نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۴، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۹، ص. ۲۶۲-۲۵۱

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 14, Apr.-May. 2020, p. 251-262

ارزیابی مدل Daisy برای شبیه‌سازی حرکت دو بعدی آب در خاک و عملکرد گیاه آفتاب‌گردان

هدیه پوریزدان‌خواه[۱]، علی شاهنظری[۲*]، میرخالق ضیاء تبار احمدی[۳]، محمدرضا خالدیان[۴]، ماتیاس نیومان آندرسون[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۱۳

چکیده

استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز، می‌تواند بر نگرش کاربران در به‌کارگیری مدیریت‌های مختلف کشاورزی کمک نماید. بنابراین شناخت و ارزیابی مدل‌ها در این زمینه غیرقابل‌اغماض است. مدل Daisy یکی از جامع‌ترین مدل‌ها در زمینه شبیه‌سازی سیستم آب-خاک-گیاه-اتمسفر است که عملکرد آن در این پژوهش، ارزیابی شد. براساس داده‌برداری‌ها از سه تیمار آبیاری کامل(FI) و کم‌آبیاری(DI) در سطوح ۷۵٪ و ۵۵٪ طی دو سال زراعی، شرایط برای Daisy تعریف و زیرمدل محصول برای گیاه آفتاب‌گردان ساخته شد. پارامترهای عملکرد محصول اندازه‌گیری و با مقادیر شبیه‌سازی‌شده براساس شاخص‌های آماری R^2، NRMSE و ضریب‌کارایی(EF) مقایسه شدند. مدل، باتوجه به نتایج حاصل از تیمارهای FI، اعتبارسنجی و براساس تیمارهای DI ارزیابی شد. نتایج نشان داد که Daisy با داشتن میانگین NRMSE طی دو سال به‌ترتیب برای پارامترهای سطح برگ (LAI)، ارتفاع گیاه(H) و مقدار ماده‌خشک(DM) و رطوبت که برابر ۰/۰۵۹، ۰/۰۳۶، ۰/۰۳۱ و ۰/۰۶۴ و میانگین EF برابر با ۸۵/۶۷، ۸۲/۳۳، ۹۱/۵ و ۶۷ درصد، عملکرد بسیار قابل قبولی داشته‌است، R^2ها در محدوده‌ی ۰/۹۹۹-۰/۷۹۹ به‌دست‌آمد. برای مشاهده معنی‌داربودن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌شده، از آزمون T برای نمونه‌های‌جفت در SPSS استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که مدل شرایط FI را بهتر از DI شبیه‌سازی می‌کند. درکل، می‌توان Daisy را به‌عنوان مدلی کاربردی برای شبیه‌سازی شرایط پروژه‌های آبیاری تحت مدیریت‌های مختلف استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری کامل، رطوبت، شاخص سطح برگ، کم آبیاری تنظیم شده، مقدار ماده خشک گیاه

مقدمه

محدودیت منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک موجب شده که آب به‌عنوان مهم‌ترین نهاده تولید تلقی شود (Sepaskhah and Khajehabdollahi., 2005). بر همین اساس، کمبود آب و کاهش سریع منابع آب مهم‌ترین معضل در بسیاری از نقاط جهان به‌ویژه نواحی خشک و نیمه‌خشک دنیا است (Sepaskhah and Akbari., 2005). بنابراین از یک سو تقاضای چشمگیر در تولید محصولات کشاورزی و از سوی دیگر، کمبود آب، توسعه استراتژی‌های نوین آبیاری با بازده‌ی مطلوب را طلب می‌کند (English et al., 1990; Geerts and Raes., 2009; Strzepek and Boehlert., 2010). کم‌آبیاری یک راهکار بهینه برای به عمل آوردن محصولات تحت شرایط کمبود آب است که معمولاً به صورت کاهش محصول در واحد سطح گزارش می‌شود (سپاسخواه و همکاران، ۱۳۸۵). تحقیقات نشان داده است که در دوره‌های غیرحساس به خشکی، با اعمال کم‌آبیاری به صورت ۷۰ تا ۹۰ درصد نیاز آبی، کاهش معنی‌داری در عملکرد محصول رخ نمی‌دهد (Shahnazari et al., 2005). کلوس و همکاران، کم آبیاری کنترل شده را به عنوان یک راهکار برای مقابله با چالش کمبود آب عنوان نمودند و تأکید کردند که شرط استفاده از این راهکار، آگاهی از خطرات و مزایای پیشروی آن است و از این‌رو، مدل‌های شبیه‌ساز تأیید شده را به عنوان پیش‌نیاز ارزیابی شرایط تحت عملیات مدیریتی مختلف در کشاورزی عنوان نمودند (Kloss et al., 2012).

در روش‌های علمی سنتی از تجربیات مزرعه‌ای به صورت گسترده برای بررسی عملیات مدیریتی مناسب از جمله خاک‌ورزی، کاشت، برداشت، کوددهی و آبیاری استفاده شده است (Plauborg et

۱- دانشجوی دکترای مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- دانشیارگروه مهندسی آب و وابسته پژوهشی گروه مهندسی آب و محیط زیست پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان
۵- استاد دانشگاه Aarhus، دانشکده Agroecology، دانمارک
(* - نویسنده مسئول: Email: aliponh@yahoo.com)

al., 2010). از محدودیت‌های موجود در این نوع تحقیقات، نیازمندی به انجام آزمایشاتی است که پیچیدگی آن‌ها، غیر قابل چشم‌پوشی است. در این آزمایشات، نیاز است که اثر عملیات مدیریتی مختلف را بر تولید محصول و محیط‌زیست بررسی نمود. با توجه به تنوع گسترده‌ی عملیات مدیریت کشاورزی (اعم از کشت، مدیریت مواد معدنی، مالچ و...)، خاک‌ها و آب و هواهای مختلف و اثرات توأم احتمالی آن‌ها، اعمال و انجام آزمایشات آن در محل‌های مختلف تحت پژوهش، بسیار هزینه‌بردار و وقت‌گیر هستند (Lammoglia et al., 2018)، از این‌رو مدل‌های شبیه‌ساز می‌توانند تا حد زیادی در پشتیبانی از تحقیقات آزمایشاتی استفاده شوند. مدل‌های شبیه‌سازی براساس اطلاعات آزمایشات مختلف می‌توانند به درک ما از سیستم کمک کنند، زیرا مدل می‌تواند با یکی کردن تمام فرآیندهای مرتبط در سیستم، بین مناطق و سطوح مختلف اطلاعاتی اتصال به‌وجود آورد. در واقع یک مدل سیستم گیاه–خاک–هوا ما را قادر خواهد ساخت تا اطلاعات موجود را یکی و عملکرد سیستم را در روابط ارتباطی بین چرخه‌های انرژی، آب و نیتروژن تحت شرایط خارجی مختلف شبیه‌سازی نماییم (Hansen et al., 1990). از آنجا که امروزه در بسیاری از کشورهای خشک و نیمه‌خشک دنیا به اعمال مدیریت‌های مختلف کشاورزی به منظور بالا بردن بهره‌وری محصول و استفاده بهینه از منابع آب موجود روی آورده‌اند، ایجاد یک مدل در سیستم اتمسفر–خاک–گیاه که بتواند عملکرد گیاه و میزان رطوبت در خاک را در روش مدیریتی مختلف شبیه‌سازی کند، می‌تواند کمک بزرگی به پیش‌بینی شرایط نماید. در واقع، برای دستیابی به بینش بیشتر در زمینه‌ی مکانیزم فیزیکی و بیولوژیکی در سیستم خاک–گیاه، هم نیاز به مدل‌سازی و هم نیاز به کار تجربی است (Plauborg et al., 2010).

یکی از مدل‌های موفقیت آمیز در زمینه بررسی عملیات مدیریتی گیاه در سیستم بوم‌سازگار زراعی و در نظر گرفتن همه عملیات مدیریتی، مدل Daisy است که در دانشگاه کپنهاگ، دانمارک بسط و توسعه یافته است (Hansen et al., 1990; Hansen et al., 1991). مدل Daisy، یک مدل انعطاف‌پذیر در سیستم خاک– گیاه– اتمسفر است که برای شبیه‌سازی بیلان آب، بیلان گرما، بیلان املاح و تولید محصول در بوم‌سازگاری‌زراعی با اعمال راهکارهای مختلف مدیریتی، به صورت یک بعدی و دو بعدی به‌کار می‌رود (Hansen., 2002).

تحقیقات انجام شده در زمینه مدل Daisy بسیار گسترده است و با توجه به گسترش و توسعه آن در بخش‌های مختلف در کشورهای مختلف دنیا، شناخت و استفاده از آن در ایران نیز می‌تواند در بسیاری از مسایل از جمله آبیاری و زهکشی و میزان انتقال مواد شیمیایی در درون خاک، کم آبیاری و آبیاری بخشی ریشه‌ای و ... کاربردی باشد و به درک بیشتر محققین و صاحب‌نظران در این زمینه‌ها کمک کند.

پلایبورگ و همکاران، یک مدل مکانیکی در مدل Daisy را براساس داده‌های حاصل از پروژه SAFIR بر روی تبادلات گازی برگ اندازه‌گیری شده و حرکت آبِ خاک در رشد محصولات سیب‌زمینی آبیاری شده در یک محیط نیمه–مزرعه‌ای تحت رژیم‌های آبیاری مختلف ارایه دادند. بسط و ارتقاء مدل Daisy شامل؛ مدل‌سازی جریان آبِ خاک به صورت دو بعدی، اندازه‌گیری ترشح آبسسیک اسید و اثر آن بر هدایت روزنه‌ای و متعاقباً بر تعرق و جذب، و درنهایت عملکرد محصول بود. شبیه‌سازی‌ها در این تحقیق بدون هیچ واسنجی در این قسمت از مدل انجام شد. داده‌های تجربی با نتایج شبیه‌سازی شده از مدل Daisy تازه ارتقاء داده شده مقایسه شدند. هیچ تفاوت معنی‌داری بین تیمارها با توجه به هدایت روزنه‌ای یافت نشد. با این حال، اثر شبیه‌سازی شده روی عملکرد محصول و کاربرد آب در این آزمایش خاص جزئی بود، در نتیجه عنوان شد که تحقیقات تجربی بیشتری به منظور بهبود مدل در آبیاری بخشی ریشه‌ای (PRD) مورد نیاز است (Plauborg et al., 2010).

کلوس و همکاران، چهار نوع مدل SVAT، با نام‌های CROPWAT و PILOTE (هر دو مدل‌هایی تجربی با واحدهای بیلان آب است) و همچنین Daisy و APSIM را به منظور بررسی مناسب بودن برای اعمال آنها در چارچوب تصادفی، برای سناریوهای آب و هوایی خاص تحت برنامه‌ریزی‌های آبیاری بهینه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل Daisy نتایج واقع‌بینانه‌ای برای ذرت تحت شرایط بدون بارندگی، بارندگی، و تغییرات آب و هوایی داشته است. بنابراین Daisy در مقایسه با سه مدل دیگر، به عنوان یک مدل مؤثر استفاده شد. ثابت شد که CROPWAT برای این منظور، نامناسب است چون عامل تناسب واکنش محصول، که تلفات نسبی محصول را برآورد می‌کند، برای توصیف فیزیولوژی گیاهی و درنتیجه واکنش گیاه به تنوع آب و هوایی و تغییر آب و هوایی به خصوص برای آبیاری کامل مناسب نیست. PILOTE نیز نتایج واقع‌بینانه و خوبی برای مکان مورد بررسی بدست آورد اما اظهار شد که این مدل نیازمند پارامترهای گیاهی پایدار است. نتایج ASPIM به نظر امیدبخش بود زیرا نتایج واقع بینانه بود اما عنوان شد که هنوز این مدل برای شرایط مزرعه‌ای تأیید شده نیست (Kloss et al., 2010).

وان‌درکوئر و همکاران، مدل Daisy را برای استفاده از داده‌های سنجش از دور (RS)، به منظور بهبود پیش‌بینی‌های مربوط به تبخیر–تعرق و فتوسنتز در مقیاس طرح، اصلاح نمودند. مرتبط‌سازی داده‌های RS و مدل Daisy، با استفاده از توسعه کمینه‌سازی پارامتر مقاومت پوشش گیاهی بدون تنش (r_c^{min}) در طول فصل رشد بود. فرآیند بیلان انرژی برای گیاه گندم زمستانه شبیه‌سازی و اعتبارسنجی شد. محتوای ماده خشک محصول و شاخص سطح برگ به صورت مناسبی، مدل‌سازی شدند. رطوبت خاک مدل‌شده براساس پارامترهای مدل بروکس–کوری به‌صورت رضایت‌بخشی با استفاده از مقادیر

اندازه‌گیری شده با TDR کالیبره شدند. به طور کلی، نتیجه‌گیری شد که در مواجه با تنش آب در طی دوره طولانی‌تر، شار گرمای نهان مدل‌شده کمتر از مقدار مشاهده‌ای بود و عنوان شد که برای استفاده از سنجش از دور هم نیازمند مقادیر پارامتری بهبود یافته برای کنترل‌های محیطی و هم نیازمند یک برآورد بهتری از پارامتر (r_c^{min}) است (Van der Keur et al., 2001).

سالازار و همکاران مدل Daisy را برای خاک درشت بافت کشت شده در منطقه مدیترانه‌ای مرکز شیلی مورد بررسی قرار دادند. مدل با استفاده از داده‌های آب و هوا و داده‌های خاک جمع‌آوری شده بین سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۳ از چهار ایستگاه آزمایشگاهی با مقادیر متفاوت نیتروژن در رژیم مدیریتی، سیستم آبیاری و تناوب زراعی در سطح مزرعه‌ای آزمایش شد. تیمارهای مورد بررسی عبارت بودند از: (۱) ذرت تحت آبیاری شیاری، کود نیتروژن معدنی و شخم (PM)؛ (۲) ذرت تحت آبیاری شیاری، کوددهی با لجن خوک و شخم (PS)؛ ذرت تحت آبیاری با سنترپیوت، کوددهی با لجن خوک و پوشیده از گیاه (SS)؛ و (۴) چمن سالانه بومی تحت شرایط دیم (SN). مدل با مقایسه مقادیر رطوبت خاک شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در اعماق (۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری) و مقدار شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده محتوای نیتروژن معدنی خاک در لایه بالایی (۲۵-۰ سانتی‌متری) به صورت آماری ارزیابی شد. رطوبت خاک شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در اعماق مختلف همبستگی رضایت‌بخشی داشتند. آنالیز حساسیت نشان داد که پراکنش، حساس‌ترین پارامتر در شبیه‌سازی نیترات است. این نتایج نشان دادند که Daisy برای پیش‌بینی حرکت آب و نیتروژن در خاک درشت بافت تحت شرایط مدیترانه‌ای مرکز شیلی قابل قبول است (Salazar et al., 2017).

در این پژوهش، ضمن معرفی مدل Daisy، شبیه‌سازی عملکرد گیاه آفتاب‌گردان و مقدار رطوبت منطقه توسعه ریشه برای دو دوره متوالی کشت در حالت آبیاری کامل (FI) و کم آبیاری (DI) به عنوان یک راهکار مدیریتی مناسب جهت مصرف بهینه آب انجام شد و کارایی مدل در حالت دو بعدی از نظر شبیه‌سازی رطوبت، شاخص سطح برگ (LAI)، ارتفاع گیاه (H) و مقدار ماده خشک (DM) گیاه ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

برای ارزیابی مدل Daisy جهت شبیه‌سازی شرایط رشد گیاه، به مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده از عملکرد گیاهی و رطوبت منطقه توسعه ریشه نیاز است که بر این اساس، طی آزمایشات مزرعه‌ای برای گیاه آفتاب‌گردان رقم گل‌آذر در سال‌های زراعی ۹۱-۹۲ داده‌برداری‌هایی از LAI، H، DM و رطوبت در طی دوره رشد انجام شد (قدمی فیروزآبادی، ۱۳۹۴). پژوهش‌های انجام شده به منظور داده‌برداری در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (SANRU) به مساحت ۸۰۰ مترمربع در استان مازندران، واقع در طول جغرافیایی ۵۳/۰۴ درجه و عرض جغرافیایی ۳۶/۳۹ درجه، اجرا شد. آفتاب‌گردان گیاهی است گرماپسند و یک‌ساله، که خاستگاه اصلی آن آمریکای مرکزی است. توانایی آفتاب‌گردان در تحمل دوره‌های کوتاه تنش کمبود آب با کاهش عملکرد درحد قابل قبول، یک خصوصیت ارزشمند در مناطق خشک محسوب می‌شود (راضی و آساد، ۱۳۷۷). خاک منطقه در محدوده ۲۰-۰ سانتی‌متری دارای بافت لوم‌شنی و در اعماق پایین‌تر دارای بافت رسی‌شنی است. خصوصیات فیزیکی خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و پارامترهای هیدرولیکی هر لایه از خاک به عنوان ورودی با نام مدل خاک[1] در منطقه مورد مطالعه و خصوصیات هندسی خاک مطابق با شکل ۱ با نام مدل هندسی[2] برای مدل Daisy تعریف شد.

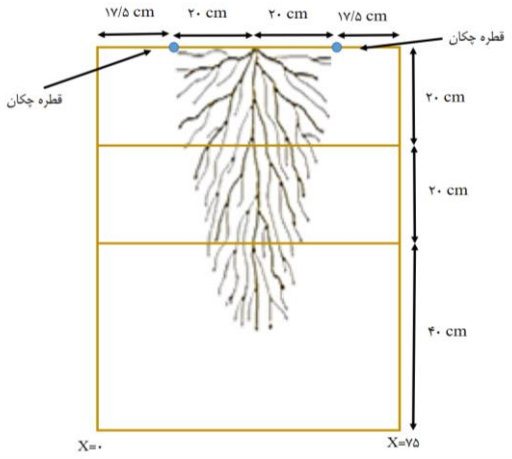
مدل Daisy برای اجرا و شبیه‌سازی شرایط دوره رشد گیاه، مقادیر روزانه‌ی میانگین دمای هوا، بارندگی در محل، تابش جهانی، فشار بخار، رطوبت نسبی و سرعت باد را برای یک بازه زمانی چند ساله (حداقل ۴ ساله) متشکل از کل دوره‌ی رشد نیاز دارد. مدل Daisy همچنین نیازمند اطلاعاتی از ایستگاه هواشناسی است. مانند، نام، ارتفاع از سطح آب، طول و عرض جغرافیایی، دمای متوسط، متوسط دامنه‌ی تغییرات دما در طول سال و متوسط روزی که در آن بیشترین دما حاصل شده است.

مدل Daisy قادر است تبخیر-تعرق را به‌عنوان یک ورودی مستقماً از کاربر دریافت کند و یا از معادله پنمن-مونتیث (FAO, 1990) و یا از معادله ماکینک (Hansen., 1984; Makkink., 1957) با استفاده از اطلاعات هواشناسی برای محاسبه مقدار تبخیر-تعرق گیاه استفاده نماید. اطلاعات هواشناسی به صورت روزانه از ایستگاه هواشناسی دشت‌ناز ساری که نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به محل مورد مطالعه (SANRU) بود دریافت شد. میزان تابش جهانی روزانه بر اساس ساعت آفتابی روزانه بر اساس رابطه و جداول ارائه شده توسط آلن و همکاران (Allen et al., 1998) برای سال‌های ۹۶-۹۱ محاسبه شد و به عنوان ورودی داده‌های هواشناسی با نام مدل هواشناسی[3] برای مدل Daisy تعریف شد که مدل براساس داده‌های ورودی از روش پنمن مونتیث جهت محاسبه تبخیر-تعرق استفاده می‌کند.

1- Soil Model
2- Geometry Model
3 Weather Model

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی هر لایه از خاک منطقه مورد مطالعه

لایه خاک	بافت خاک	K_s	FC	PWP	کربن معدنی خاک	مواد معدنی خاک	جرم مخصوص ظاهری (ρ_b)
cm		cm/day	%	%	%	%	gr/cm^3
۲۰-۰	لومی شنی	۱۲۰	۲۲	۹/۵	۰/۶۵	۱/۱۲	۱/۳۵
۴۰-۲۰	رسی شنی	۱۸/۷۵	۲۷	۹	۰/۶	۱/۰۳	۱/۶۶
۸۰-۴۰	رسی شنی	۱۸/۷۵	۲۷	۸/۸	۰/۵۸	۰/۹۹	۱/۶۶

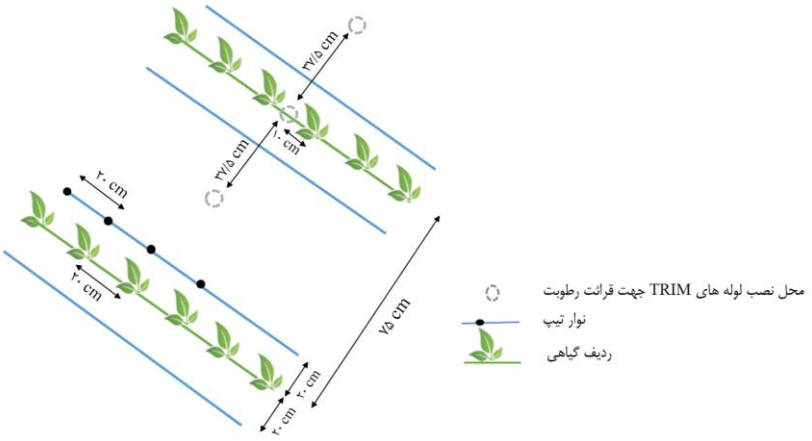


شکل ۱- نمایی از هندسه پروفیل خاک تعریف شده برای مدل Daisy

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، در قالب طرح بلوک‌های کاملا تصادفی، شامل سه تیمار FI، کم‌آبیاری تنظیم شده در دو سطح ۷۵٪ (DI75) و ۵۵٪ (DI55) در سه تکرار بود. برای آبیاری قطره‌ای سطحی از نوارهای تیپ با فواصل قطره‌چکان ۲۰ سانتی‌متر و دبی ۲ l/hr/m استفاده شد. نوارهای تیپ به فاصله ۲۰ سانتی‌متری از ردیف‌های کشت قرار داده شد (شکل۲). کوددهی بر اساس نیاز گیاه انجام شد و طول ردیف‌های کشت ۱۰ متر بود. عمق کاشت ۳-۵ سانتی‌متر بود. عمق مورد نیاز آبیاری (D_n) در آبیاری کامل براساس رابطه ۱ محاسبه شد و برای تیمارهای کم‌آبیاری DI75 و DI55 به ترتیب ۷۵ درصد و ۵۵ درصد از کل آب مورد نیاز گیاه در سال‌های اول و دوم به ترتیب ۳۵ و ۴۰ روز بعد از کاشت به گیاه اعمال شد. قبل از آن تمام کرت‌ها به صورت مساوی به میزان حجم آب مورد نیاز در تیمار آبیاری کامل آب دریافت می‌کردند.

$$D_n = \sum_{i=1}^{m} [(\theta_{Fci} - \theta_{Ii}) \times \rho_{bi} \times D_i] \qquad (۱)$$

که در این رابطه، θ_{Fci} رطوبت در حد ظرفیت زراعی (اعشار)، θ_{Ii} رطوبت خاک پیش از آبیاری (اعشار)، D_i اندازه عمقی که رطوبت در آن اندازه‌گیری شده (در محدوده توسعه ریشه به cm)، ρ_{bi} جرم مخصوص ظاهری خاک (g/cm^3)، i شماره لایه خاک بررسی شده و m تعداد لایه خاک بررسی شده است.



شکل ۲- شماتیکی از وضعیت کشت گیاه آفتابگردان، نوارهای تیپ جهت آبیاری و تیوب‌های نصب شده جهت اندازه‌گیری رطوبت با TDR

آبیاری با فواصل زمانی یک روز در میان انجام شد. برای اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک در ناحیه ریشه در هر تیمار، سه لوله دستگاه TRIM به صورت عمودی در روی ردیف کشت و حد فاصل دو لترال قرار داده شدند و رطوبت خاک با دستگاه TRIM-FM قرائت شد. مقدار رطوبت در سه لایه عمق‌های ۸۰-۱۰ سانتی‌متر در هر لایه از خاک به صورت درصد رطوبت حجمی با سه تکرار به

صورت یک روز در میان قرائت شد، در اواخر فصل رشد، شاخص سطح برگ، ارتفاع گیاه و مقدار ماده خشک گیاه طی شش مرحله اندازه‌گیری شد (قدمی فیروزآبادی، ۱۳۹۴).

زمان و عمق خاکورزی قبل از کاشت، زمان و عمق کاشت، مقدار و زمان آبیاری و کوددهی به عنوان ورودی با نام مدل مدیریت کشاورزی[1] برای مدل Daisy تعریف شد. با توجه به اینکه مدل Daisy مدل نیمه تجربی است، برای شبیه‌سازی آبِ خاک از معادله ریچارد (Richard, 1931) و برای شبیه‌سازی میزان پارامترهای محصول از معادلات تجربی در آن استفاده شده است. برای ساخت مدل محصول[2] و تعریف برخی از پارامترهای گیاهی مورد نیاز برای گیاه آفتاب‌گردان از پیش‌فرض‌های تعریف شده در دستورالعمل مرجع از برنامه‌های مدل Daisy (Abrahamsen., 2014) و برای پارامترهای اختصاصی گیاه آفتاب‌گردان از منابع معتبر استفاده شد (Connor and Hall., 1997; Dyer et al., 1959). برای اجرای مدل Daisy، با توجه به موارد کاربرد و موضوع پروژه باید زیرمدل‌های مختلف تعریف گردد که شامل زیرمدل آب و هوا، محصول، مدیریت کشاورزی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و هندسه پروفیل خاک بود.

در این تحقیق، پارامترهای خروجی محصول[3] شامل شاخص سطح برگ و ارتفاع رشد گیاه در طی دوره رشد به صورت روزانه و میزان رطوبت خاک، با توجه به شکل ۱ که نمایی از پروفیل خاک مورد تحقیق است، برای نقاط با مختصات (۱۰- ، ۳۷/۵)، (۳۰- ، ۳۷/۵) و (۶۰- ، ۳۷/۵) اندازه‌گیری شد. پس از اجرای مدل برای سه تیمار در طی دو سال زراعی، نتایج شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهده‌ای با شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2) در نرم‌افزار Excel، ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE) براساس رابطه ۲ و ضریب کارایی مدل (EF) براساس رابطه ۳ (Nash and Sutcliffe., 1970) مقایسه شدند و عملکرد مدل Daisy مورد ارزیابی قرار گرفت، به طوری که هر چه مقدار NRMSE به عدد صفر نزدیک‌تر و EF به ۱۰۰ درصد نزدیک‌تر باشد، عملکرد مدل بالاتر است. با توجه به نیمه تجربی بودن مدل و تعریف زیرمدل محصول برای گیاه آفتاب‌گردان، نتایج پارامترهای گیاهی حاصل از تیمارهای آبیاری کامل در طی دو سال جهت اعتبارسنجی و نتایج آماری تیمارهای کم‌آبیاری به منظور ارزیابی عملکرد مدل در مواجه با تنش آب مورد بررسی قرار گرفتند.

$$NRMSE = \frac{\left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)^2}{n}}\right)}{\bar{O}} \quad (۲)$$

$$EF = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2}\right) \quad (۳)$$

در روابط بالا، S_i مقدار پارامتر شبیه‌سازی شده در بار iام، O_i مقدار پارامتر اندازه‌گیری شده در بار iام، $\bar{O}$ میانگین مقادیر پارامتر اندازه‌گیری شده در n بار اندازه‌گیری و n تعداد کل دفعات اندازه‌گیری هر پارامتر است. برای مشاهده معنی‌دار بودن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری، از آزمون T برای نمونه‌های جفت موجود در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ استفاده شد.

نتایج و بحث

بعد از اجرای مدل برای سه تیمار FI، DI75 و DI55، طی دوسال زراعی ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲، پارامترهای LAI، H، DM و مقدار رطوبت در سه لایه از پروفیل خاک در زمان‌های اندازه‌گیری شده، با مقادیر شبیه‌سازی مقایسه شدند. در ابتدا به‌منظور اعتبارسنجی، مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده پارامترهای گیاهی و مقدار رطوبت برای تیمارهای FI طی دو سال۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ با یکدیگر مقایسه شدند. جدول ۲ مقایسه آماری و شکل ۳ موقعیت پارامترهای گیاهی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری را نسبت به خط یک به یک نشان می‌دهد. مقادیر NRMSE و EF نشان دهنده‌ی آن است که مدل توانسته است به‌طور قابل قبولی پارامترهای گیاهی را شبیه‌سازی نماید. مقادیر NRMSE در تمام تیمارها زیر ۰/۰۵ بود و مقادیر EF در پارامترهای گیاهی در محدوده‌ی بین ۹۶–۹۹ درصد بدست آمد که نشان دهنده این است که مدل توانسته شرایط رشد گیاه را با در نظر گرفتن اطلاعات ورودی مربوط به ساخت مدل محصول گیاه آفتاب‌گردان به خوبی شبیه‌سازی نماید.

شکل ۳ نشان می‌دهد همبستگی مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده بسیار بالاست (R^2=۰/۹۷۴–۰/۹۹۹) و تراکم نقاط نیز نسبت به خط یک به یک نشان دهنده‌ی عملکرد قابل قبول مدل در شبیه‌سازی شرایط رشد گیاه است. برای بررسی عملکرد مدل در شرایط کم‌آبیاری، شرایط برای دو تیمار DI75 و DI55 در مدل تعریف شد و نتایج واقعی و شبیه‌سازی باهم مقایسه شدند. شکل ۴ و ۵ به ترتیب مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده پارامترهای گیاهی تیمارهای DI75 و DI55 را طی دو سال ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ نسبت به خط یک به یک نشان می‌دهد.

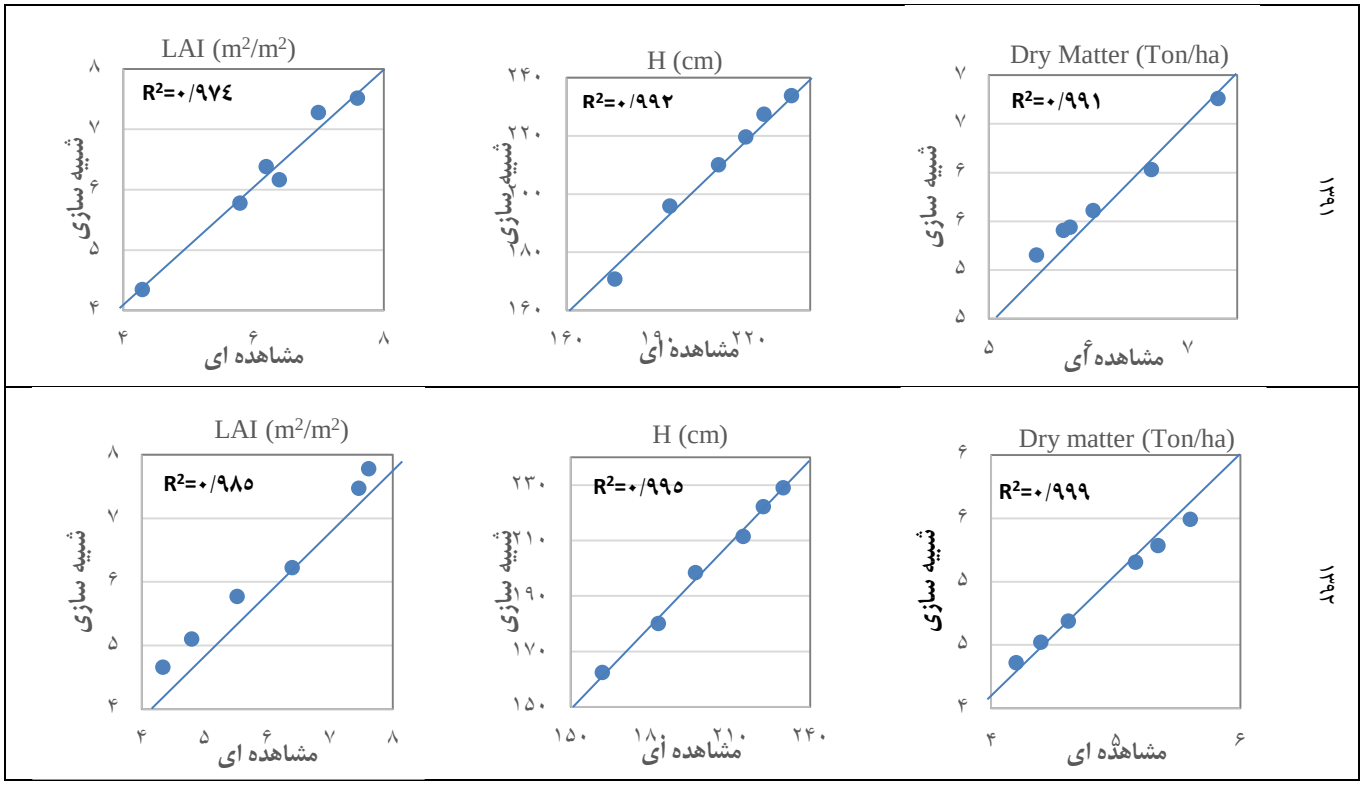
نتایج حاصل از نمودارها نشان می‌دهد که مدل Daisy قادر است شرایط محصول را برای تیمارهای کم‌آبیاری برای گیاه آفتاب‌گردان به‌خوبی شبیه‌سازی کند به‌طوری که بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در همه تیمارها همبستگی بالایی مشاهده شد (R^2=۰/۹۳۵–۰/۹۹۹). در کل، تراکم نقاط نسبت به خط یک به یک در تیمار آبیاری کامل، نشان‌دهنده‌ی این است که مدل شرایط آبیاری

1- Management Model
2- Crop Model
3- Crop production

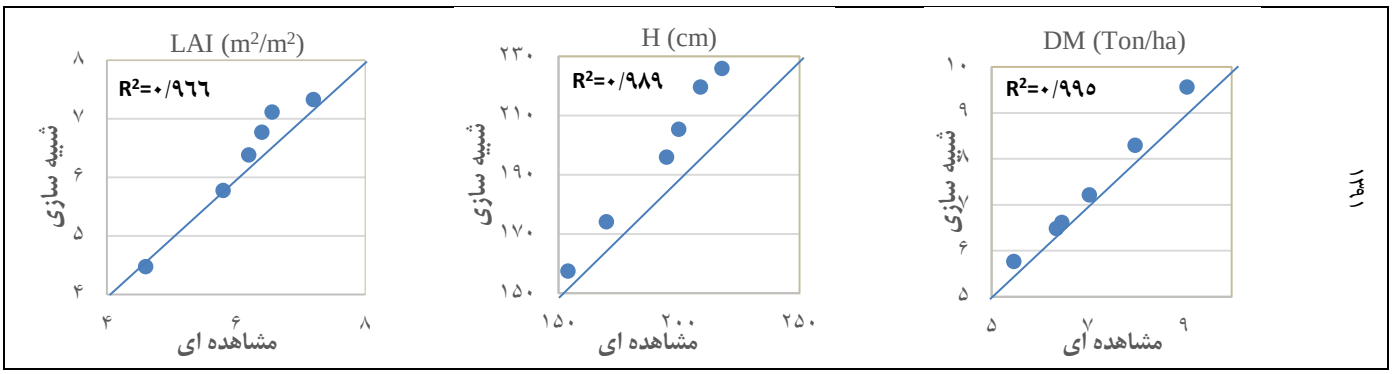
کامل را به نسبت کم آبیاری بهتر شبیه‌سازی کرده است. پارامتر LAI، در هر سه تیمار بسیار نزدیک به خط یک به یک است، اما مقادیر شبیه‌سازی شده DM در تیمارهای کم‌آبیاری با اعمال آبیاری کمتر، بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده برآورد شده است.

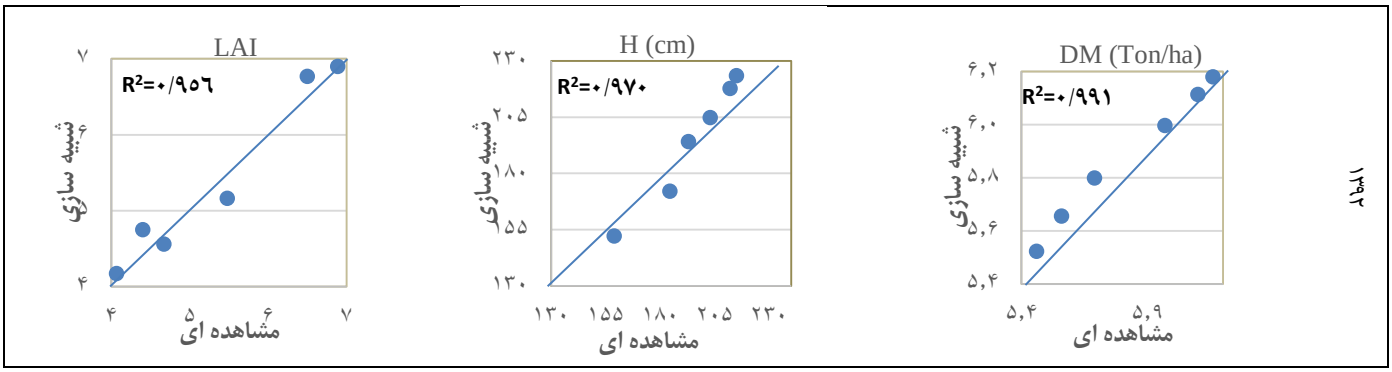
جدول ۲- مقایسه پارامترهای گیاهی و مقدار رطوبت شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده برای تیمار FI با شاخص‌های ارزیابی NRMSE و ضریب کارایی مدل (EF)

سال	NRMSE				EF (%)			
	شاخص سطح برگ (cm^2/cm^2)	ارتفاع گیاه (cm)	ماده خشک (Ton/ha)	رطوبت (%)	شاخص سطح برگ	ارتفاع گیاه	ماده خشک	رطوبت
۱۳۹۱	۰/۰۲۷	۰/۰۱۲	۰/۰۲۱	۰/۰۲۹	۹۷	۹۸	۹۶	۷۸
۱۳۹۲	۰/۰۴۱	۰/۰۱۰	۰/۰۱۴	۰/۰۴۹	۹۶	۹۹	۹۸	۷۲

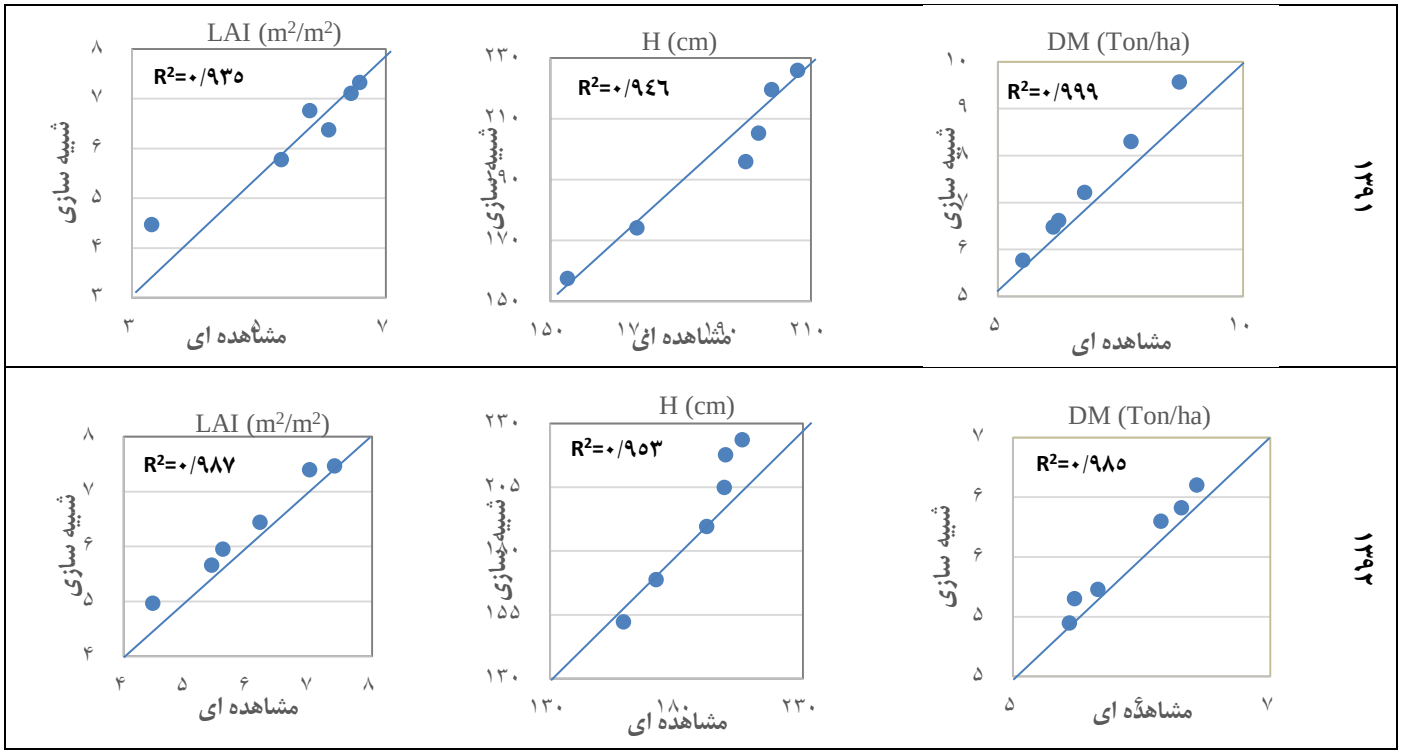


شکل ۳- مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده پارامترهای گیاهی شامل سطح برگ (LAI)، ارتفاع گیاه (H) و مقدار ماده خشک گیاه (DM) برای تیمار FI برای سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ نسبت به خط یک به یک





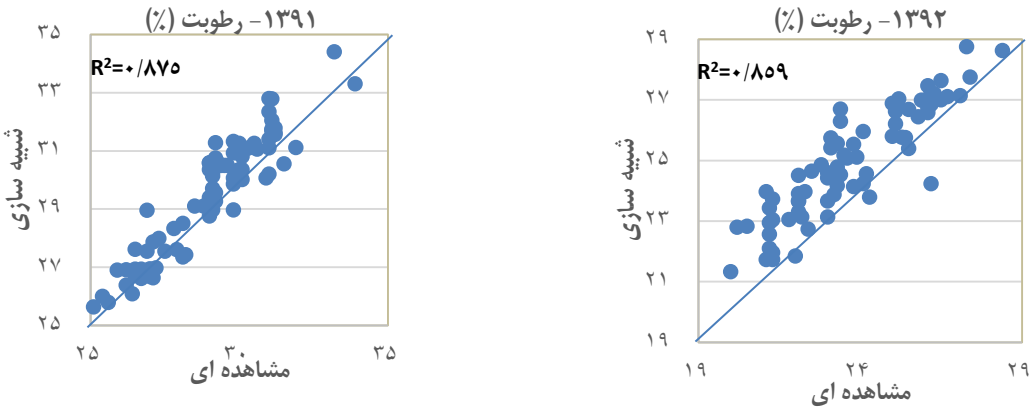
شکل ٤- مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده پارامترهای گیاهی شامل سطح برگ (LAI)، ارتفاع گیاه (H) و مقدار ماده خشک گیاه (DM) برای تیمار DI75 برای سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ نسبت به خط یک به یک



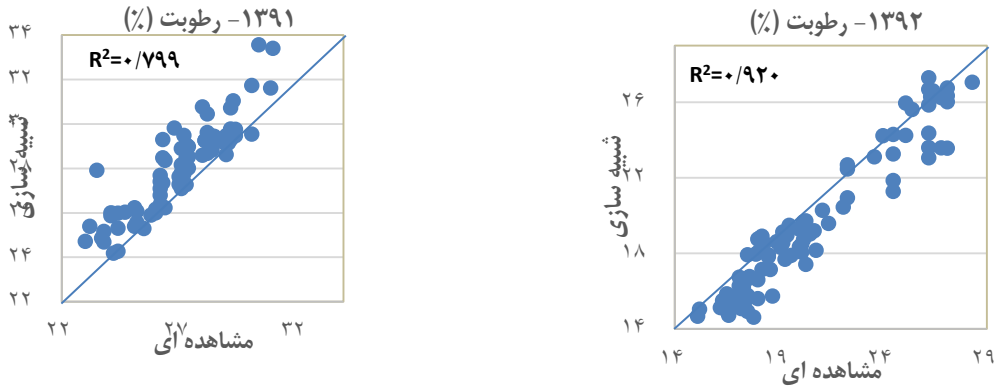
شکل ٥- مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده پارامترهای گیاهی شامل سطح برگ (LAI)، ارتفاع گیاه (H) و مقدار ماده خشک گیاه (DM) برای تیمار DI55 برای سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ نسبت به خط یک به یک

به عبارتی دیگر، مقادیر اندازه‌گیری شده نشان دادند که هر چه تنش آب بیشتری به گیاه اعمال شود، مقدار ماده خشک ماحصل کمتر می‌شود، اما مدل Daisy این میزان کاهش ماده خشک را کمتر از مقدار واقعی در نظر گرفته است و به عبارتی به صورت بیش تخمینی[1] آن را برآورد نموده است. مقادیر ارتفاع گیاه نیز در حالت آبیاری کامل منطبق‌تر بر خط یک به یک هستند ولی در تیمارهای کم‌آبیاری، بیش‌تخمینی وجود دارد و مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری کمی بیشتر است. همچنین نمودارها نشان می‌دهند که اختلاف مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده در تیمارهای کم‌آبیاری در اواخر دوره رشد، با افزایش مقدار پارامترهای گیاهی محسوس‌تر هستند. مقادیر رطوبتی برای سه لایه خاک در طی روزهای مختلف در اواخر دوره‌ی رشد در نظر گرفته شده بود که برای هر تیمار درهر سال زراعی با احتساب مقادیر اندازه‌گیری شده در هر سه لایه حدود ۸۰ نقطه در نظر گرفته شد و مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده با یکدیگر مقایسه شدند.

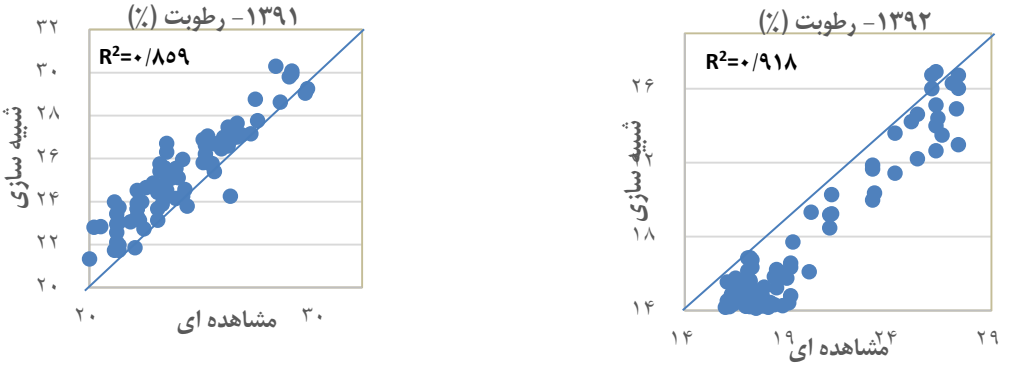
1- Overestimated



شکل ٦- مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده رطوبت خاک برای تیمار FI نسبت به خط یک به یک در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲



شکل ۷- مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده رطوبت خاک برای تیمار DI75 نسبت به خط یک به یک در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲



شکل ۸- مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده رطوبت خاک برای تیمار DI55 نسبت به خط یک به یک در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲

شکل ۶، ۷ و ۸ مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده رطوبت خاک (٪) را به ترتیب برای تیمارهای FI، DI75 و DI55 برای دو سال زراعی نسبت به خط یک به یک نشان می‌دهد .شکل‌های مقادیر رطوبتی نشان می‌دهند که مدل Daisy توانسته است شرایط رطوبتی را به خوبی شبیه‌سازی کند و همبستگی خوبی بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری مشاهده شد (R^2=۰/۷۹۹-۰/۹۲۰). شکل ۶ که مربوط به تیمار FI است نشان می‌دهد که تراکم نقاط حول خط یک به یک و بسیار نزدیک به آن است اما شکل‌های ۷ و ۸ که مربوط به تیمارهای کم‌آبیاری هستند در سال ۱۳۹۱ به صورت بیش تخمینی است که نشان دهنده این است که مدل مقدار رطوبت را بیشتر از مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده، شبیه‌سازی نموده است و در سال ۱۳۹۲، شکل‌های مذکور شرایط کم‌تخمینی[1] را نشان می‌دهد،

1- Underestimated

یعنی در سال دوم مقادیر رطوبتی کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده است.

با توجه به اینکه میزان نحوه محاسبه جذب آب توسط ریشه در مدل، در هر دو حالت آبیاری کامل و کم‌آبیاری یکسان است تنها عامل مؤثر در آن آبیاری و بارندگی است، که با بررسی‌های بیشتر در این زمینه، مجموع کل عمق آبیاری طی هر یک از دو سال زراعی محاسبه شد و مشخص گردید که در سال دوم، مقدار نیاز آبی گیاه کمتر برآورد شد و در نتیجه میزان مجموع عمق آبیاری در سال ۱۳۹۱ به ترتیب برای تیمارهای FI، DI75 و DI55 برابر با ۷۳/۴۶، ۶۰/۳۷ و ۴۹/۹۲ سانتی‌متر و برای سال ۱۳۹۲ مجموع عمق آبیاری اعمال شده به ترتیب برای تیمارهای FI، DI75 و DI55 برابر با ۴۲/۷۹، ۳۵/۶۰ و ۲۹/۸۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. اگرچه مقدار عمق آبیاری برآورد شده در شرایط آبیاری کامل نتیجه مطلوبی داشت اما اثر تنش آب در مدل Daisy در تیمارهای کم‌آبیاری بسیار بیشتر از شرایط واقعی بود، در نتیجه مدل در سال دوم مقدار رطوبت را در لایه‌های مختلف کمتر از مقدار واقعی برآورد کرده است و شرایط کم تخمینی ایجاد شده است. مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده با شاخص‌های آماری NRMSE و EF با یکدیگر مقایسه شدند که نتایج در جدول ۳ ارائه شده است. شاخص‌های NRMSE برای پارامترهای گیاهی در محدوده‌ی قابل قبول بوده است و نتایج نشان می‌دهد که کمترین NRMSEها در هر یک از پارامترهای شاخص سطح برگ، ارتفاع گیاه و ماده خشک به‌ترتیب متعلق به تیمارهای FI، DI75 و DI55 بوده است. هاشمی و همکاران (۱۳۹۷) نیز طی تحقیقی، تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق را با مدل WOFOST شبیه‌سازی نمودند که مقادیر NRMSE بدست آمده از آن در محدوده تحقیق حاضر و زیر ۰/۱۰ بود. از طرفی، مقادیر NRMSE در هر دو سال برای تیمار FI مقادیر عددی مشابهی را ارائه داده‌اند که نشان می‌دهد مدل شرایط بدون تنش آب را بهتر شبیه‌سازی می‌کند. وان‌درکوئر و همکاران نیز با شبیه‌سازی جریان انرژی در Daisy عنوان نمودند که وقتی ذخیره آب در منطقه ریشه محدود نباشد، جریان انرژی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده همبستگی خوبی دارند (Van der Keur et al., 2001). پلاییورگ و همکاران نیز با شبیه‌سازی مدل Daisy به صورت دو بعدی برای تیمار کم‌آبیاری بخشی ریشه‌ای تحت کشت گیاه سیب‌زمینی، عنوان نمودند که مدل میزان عملکرد محصول را به خوبی شبیه‌سازی نموده است اما برای شبیه‌سازی حرکت آب در خاک و مقدار رطوبت در حالت کم‌آبیاری بخشی ریشه‌ای نیاز به تحقیقات بیشتری است (Plauborg et al., 2010).

جدول ۲- مقایسه پارامترهای گیاهی و مقدار رطوبت شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده برای تیمارهای کم‌آبیاری با شاخص‌های ارزیابی NRMSE و ضریب کارایی مدل (EF)

سال	تیمار	NRMSE				EF (%)			
		شاخص سطح برگ (cm^2/cm^2)	ارتفاع گیاه (cm)	ماده خشک (Ton/ha)	رطوبت (%)	شاخص سطح برگ	ارتفاع گیاه	ماده خشک	رطوبت
۱۳۹۱	DI75	۰/۰۴۷	۰/۰۳۲	۰/۰۴۱	۰/۰۵۰	۸۷	۹۲	۹۴	۵۰
	DI55	۰/۱۳۷	۰/۰۶۱	۰/۰۷۵	۰/۰۶۰	۵۱	۶۳	۷۷	۶۲
۱۳۹۲	DI75	۰/۰۴۳	۰/۰۳۷	۰/۰۱۱	۰/۰۷۲	۹۵	۸۵	۹۴	۸۳
	DI55	۰/۰۶۰	۰/۰۶۲	۰/۰۲۳	۰/۱۲۵	۸۸	۵۷	۹۰	۵۷

در نتیجه می‌توان گفت که مدل شرایط آبیاری کامل را بسیار قابل قبول‌تر نسبت به شرایط کم‌آبیاری شبیه‌سازی می‌کند. مقدار میانگین NRMSE رطوبت در دو سال زراعی به ترتیب برای تیمارهای FI، DI75 و DI55 برابر با ۰/۰۳۹، ۰/۰۶۱ و ۰/۰۹۲۵ محاسبه شد که در سطح قابل قبول است. کمترین EF در پارامترهای گیاهی مربوط به تیمار DI55 بود که ضریب عملکرد در محدوده‌ی بین ۵۱-۹۰ درصد بدست آمد. EF مربوط به پارامتر رطوبت در محدوده‌ی ۵۰-۸۳ در صد بود که درکل، نتایج قابل قبول بود. برای مشاهده معنی‌دار بودن اختلاف مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده از آزمون T برای نمونه‌های جفت در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ استفاده شد، که نتایج حاصل در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج حاصل از آزمون T برای نمونه‌های جفت نشان می‌دهد که برای پارامترهای گیاهیِ شاخص سطح برگ و ارتفاع گیاه، هیچ اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده وجود نداشت. برای پارامتر گیاهیِ ماده خشک در همه تیمارها در طی دوسال به جز تیمار DI55 در سال اول اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

برای پارامتر رطوبت خاک تنها در سال دوم برای تیمار DI55 اختلاف معنی‌داری وجود داشت. در کل، نتایج حاصل از شاخص‌های آماری و آزمون T برای نمونه‌های جفت نشان دادند که مدل Daisy عملکرد خوبی برای شبیه‌سازی توأم میزان محصول گیاه و رطوبت خاک دارد و می‌توان از آن برای اجرای سناریوهای مختلف آبیاری در شرایط کشت زراعی استفاده نمود.

جدول ۳-نتایج .sig (احتمال) حاصل از بررسی مقایسه میانگین در آزمون T برای نمونه‌های جفت موجود در نرم‌افزار SPSS به منظور مشاهده‌ی معنی‌دار بودن اختلافات مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده پارامترهای گیاهی و پارامتر رطوبت خاک

سال	تیمار	شاخص سطح برگ	ارتفاع گیاه	ماده خشک	رطوبت
	FI	۰/۷۶۳$^{n.s}$	۰/۹۲۶$^{n.s}$	۰/۲۸۰$^{n.s}$	۰/۳۴۷$^{n.s}$
۱۳۹۱	DI75	۰/۱۴۱$^{n.s}$	۰/۱۲۸$^{n.s}$	۰/۰۵۶$^{n.s}$	۰/۱۹۲$^{n.s}$
	DI55	۰/۱۵۳$^{n.s}$	۰/۰۵۱$^{n.s}$	۰/۰۱۳*	۰/۰۶۸$^{n.s}$
	FI	۰/۱۳۳$^{n.s}$	۰/۲۵۲$^{n.s}$	۰/۵۳۲$^{n.s}$	۰/۲۴۷$^{n.s}$
۱۳۹۲	DI75	۰/۶۳۶$^{n.s}$	۰/۹۰۹$^{n.s}$	۰/۲۳۹$^{n.s}$	۰/۰۷۵$^{n.s}$
	DI55	۰/۱۸۶$^{n.s}$	۰/۳۲۹$^{n.s}$	۰/۰۵۶$^{n.s}$	۰/۰۰۵**

* و ** : به ترتیب معنی‌دار بودن در سطوح ۵ و ۱ درصد و n.s: اختلاف معنی‌دار نیست.

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه مدل Daisy، به عنوان یک مدل جامع در زمینه شبیه‌سازی سیستم آب-خاک-گیاه معرفی شده است، هدف از این تحقق، ارزیابی مدل Daisy برای شبیه‌سازی توأم مقدار محصول و میزان رطوبت خاک بود. گیاه مورد بررسی آفتاب‌گردان بود که اطلاعات مربوط به زیرمدل محصول با استفاده از منابع معتبر و پیش-فرض‌های معادلات تجربی مدل ساخته شد. بدین منظور، تیمارهای آبیاری کامل (FI) طی دو سال جهت اعتبارسنجی استفاده شدند، جهت ارزیابی مدل در شرایط تنش آبی، تیمارهای DI75 و DI55 طی دوسال زراعی برای گیاه آفتاب‌گردان اعمال شد و پارامترهای گیاهی شاخص سطح برگ، ارتفاع گیاه، مقدار ماده خشک گیاه و پارامتر رطوبت خاک اندازه‌گیری شدند. شرایط به طور کامل برای مدل Daisy تعریف شد و نتایج شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده هم در نمودارهایی نسبت به خط یک به یک، هم با شاخص‌های آماری R^2، NRMSE و ضریب کارایی مدل (EF) و هم معنی‌دار بودن اختلاف آنها با نرم‌افزار SPSS سنجیده شد. نتایج حاصل از اعتبارسنجی نشان دادند که مدل Daisy بهترین عملکرد و همبستگی را در تیمار FI با کمترین NRMSE و بالاترین EF در هر سه پارامتر گیاهی داشت و در سایر تیمارها نیز همبستگی بالایی مشاهده شد. نتایج آزمون T برای نمونه‌های جفت نشان دادند که تنها در پارامتر DM تیمار DI55 در سال اول اختلاف معنی‌داری بین مقادیر شبیه سازی و اندازه‌گیری شده مشاهده شد و در سایر تیمارها هیچ اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده نشد. نتایج مربوط به رطوبت نشان داد که مدل توانست مقادیر رطوبت را با میانگین NRMSE برابر با ۰/۰۳۹، ۰/۰۶۱ و ۰/۰۹۲۵ به ترتیب برای تیمارهای FI، DI75 و DI55 به صورت قابل قبولی شبیه‌سازی نماید. نتایج آزمون T برای نمونه‌های جفت در سطح ۵ درصد برای مقادیر رطوبتی نشان دادند که تنها در تیمار DI55 برای سال دوم اختلاف معنی‌داری بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده مشاهده شد و در سایر تیمارها هیچ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در ارزیابی کلیه‌ی پارامترهای تحت بررسی نتیجه‌گرفته شد که وقتی ذخیره آب در منطقه ریشه محدود نباشد و یا به عبارتی تنش آب کمتر باشد و یا وجود نداشته باشد، مدل Daisy عملکرد بهتری در شبیه‌سازی پارامترهای خروجی خواهد داد، که بر این اساس پیشنهاد می‌گردد، تحقیقاتی در زمینه کم‌آبیاری و اصلاح و کالیبره روابط مربوط به تنش آب در مدل، به منظور بهبود شبیه‌سازی در شرایط کم‌آبیاری صورت گیرد. در کل، نتایج حاصل از ارزیابی مدل Daisy نشان داد که مدل توانایی خوبی در شبیه‌سازی سیستم آب-خاک-گیاه دارد و می‌توان از آن به عنوان یک مدل کاربردی جهت شبیه‌سازی شرایط محصول و رطوبت در گیاهان زراعی استفاده نمود.

منابع

راضی، ه.، آساد، م. ۱۳۷۷. ارزیابی تغییرات صفات مهم زراعی و معیارهای سنجش تحمل به خشکی در ارقام آفتاب‌گردان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۲۰ ۱: ۳۱-۴۳.

سپاسخواه، ع.ر.، توکلی، ع.ر.، موسوی، ف. ۱۳۸۵. اصول و کاربردهای کم‌آبیاری. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران: ۱-۷.

قدمی فیروزآبادی، ع. ۱۳۹۴. مدیریت مصرف آب و تغییرات رطوبت خاک در آبیاری کامل، کم‌آبیاری تنظیم شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه در گیاه آفتابگردان. رساله دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبعی ساری.

هاشمی، س. ف.، شاهنظری، ع.، رائینی، م.، قدمی فیروزآبادی، ع. و امیری، ا. ۱۳۹۷. بررسی ضرایب ورودی گیاهی مدل WOFOST در شرایط کم‌آبیاری بخشی ریشه‌ای برای گیاه آفتاب‌گردان. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۳۲ (۴): ۶۶۰-۶۴۷.

Abrahamsen, p. 2014. Daisy Program Reference Manual. University of Copenhagen, Department of Basic sciences and environment, Environmental

optimizing deficit irrigation systems in arid and semi-arid countries under climate variability. Water Resources management. 26: 997-1014. DOI 10.1007/s11269-011-9906-y

Lammoglia, S.K., Brun, Franç. Quemar, T., Moeys, J., Barriuso, E., Gabrielle, Benoî and Mamy, L. 2018. Modelling pesticides leaching in cropping systems: Effect of uncertainties in climate, agricultural practices, and soil and pesticide properties. Environmental Modelling and Software. Doi: 10.1016/j.envsoft.2018.08.007.

Makkink, G.F. 1957. Ekzameno de la formula de Penman. Netherlands Journal of Agricultural Science. 5: 290-305.

Nash, J.E and Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models Part 1. A discussion of principles. Journal of Hydrology. 10: 282–290.

Plauborg, F., Abrahamsen, P., Gjettermann, B., Mollerup, M., Iversen, B.V., Liu, F., Andersen, M.N and Hansen, S. 2010. Modelling of root ABA synthesis, stomatal conductance, and transpiration and potato production under water saving irrigation regimes. Agricultural water management. 98: 425-439.

Richard, L.A. 1931. Capillary conductivity of liquids in porous mediums. Physics 1: 318-333.

Salazar O., Nájera F., Tapia W. and Casanova M. 2017. Evaluation of the DAISY model for predicting nitrogen leaching in coarse-textured soils cropped with maize in the Mediterranean zone of Chile. Agricultural Water Management. 182: 77-86.

Sepaskhah, A.R and Khajehabdollahi, M.H. 2005. Alternative furrow irrigation with different irrigation intervals for maize (Zea mays L.). Plant Production Science. 8: 592–600.

Sepaskhah, A.R. and Akbari, D. 2005. Deficit irrigation planning under variable seasonal rainfall. Biosystems Engineering. 92 (1): 97-106.

Shahnazari, A., Jensen, C.R., Liu, F., Jacobsen, S.-E and Andersen, M.N. 2005. Partial root zone drying for water saving. Organized by Kasetsart University and Swiss federal institute of technology (Eds), in: Ikke angivet. Kasetsart University: 75-80.

Strzepek, K and Boehlert, B. 2010. Competition for water for the food system. Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B. 365: 2927‑2940.

Van der Keur, P., Hansen, S., Schelde, K and Thomsen, A. 2001. Modification OD Daisy SVAT model for use of remotely sensed data. Agricultural and Forest Meteorology. 106(3): 215-231.

chemistry and physics (March 26, 2014). 558p. daisy@daisy-model.org

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56. (FAO, Rome)

Dyer, H.J., Skok, J and Scully, N.J. 1959. Photoperiodic behavior of sunflower. Botanical Gazette. Published by the university of Chicago press. 121(1):50-55. https://www.jstor.org/stable/2473118.

Conner, D.J and Hall, A.J. 1997. Sunflower Physiology In: Schneiter AA, ed. Sunflower technology and production, monograph No. 35. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 113–182.

English, M.J., Musick, J.T and Murty, V.V.N. 1990. Deficit irrigation. In: Hoffman, G.J., Howell, T.A and K.H. Solomon (Eds), Management of farm irrigation systems. ASAE Monograph no. 9. American Society of Agricultural Engineers publisher. 1020p.

FAO. 1990. Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Annex V. FAO Penman-Monteith Formula.

Geerts, S and Raes, D. 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agriultraul Water Management. 96: 1275–1284.

Hansen, S. 2002. Daisy, a flexible Soil-Plant-Atmosphere system Model. The Royal veterinary and agricultural university, department of Agriculture science, Laboratory for agrohyrology and bioclimatology: 47P.

Hansen S., Jensen, H.E., Nielsen, N.E and Svendsen, H. 1991. Simulation of nitrogen dynamics and biomass production in winter wheat using the Danish simulation model Daisy. Fertilizer Research. 27: 245-259.

Hansen, S., Jensen, H.E., Nielsen, N.E and Svendsen, H. 1990. DAISY: Soil Plant Atmosphere System Model. NPO Report No. A 10. The National Agency for Environmental Protection, Copenhagen. (http://daisy.ku.dk/publications/A10.pdf). 272 pp.

Hansen, S. 1984: Estimation of potential and actual evapotranspiration. Nordic Hydrology. 15: 205- 212.

Kloss, S., Schütze, N and Schmitz, G.H. 2010. Comparison of SVAT models for simulating and optimizing deficit irrigation system in arid and semi-arid countries under climate variability. Geophysical. EGU General Assembly. 2-7 May 2010, Vienna.

Kloss, S., Schütze, N and Schmitz G.H. 2012. Evaluation of crop models for simulating and

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 14, Apr.-May. 2020, p. 251-262

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۴، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۹، ص. ۲۶۲-۲۵۱

Evaluation of Daisy Model for Simulating the Two-Dimensional Water Movement in the Soil and the Sunflower Yield

H. Pouryazdankhah[1], A. Shahnazari[2*], M. Ziatabar Ahmadi[3], M.R. Khaledian[4], M.N. Andersen[5]

Recived: Jul.29, 2019 Accepted: Nov.04, 2019

Abstract

Using the simulated models can help the users to approach the attitude of applying different managements. Therefore, identifying and evaluating the models in this case is non-negligible. The Daisy model is one of the most comprehensive models for simulating of the water-soil-plant-atmosphere system whose performance was evaluated in this study. Based on the data of three irrigation treatments: Full irrigation (FI) and deficit irrigation (DI) at 75% and 55% level during two years, the conditions were defined in the model and the crop submodel was made for the sunflower. The yield parameters were measured and compared with simulated values based on R^2, NRMSE and efficiency coefficients (EF). The model was validated based on the results of full irrigation treatments and the model performance was also evaluated based on irrigation treatments. The results showed that Daisy has a very acceptable performance by the mean of NRMSE for the leaf area index(LAI), height(H) and dry matter(DM) and water content estimated 0.059, 0.036, 0.031 and 0.064 and the mean EF were equal to 85.67, 33.82, 91.5 and 67 percent. The rang of R^2 was 0.799-0.999. The significance of the difference between simulated and observed values was compared by T-test for the paired samples in SPSS. The total results showed that the model could simulate the full irrigation better than the deficit irrigation. In general, Daisy could be used as an applied model to simulate the conditions of irrigation projects under different management.

Keywords: Controlled deficit irrigation, Dry matter, Full irrigation, Leaf area index, Water content

1- Ph.D. Student, Department of Water Sciences, Faculty of Engineering Sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran
2- Professor, Department of Water Sciences, Faculty of engineering Sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran
3- Professor. Department of Water Sciences, Faculty of engineering Sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran
4- Associate Professor, Water Engineering Dept., Faculy of Agriculture Sciences, University of Guilan, and Department of Water Engineering and Environment, Caspian Sea Basin Research Center, Rasht, Iran
5- Professor, Department of Agroecology, Aarhus University, Denmark
(*- Corresponding Author Email: aliponh@yahoo.com)