دو تیمار آبیاری به یکدیگر



شکل ۴ - مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده کل آب در پروفیل خاک در دو تیمار کم‌آبایی (W_1) و آبیاری کامل (W_2) در سال ۱۳۸۳

بسیار خوب شبیه‌سازی کرد، اما مدل، همواره مقدار کل آب خاک را کمی کمتر از مقدار واقعی پیش‌بینی کرد. نتایج نشان داد که برای یک لایه ثابت خاک با افزایش عمق آب آبیاری، دقت شبیه‌سازی رطوبت افزایش می‌یابد. همچنین بیشترین دقت مدل در برآورد رطوبت در لایه‌های مختلف خاک، همواره در یکی از لایه‌های میانی (لایه سوم تا پنجم) بود. در کل، مقدار خطای سیستماتیک و شاخص تطابق به دست آمده در این تحقیق نشان می‌دهد که این مدل را می‌توان برای استفاده در شرایط کم‌آبایی توصیه کرد.

گرایش عمومی مدل CERES برای جذب آب زیاد از کل پروفیل خاک نسبت به مقادیر مشاهده‌ای برای ذرت قبلاً نیز توسط محققین دیگر ذکر شده بود (۸). در مطالعه دیگری، مدل CERES برای گندم زمستانه نیز به کار برده شد. مشاهدات این تحقیق نشان داد که مدل CERES مقدار آب خاک را کمتر از حد انتظار پیش‌بینی می‌کند (۱۳).

نتیجه‌گیری

زیر ماژول آب و خاک DSSAT تغییرات رطوبت در لایه‌های مختلف خاک و همچنین میزان کل آب خاک را

منابع مورد استفاده

۱. قیصری م (۱۳۸۵) تأثیر کود - آبیاری ذرت با روش آبیاری بارانی بر روی آبشویی نیترات، تحت سطوح مختلف کود و آب کاربردی. رساله دکتری علوم و مهندسی آبیاری. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
۲. قیصری م، میرلطیفی س. م، همایی م. و اسدی م. ا (۱۳۸۵) آبشویی نیترات در سیستم آبیاری بارانی تحت مدیریت کود
۳. قیصری م، میرلطیفی س. م، همایی م. و اسدی م. ا (۱۳۸۵) تعیین نیاز آبی ذرت علوفه‌ای و ضریب گیاهی آن در مراحل مختلف رشد. تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۷(۲۶): ۱۴۲-۱۴۵.
۴. Boote KJ, Jones JW, Hoogenboom G and Wilkerson GG (1997) Evaluation of the CROPGRO-soybean model over a wide range of experiment. Pp. 113-133.
۵. Cavero J, Farre I, Debaeke P and Faci JM (2000) Simulation of maize yield under water stress with the EPICphase and CROPWAT models. *Agronomy*. 92: 679-690.
۶. Eitzinger J and Trnka M (2004) Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. *Ecological Modelling*. 171: 223-246.
۷. Faria RTD and Bowen WT (2003) Evaluation of DSSAT soil-water balance module under cropped and bare soil conditions. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 46: 489-498.
۸. Garrison MV, Batchelor WD, Kanwar RS and Ritchie JT (1999) Evaluation of the CERES-Maize water and nitrogen balances under tile-drained conditions. *Agricultural Systems*. 62: 189-200.
۹. Gerakis A, Rasse DP, Kavdir Y, Smucker AJM, Katsalirou I and Ritchie JT (2006) Simulation of leaching losses in the nitrogen cycle. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 37: 1973-1997.
۱۰. Gheysari M, Mirlatifi SM, Bannayan M, Homae M and Hoogenboom G (2009) Interaction of water and nitrogen on maize grown for silage. *Agricultural Water Management*. 96: 809-821.
۱۱. Hoogenboom G, Jones JW, Wilkens PW, Batchelor WD, Bowen WT, Hunt LA, Pickering NB, Singh U, Godwin DC, Baer B, Boote KJ, Ritchie JT and White JW (1994) Crop models In DSSAT Version 3. Vol. 2. University of Hawaii, Honolulu, HI. Pp. 95-244.
۱۲. Hunt LA (1993) Designing improved plant types: a breeder's viewpoint. In: *Systems Approaches for Agricultural Development*, Kluwer Academic Press, Pp. 3-17.
۱۳. Jamieson PD, Porter JR, Goudriaan J, Ritchie JT, Van Keulen H and Stol W (1998) A comparison of the models AFRCWHEAT2, CERES-Wheat, Sirius, SUCROS2 and SWHEAT with measurements from wheat grown under drought field. *Crops Resource*. 55: 23-44.
۱۴. Meng L and Quiring SM (2008) A comparison of soil moisture models using soil climate analysis network observations. *Hydrometeorology*. 9: 641-658.
۱۵. Nielsen DC, L Ma, Ahuja LR and Hoogenboom G (2002) Simulating soybean water stress effects with RZWQM and CROPGRO models. *Agronomy*. 94: 1234-1243.
۱۶. Nouna BB, Katerji N and Mastrorilli M (2003) Using the CERES-Maize model in a semi-arid Mediterranean environment: New modeling of leaf area and water stress functions. *European Journal of Agronomy*. 19: 115-123.

- 17 . Priestley CHB and Taylor RJ (1972) On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. *Mon. Weather Rev.* 100: 81-92.
- 18 . Ritchie JT (1972) Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resources Research.* 8: 1204-1213.
- 19 . Ritchie JT (1993) Genetic specific data for crop modeling. In: *Systems Approaches for Agricultural Development*, Kluwer Academic Press. Pp. 77-93.
- 20 . Ritchie JT and Otter S (1985) Description and performance of CERES-Wheat: a user-oriented wheat yield model. In: *ARS Wheat Yield Project, Tech. Info. Service Springfield, Missouri.* Pp. 159-175.
- 21 . Savage MJ (1993) Statistical aspects of model validation. Presented at a workshop on the field water balance in the modeling of cropping systems. University of Pretoria, South Africa.
- 22 . Suleiman AA and Ritchie JT (2004) Modifications to the DSSAT vertical drainage model for more accurate soil water dynamics estimation. *Soil Science.* 169(11): 745-757.
- 23 . Sau F and Boote KJ (2004) Testing and improving evapotranspiration and soil water balance of the DSSAT crop models. *Agronomy.* 96: 1243-1257.
- 24 . Tsuji GY, Uehara G and Balas P (1994) Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 3, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- 25 . Wilmot CJ (1982) Some comments on the evaluation of model performance. *Meteorological Society.* 64: 1309-1313.
- 26 . Xevi E, Gilley J and Feyen J (1996) Comparative study of two crop yield simulation models. *Agricultural Water Management.* 30: 155-173.
- 27 . Yihua W, Sakamoto CM and Botner DM (1989) On application of the CERES-Maize model to the north china plain. *Agriculture and Forest Meteorology.* 49: 9-22.

Estimation soil water content under deficit irrigation by using DSSAT

H. Dokoohaki ¹, M. Gheysari ^{*2}, S. F. Mousavi ³ and S. M. Mirlatifi ⁴

(E-mail: gheisari@yahoo.com)

Abstract

Crop models need more evaluation and study for use in deficit irrigation. The main objective of this paper was to study the efficiency and accuracy of DSSAT model, in estimating of moisture in the soil profile under two levels of water application in silage maize field. Two irrigation treatments including deficit irrigation (0.7 SMD), and a full irrigation (SMD) were considered for two years. Soil moisture was measured daily in different layers of the soil profile. After the model was calibrated, the results of the model were compared in soil profile with measured values in the field. The results indicated that RMSE of model in estimating soil moisture for different treatments, depending on depth, is between 1.8 and 13.6 percent volumetric moisture. Systematic error of model in estimating total water in the soil profile was between 1.985 and 5.7. On the other hand, the greatest error in estimating moisture has always happened in the first layer of the soil profile. Overall, considering the nature of water movement in the soil, the DSSAT model could be recommended to be used in deficit irrigation conditions.

Keywords: CERES-Maize, Crop model, Deficit irrigation, DSSAT, Soil water module

1 - M.Sc. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan - Iran

2 - Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan - Iran

(Corresponding Author *)

3 - Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan - Iran

4 - Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran - Iran