شبیه‌سازی آب خاک و عملکرد گیاه کلزا توسط مدل گیاهی CRPSM

تورج هنر[۱*]، علی ثابت سرورستانی[۱]، علیرضا سپاسخواه[۱]، علی اکبر کامگارحقیقی[۱]

و شیده شمس[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۸/۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۰/۲۵)

چکیده

در سال‌های اخیر شبیه‌سازی عملکرد گیاهان، مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته شده است. چرا که ضمن کاهش هزینه‌های اجرایی، امکان شبیه‌سازی در شرایط مختلف را به آسانی فراهم می‌آورد. در این تحقیق ضمن اضافه نمودن زیر برنامه گیاه کلزا به مدل گیاهی CRPSM، اثر تیمارهای مختلف آبی روی کلزا مورد آزمون قرار گرفت. در این بررسی گیاه کلزا واریته طلایه تحت ۵ تیمار آبی مختلف (تیمار آبیاری کامل (شاهد)، تنش آبی در مرحله رشد رویشی مجدد در بهار، در مرحله گلدهی و تشکیل غلاف، مرحله رسیدن دانه و تیمار دیم با آبیاری تکمیلی در اول رشد) در چهار تکرار در قالب بلوک‌های کامل تصادفی، در سال زراعی ۱۳۸۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (باجگاه)، کشت گردید و سپس مدل اصلاح شده براساس اطلاعات موجود (خاک-محل-گیاه-آب) واسنجی شد. بررسی آماری مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده حاکی از دقت بالای مدل در تخمین میزان محصول (R^2=۰/۹۸) و آب خاک بود. هم‌چنین نتایج اعتبارسنجی مدل با سری داده‌های مستقل نیز نشان داد که نتایج به دست آمده از واحد آب خاک مدل به استثنای تیمار دیم مطلوب می‌باشد و هم‌بستگی مناسبی مابین مقدار عملکرد محصول شبیه‌سازی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده (R^2=۰/۹۸) دیده شد.

واژه‌های کلیدی: کلزا، مدل گیاهی، شبیه‌سازی آب خاک

۱. به ترتیب دانشیار، دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد و اساتید مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲. دانشجوی دکتری دانشکده هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: toorajhonar@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان و محصول در واقع بیان ریاضی مراحل و فرآیندهای رشد گیاه تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی و مدیریتی است. این مدل‌ها برای هدف‌های مختلفی ایجاد شده و هر کدام نیازمند دانستن جزئیات فرآیندهای رشد گیاه و نیز حساسیت این فرآیندها به محیط در مدیریت‌های مختلف می‌باشند. تاکنون تعداد زیادی از این مدل‌ها به شکل‌های متفاوت بسیار ساده (در حد یک رابطه ساده) تا بسیار پیچیده، ارائه شده‌اند. که نتایج به دست آمده از این مدل‌ها کمک شایانی در جهت اعمال سیستم‌های مدیریتی زراعی به محققین نموده است. از ساده‌ترین مدل‌های ارائه شده جهت شبیه‌سازی بیلان آب خاک و تولید محصول مدل هنکس (۸) می‌باشد که بدون در نظر گرفتن روابط پیچیده جریان آب خاک و با استفاده از روابط بیلان حجمی، میزان تبخیر بالقوه، تعرق بالقوه، تعرق واقعی و فرونشت عمقی (۱۳) را محاسبه و با توجه به اطلاعات مربوط به مراحل مختلف رشد، توسط معادله ۱ محصول نهایی را تعیین می‌نماید.

$$\frac{Y_a}{Y_p}=\prod_{i=1}^{n}\left[\frac{T_a}{T_p}\right]^{\lambda_i} \qquad [1]$$

که در آن:

Y_a و Y_p : میزان محصول واقعی و بالقوه در مراحل مختلف رشد

T_a و T_p: تعرق واقعی و بالقوه در مراحل مختلف رشد

λ_i: ضریب حساسیت گیاه در مراحل مختلف رشد

راسموسن و هنکس (۱۲) با ایجاد تغییراتی در مدل هنکس (۸) اقدام به شبیه‌سازی مدل گندم بهاره کردند. این مدل علاوه بر شبیه‌سازی مراحل مختلف رشد گیاه توسط روز درجات تجمعی، عمق ریشه را نیز در مراحل مختلف رشد پیش‌بینی می‌نماید.

مدل CRPSM توسط هیل و همکاران (۹) ارائه شد. این مدل با تأثیر شرایط آب و هوایی در مراحل مختلف رشد گیاهی، میزان محصول نهایی را با توجه به اثر مقدار آب خاک در هر مرحله از رشد گیاه پیش‌بینی می‌کند. مدل شبیه‌ساز بیلان آب خاک این مدل، مشابه مدل هنکس (۸) می‌باشد که با ترکیب مدل شبیه‌ساز فنولوژی گیاه، مقدار محصول را به صورت تابعی از مقدار آب قابل استفاده خاک در طی دوره رشد محاسبه می‌نماید. در مدل CRPSM تنها زیر برنامه‌های فنولوژی در تخمین محصولات مختلفی از جمله یونجه (۱۱)، لوبیا (۱۴)، سیب‌زمینی (۱۰)، ذرت (۷)، گندم (۲) و ذرت (۶) در نظر گرفته شده است که فقدان گیاه کلزا مشاهده می‌شود. مدل CRPSM برای گندم زمستانه رقم عدل واسنجی و اصلاح شد و آن CRPSM1 نام‌گذاری گردید (۲). موارد اصلاحی در مدل CRPSM1 مواردی از جمله تابش روزانه خورشیدی رسیده به سطح زمین، تبخیر از سطح خاک، دوره زمانی، رشد ریشه می‌باشد. مدل CRPSM2 با تکمیل مدل CRPSM1 ارائه گردید این مدل تنها با داشتن آمار روزانه بارندگی و دمای حداکثر و حداقل در مناطق فاقد اطلاعات کامل هواشناسی قابل اجراست می‌باشد (۲).

مدل CRPSM را برای تخمین محصول و مدیریت آبیاری ذرت مورد واسنجی قرار گذفت و معادله تبخیر و تعرق مناسب جهت واحد شبیه‌ساز آب خاک، عمق و زمان رسیدن ریشه به حداکثر مقدار رشد، ضریب حساسیت تولید محصول (λ)و منحنی ضریب گیاهی ذرت رقم ۷۰۴ را به صورت تابعی از روز درجات تعیین گردید (۶). هم‌چنین در بررسی دیگری معادله فائو جهت تخمین تبخیر- تعرق بالقوه گیاه مرجع به روش پنمن- مانتیث، به مدل CRPSM اضافه شد. ارزیابی مدل نشان داد که استفاده از این مدل در تخمین میزان عملکرد لوبیای چشم بلبلی برای منطقه باجگاه نیز قابل اعتماد است (۳). تاکنون مدل‌های مختلفی برای گیاهان مهم زراعی مانند گندم، ذرت و غیره مورد واسنجی و ارزیابی قرار گرفته است. ولی در مورد گیاهان روغنی مدل‌های گیاهی کمتری به کار گرفته شده است. هم‌چنین با توجه به آنکه مدل CRPSM قابلیت انعطاف برای گیاهان زراعی مختلف را داراست و با توجه به کمبود تحقیق در مورد مدل کردن گیاهان روغنی از جمله کلزا در این

Archive of SID
www.SID.ir

تحقیق زیر برنامه تخمین و شبیه‌سازی آب خاک به مدل CRPSM اضافه شد. لذا با توجه به بررسی مطالعات انجام شده و عدم بررسی موارد زیر، اهداف این تحقیق به صورت ذیل است:

۱. تعیین اثرات تنش آبی در مراحل مختلف رشد برروی عملکرد گیاه کلزا واریته طلایه. ۲. توسعه مدل CRPSM جهت شبیه‌سازی عملکرد و میزان آب موجود در خاک در کشت گیاه کلزا واریته طلایه تحت تیمارهای تنش آبی در مراحل رشد و مقایسه آن با داده‌های حاصل از آزمایش در منطقه باجگاه استان فارس.

مواد و روش‌ها

شرح عملیات زراعی

در ابتدا جهت واسنجی مدل CRPSM گیاه کلزا واریته طلایه در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (باجگاه، ارتفاع ۱۸۱۰ متری از سطح دریا، عرض ˝۳۶ ˚۲۹ و طول ˝۳۲ ˚۵۲) تحت تیمارهای تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد طی سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ کشت گردید. آزمایش‌ها در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی، شامل پنج تیمار در چهار تکرار انجام گرفت. تا شروع دوره رشد رویشی مجدد، (اواخر اسفند ماه) تمامی تیمارها دارای شرایط یکسان بوده که پس از آن اعمال تیمارها شروع گردید. تیمارهای مورد بررسی در این آزمایش عبارت بودند از:

I_1: تیمار شاهد یا تیمار آبیاری در کل دوره رشد

I_2: تیمار تنش آبی در مرحله رشد رویشی مجدد در بهار

I_3: تیمار تنش آبی در مرحله گلدهی و تشکیل غلاف

I_4: تیمار تنش آبی در مرحله رسیدن دانه

I_5: تیمار دیم با آبیاری تکمیلی در ابتدای مرحله کاشت و جوانه‌زنی

در این تحقیق مراحل مختلف رشد به صورت مشاهده‌ای و با استفاده از پژوهش زواره و امام (۴) تعیین گردید. کرت‌های آزمایشی به ابعاد ۱۰ در۳ متر و فاصله بین پشته‌ها نیز ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بین هر دو کرت فاصله‌ای به اندازه دو جویچه تعیین گردید تا از نفوذ آب از کرتی به کرت دیگر جلوگیری به عمل آید. هم‌چنین در تاریخ ۸۶/۶/۳۱ بذر به صورت دستی و با تراکم ۱۵۰ عدد بذر در یک مترمربع یا ۶ کیلوگرم بذر در هکتار بر روی پشته‌ها کاشته شد. مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود ازته اوره (۵۰ کیلوگرم در هکتار هنگام کاشت و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در هنگام شروع دوره رشد رویشی) و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل در زمان شخم‌زدن به طور مساوی در تمام کرت‌ها توزیع شد. در روزهای قبل از آبیاری رطوبت خاک توسط دستگاه نوترون‌متر (مدل CPN 503 DR) در هر کرت به طور مستقل تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری (در فواصل ۲۰ سانتی‌متری) و برای هر کرت میزان آبیاری به نحوی تعیین شد که با رسانیدن رطوبت در ناحیه ریشه به حد ظرفیت زراعی (جدول ۱) کمبود رطوبت تأمین گردد. در طول فصل رشد و پس از اعمال تیمار با آبیاری در تاریخ ۸۶/۱۲/۱۶ تنها در تاریخ ۸۷/۱/۱۶ به میزان ۳/۵ میلی‌متر در منطقه بارندگی داشتیم که با توجه به ناچیز بودن میزان بارندگی تأثیر چندانی در نتایج آزمایش ایجاد نمی‌شود.

در این بررسی جهت تعیین طول ریشه با توجه به نتایج نامناسب به دست آمده از لوله‌های شفاف، تغییرات طول ریشه بر مبنای تغییر رطوبت در عمق‌های مختلف ناشی از جذب آب توسط ریشه انجام گرفت. با توجه به محاسبات انجام شده حداکثر عمق ریشه پیش از اعمال تیمارها ۶۵ سانتی‌متر بوده که این مقدار در پایان فصل رشد به ۹۰ سانتی‌متر افزایش می‌یابد. هم‌چنین در طول فصل رشد تبخیر- تعرق واقعی گیاه از رابطه بیلان آب خاک محاسبه شد. در نهایت با زرد شدن پوست غلاف‌ها و به قهوه‌ای گراییدن رنگ دانه‌های موجود در غلاف عملیات برداشت در تاریخ ۸۷/۳/۲۱ به صورت دستی و با داس از سطحی به اندازه یک مترمربع انجام شد. ولی عملیات برداشت در تیمار دیم به علت کمبود بارندگی در طول فصل رشد در تاریخ ۸۷/۳/۱۲ انجام گردید.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. چگالی ظاهری (ρ_b) و درصد رطوبت حجمی خاک در اعماق مختلف در حالت ظرفیت زراعی (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP)

عمق (cm)	۰–۱۰	۱۰–۳۰	۳۰–۵۰	۵۰–۷۰	۷۰–۹۰	۹۰–۱۱۰	۱۱۰–۱۳۰
$FC(cm^3.cm^{-3})$	۰/۳۱	۰/۳۸	۰/۳۹	۰/۴	۰/۴	۰/۴۱	۰/۴
$PWP(cm^3.cm^{-3})$	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶
$\rho_b(g.cm^{-3})$	۱/۲۳	۱/۴	۱/۴۶	۱/۴۶	۱/۴۶	۱/۴۶	۱/۴۶
بافت خاک	Silty clay loam	Silty clay loam	Silty clay loam	Silty clay loam	Silty clay loam	Silty clay loam	Silt loam

شرح مدل CRPSM

مدل CPRSM به زبان «فرترن چهار» نوشته شده و شامل یک برنامه اصلی و هفت برنامه فرعی می‌باشد. برنامه اصلی مدل جهت فعال‌سازی زیر برنامه‌ها به وسیله ارقام کنترل وارد شده در فایل ورودی و کنترل آن‌ها توسط مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد که در نهایت با قرائت رقم کنترل توقف توسط این واحد، اجرای مدل متوقف و نهایتاً فایل خروجی تکمیل و ارائه می‌گردد.

وظایف هفت زیر برنامه فرعی مدل ذیلاً تشریح گردیده است:

۱. موقعیت و خاک محل آزمایش (STSLDT): در این زیر برنامه اطلاعات مربوط به محل آزمایش از جمله، نام محل، ارتفاع از سطح دریا (متر)، طول و عرض جغرافیایی (درجه)، تعداد لایه‌های خاک (۲ الی ۱۵ لایه) و ضخامت آنها (متر)، حداکثر عمق ریشه، درصد آب اولیه هر لایه و ماه و روز قرائت آن، ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی هر لایه (درصد حجمی) و شماره مرحله رشد گیاه توسط کاربر به مدل داده می‌شود.

۲. محیط مورد آزمایش (ENVRDT): در این زیر برنامه با ورود اطلاعات، مدل قادر خواهد بود تا تبخیر- تعرق بالقوه را به روش‌های پنمن، جنسن و هیز، بلانی وکریدل و هارگریوز محاسبه و ذخیره نماید.

اطلاعات مورد نیاز در این زیر برنامه عبارت‌اند از:

متوسط دمای حداکثر روزانه گرم‌ترین ماه و متوسط دمای حداقل روزانه گرم‌ترین ماه (C°)، سرعت حد باد، سرعت باد روزانه (mile/d)، ارتفاع اندازه‌گیری باد (متر) و ضرایب مورد نیاز تابع باد، ضرائب مربوط به تابع مقدار تابش خورشیدی در شرایط آسمان غیرابری (R_{so})، حداکثر و حداقل دمای روزانه و دمای تر و خشک روزانه در ساعت ۷ صبح (C°)، ساعات آفتابی واقعی اندازه‌گیری شده (h_r) و مقدار بارندگی روزانه و تبخیر روزانه از تشت تبخیر کلاس الف و ضرایب بخش تابش رابطه پنمن اصلاح شده (a، b، a_1 و b_1):

$$R_s = [a\frac{R_s}{R_{so}} + b]R_{bo} \qquad [۲]$$

که در آن، R_b، تابش خالص موج بلند برگشتی، a و b، ضرائب تجربی، R_s، تابش خورشیدی موج کوتاه رسیده، R_{so}، تابش خورشیدی موج کوتاه در شرایط آسمان غیرابری و R_{bo}، تابش خورشیدی موج بلند در شرایط آسمان غیرابری هستند. جنسن در شرایط عمومی مقادیر b_1=-۰/۰۵، a_1=۰/۳۹، b=-۰/۲ و a=۰/۳۹ پیشنهاد نمود.

۳. گیاه (CRPDAT): در این زیر برنامه اطلاعات مربوط به نوع و شماره واریته گیاه، ماه و روز کشت (میلادی) توسط کاربر وارد شده و براساس آن فنولوژی گیاه توسط مدل تعیین می‌شود سپس با توجه به ضرائب منحنی تعرق، میزان محصول نهایی که تابعی از میزان تعرق در مراحل مختلف رشد گیاه است، مشخص می‌گردد. در این بررسی به منظور استفاده از مدل CRPSM برای شبیه‌سازی فنولوژی و تولید محصول کلزا زمستانه واریته طلایه در باجگاه، زیر برنامه گیاهی کلزا براساس شرایط زیر به مدل اضافه گردید.

Archive of SID
www.SID.ir

الف) تعیین دوره رشد گیاه براساس مراحل رشد به صورت مشاهده‌ای و نیز با استفاده از پژوهش زواره و امام (۴).

ب) تبیین منحنی ضریب گیاهی و رشد ریشه با استفاده از روز درجات تجمعی، در مدل CRPSM (۹) منحنی ضریب گیاهی تعرق مطابق با معادله رایت ارائه شده است. در این حالت منحنی ضریب گیاهی تعرق به دو قسمت یکی تا پوشش مؤثر (معادله ۳) و دیگری بعد از پوشش مؤثر(معادله ۴) تقسیم شده است. در قطعه اول منحنی مقدار ضریب گیاهی تعرق به‌صورت تابعی از نسبت روزانه رشد تا پوشش مؤثر و در قطعه دوم آن ضریب گیاهی تعرق به صورت تابعی از روزهای بعد از پوشش مؤثر بیان شده است.

$$K_c t = F\left(\frac{t_1}{t_{eff.cover}}\right) \qquad [۳]$$

$$K_c t = F(t_2) \qquad [۴]$$

که در آنها $K_c t$ ضریب گیاهی تعرق، t_1 زمان حسب روز از تاریخ کاشت و $t_{eff.cover}$ روز رسیدن به پوشش مؤثر و t_2 روزهای پس از پوشش مؤثر می‌باشند. در این بررسی با استفاده از روز درجات تجمعی معادلات (۵) و (۶) به جای (۳) و (۴) برای تعیین ضریب گیاهی تعرق تعیین و در مدل استفاده گردید (۲).

$$K_c t = F\left(\frac{GDD}{GDD_{eff.cover}}\right) \qquad [۵]$$

$$K_c t = F(GDD) \qquad [۶]$$

که در آن GDD مقدار روز درجات تجمعی از زمان کاشت گیاه و $GDD_{eff.cover}$ مقدار روزدرجات تجمعی در زمان پوشش مؤثر می‌باشند. به این ترتیب دو چند جمله‌ای درجه ۳ زیر برای منحنی ضریب گیاهی تعرق شکل زیر تعیین و در مدل جایگزاری گردید.

$$Kct = 0/3077 - 0/5271x + 2/6742x^2 - (-1/5081)x^3$$
$$R^2 = 0/9412 \qquad [۷]$$

$$Kct = -22/852 - 0/0683x + 0/00006x^2 - 0/0000007x^3$$
$$R^2 = 0/987 \qquad [۸]$$

معادلات ۷ و ۸ برآورد کننده ضریب گیاهی تعرق (Kct) قبل و بعد از پوشش مؤثر می‌باشند. و در آن x، نسبت روز درجات تجمعی به روز درجات تجمعی تا زمان پوشش مؤثر می‌باشد.

ج) ضرایب حساسیت تولید محصول: این ضرایب با توجه به معادله ۹ استخراج گردید که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

$$\frac{Y}{Y_m} = \left(\frac{T_1}{T_{m2}}\right)^{\lambda_{11}} \times \left(\frac{T_2}{T_{m2}}\right)^{\lambda_2} \times \left(\frac{T_3}{T_{m3}}\right)^{\lambda_3} \qquad [۹]$$

که در این رابطه T_1، T_2 و T_3 به ترتیب میزان تعرق در مرحله رشد رویشی مجدد، گلدهی و پرکردن دانه‌ها می‌باشند. و T_{m1}، T_{m2} و T_{m3} نیز به ترتیب میزان تعرق پتانسیل در همین مراحل رشد هستند.

۴. مدیریت آبیاری (MANDAT): با اجرای این زیر برنامه چهار حالت مدیریتی متفاوت آبیاری را می‌توان در مدل اجرا نمود، آبیاری در زمان معین با مقدار تعیین شده، آبیاری با مقدار و دور ثابت، آبیاری با مقدار ثابت در زمان کاهش حد مجاز آب خاک و تعیین بهترین زمان و مقدار آب برای یک آبیاری که تأثیر این حالات در میزان محصول در زیر برنامه بیلان آب خاک فعال می‌شود.

۵. بیلان آب خاک (SOILBD): این زیر برنامه با استفاده از اطلاعات موجود در زیر برنامه‌های ذکر شده و با انجام بیلان حجمی آب خاک در اعماق مختلف ریشه، میزان تعرق واقعی و تعرق بالقوه را محاسبه و در نهایت محصول نهایی تعیین می‌شود.

۶. محاسبه روز درجه در طول دوره رشد گیاه (GRWUNT): این زیر برنامه بدون ارتباط مستقیم با سایر زیر برنامه‌ها مقدار روز درجه در طول دوره رشد گیاه را تعیین می‌نماید.

۷. قرائت مقادیر آب خاک اندازه‌گیری شده (NPEOBE): این زیر برنامه مقادیر آب خاک شبیه‌سازی شده توسط زیر برنامه SOILBD را با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه و ضریب هم‌بستگی آنها را تعیین و چاپ می‌کند. این زیر برنامه هم‌چنین

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. ضرایب حساسیت تعرق گیاه کلزا پاییزه واریته طلایه در مراحل مختلف رشد

مرحله رشد	ضریب حساسیت تعرق
شروع رشد رویشی مجدد	۰/۹۱
شروع گلدهی	۰/۵۴
شروع پر کردن دانه‌ها	۰/۱۹
رسیدن فیزیولوژیکی	

مقادیر آب خاک اندازه‌گیری شده را همراه با سایر مقادیر شبیه‌سازی شده در یک فایل خروجی کمکی درج می‌نماید.

ارزیابی مدل

برای مقایسه داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل با آنچه در واقعیت اندازه‌گیری شده است شاخص‌های آماری زیر مورد استفاده قرار گرفت:

- شاخص RMSE یا مجذور میانگین مربعات خطا،

$$RMSE = \left[\left(\frac{1}{N}\right)\sum_{i=1}^{N}((Qi)-(Pi))^2\right]^{0/5}$$

- شاخص توزیع پراکندگی یا واریانس،

$$Sd^2 = (N-1)^{-1}\sum_{i=1}^{N}(Pi - Oi - MBE)$$

- شاخص MAE،

$$MAE = N^{-1}\sum_{I=1}^{N}|Pi - Oi|$$

که در آنها P_i و O_i مقادیرداده‌های شبیه‌سازی و مشاهده شده و N تعداد داده‌ها می‌باشد.

در تمام شاخص‌های ذکر شده هر چه میزان شاخص کوچک‌تر باشد بیانگر دقت و نزدیکی داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده است.

و همچنین شاخص توافق، $d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(Pi - Oi)^2}{\sum_{i=1}^{N}(|Pi'| + |Oi'|)^2}$ که مقادیر *Oi'* و *Pi'* به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$Oi' = Oi - \bar{O}$ و $Pi' = Pi - \bar{O}$، که $\bar{O}$ میانگین مقادیر داده‌های مشاهده شده است. d بین صفر و ۱ متغییر بوده و نزدیکی این عدد به یک بیانگر دقت بیشتر و نزدیکی مشاهدات و پیش‌بینی‌هاست.

علاوه بر آن R^2 (مجذور ضریب هم‌بستگی) نیز در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

پس از اصلاح مدل CRPSM برای گیاه کلزا واریته طلایه، مدل برای تیمارهای مختلف آزمایشی مورد برازش قرار داده شد که در ادامه به شرح آن پرداخته می‌شود.

نتایج واحد آب خاک مدل

جهت تخمین عملکرد با دقت هر چه بیشتر نیاز به تشابه مقادیر آب خاک برآورد شده توسط مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. آزمون‌هایی به طور جداگانه برای ۵ تیمار (I_1، I_2، I_3، I_4 و I_5) انجام گردید. تغییرات رطوبت در طول دوره رشد برای تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که در ابتدای فصل کشت با آبیاری نخست مقدار رطوبت خاک افزایش یافته و سپس در روزهای پس از آبیاری بر اثر تبخیر از خاک رطوبت به مرور کاهش می‌یابد که با آبیاری بعدی (۱۰ روز پس از کشت) این کاهش جبران می‌گردد. پس از این تاریخ با جوانه‌زنی و رویش گیاه مجدداً رطوبت خاک به دلیل تبخیر از

Archive of SID
www.SID.ir

سطح خاک و تعرق از گیاه کاهش یافته و با آبیاری در تاریخ ۲۰ روز پس از کشت این کاهش جبران شده است. این روند تا ۶۰ روز پس از کشت که گیاه به صورت بوته در آمده است، ادامه می‌یابد. از ۶۰ روز پس از کشت به بعد گیاه وارد مرحله رکود خواب زمستانه می‌شود و مقدار رطوبت خاک به علت کاهش شدید تبخیر-تعرق تغییر نمی‌یابد و مقدار بارندگی‌هایی که در این دوره اتفاق افتاده است باعث افزایش رطوبت خاک می‌گردد. از تاریخ ۱۵۰ روز پس از کشت، گیاه از خواب زمستانه خارج و وارد مرحله رشد فعال می‌شود. سپس از این تاریخ تا پایان فصل کشت تیمارها شروع می‌گردند. شکل ۱ نشان‌دهنده مقادیر شبیه‌سازی شده آب خاک توسط مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده آب خاک در تیمارهای مورد آزمایش می‌باشد. در جدول ۳ نیز شاخص‌های آماری تعیین دقت مدل در پیش‌بینی رطوبت خاک در طول فصل کشت برای تیمارهای مختلف ارائه شده است.

با توجه به شکل ۱ مشاهده می‌شود که میزان رطوبت خاک پیش‌بینی شده توسط مدل در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده در تیمارهای شاهد، تنش در مرحله رشد رویشی مجدد و تنش در مرحله گل‌دهی از دقت کافی برخوردار می‌باشد. در تیمار تنش رویشی در مرحله گل‌دهی مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل از مقادیر اندازه‌گیری شده بیشتر می‌باشد، با این حال شاخص‌های آماری ارائه شده در جدول ۳ نشان‌دهنده دقت مدل می‌باشد، به طوری که مجذور ضریب هم‌بستگی در این حالت ۰/۸۷ محاسبه شده است. بررسی نتایج به دست آمده از پیش‌بینی مدل و نیز مقادیر اندازه‌گیری شده در تیمار دیم نشان می‌دهد که مدل CRPSM از تاریخ ۲۱۵ روز پس از کشت تا پایان فصل کشت رطوبت را برابر حد پژمردگی پیش‌بینی کرده است. توانایی گیاه برای جذب آب از خاک به اندازه‌ای نمی‌باشد که بتواند رطوبت موجود در خاک را تا حد پژمردگی دائم بکاهد، اندازه‌گیری‌های انجام گرفته نیز این نکته را نشان می‌دهد، بنابراین این مطلب را می‌توان جزو ضعف‌های مدل به شمار آورد. با این حال به جز روزهای پایانی مقادیر پیش‌بینی شده رطوبت خاک به مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیک می‌باشد. بررسی شاخص‌های آماری ارائه شده در جدول ۳ نیز نشان‌دهنده بالا بودن دقت مدل برای پیش‌بینی رطوبت خاک در تیمارهای شاهد، تنش در مرحله رشد رویشی مجدد، تنش در مرحله گل‌دهی و تنش در مرحله پرکردن دانه می‌باشد. شاخص آماری محاسبه شده در تیمار دیم نسبت به سایر تیمارها نتایج بهتری ارائه می‌دهد ولی بایستی توجه داشت که پراکندگی داده‌ها در تیمار دیم به نحوی است که باعث تعدیل شاخص‌های آماری شده است، لذا صرف بررسی شاخص‌های آماری دید صحیحی برای مقایسه عملکرد مدل در تیمارها ارائه نمی‌دهد. با این حال به طور کلی می‌توان بیان نمود که مدل CRPSM نتایج مناسبی را در پیش‌بینی رطوبت خاک در تیمارهای مختلف در سال زراعی ۸۷-۸۶ برای کشت کلزا واریته طلایه ارائه می‌نماید.

مقایسه میزان محصول برآورده شده توسط مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده

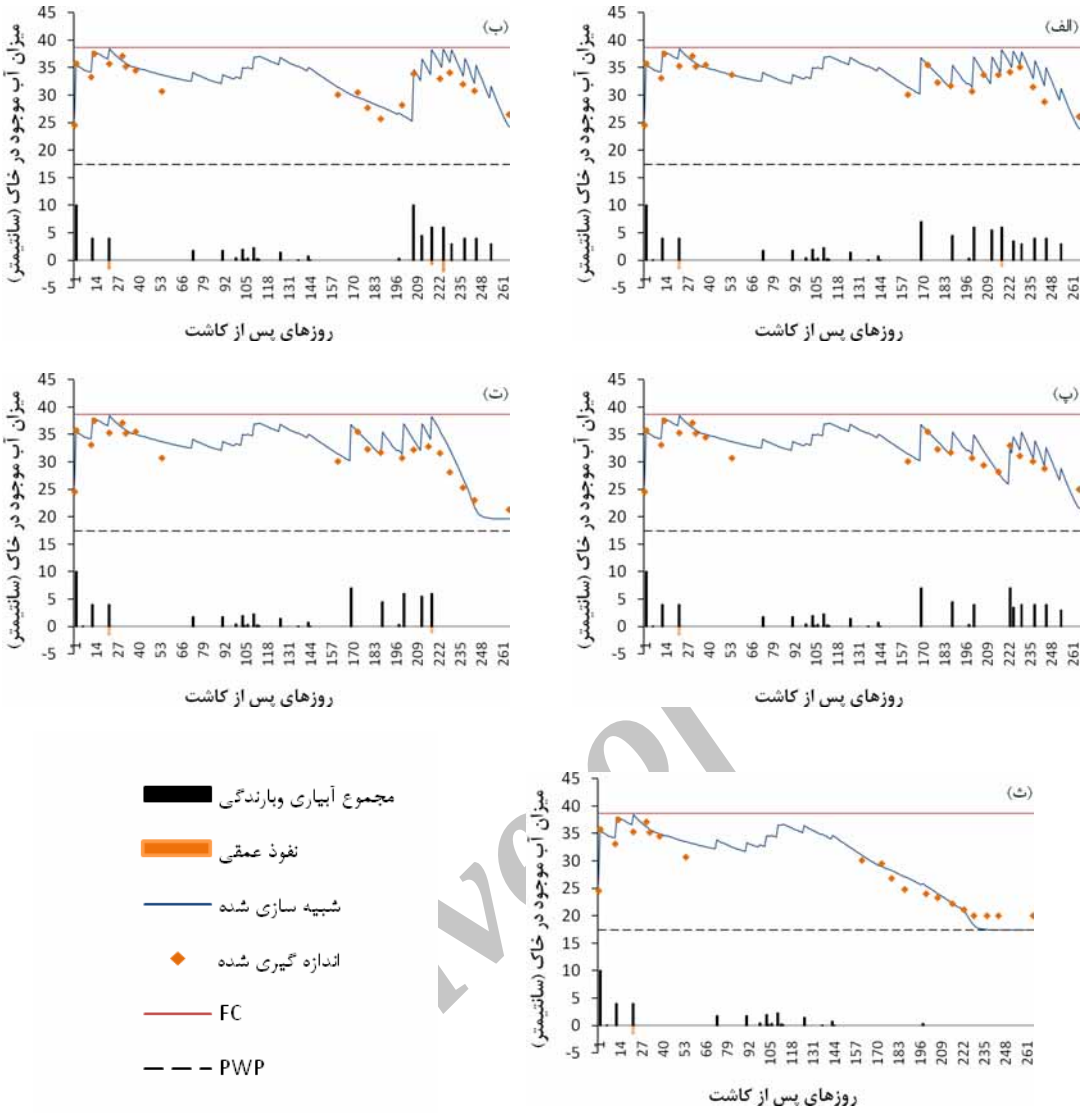
نتایج میزان محصول دانه حاصل از اجرای مدل در تیمارهای مختلف و نیز مقایسه آنها با مقادیر اندازه‌گیری شده در شکل ۲ نشان داده شده است. رگرسیون حاصل بین آنها نشان می‌دهد که مدل CRPSM قادر به تخمین محصول در تیمارهای مختلف آبیاری با دقت نسبتاً خوبی می‌باشد. حداکثر میزان محصول دانه برآورده شده توسط مدل ۳/۵۸ تن در هکتار می‌باشد. پیش‌بینی مدل در مورد تیمار شاهد مطابق داده ورودی به مدل CRPSM یعنی حداکثر مقدار محصول اندازه‌گیری شده می‌باشد. جدول ۴ شاخص‌های آماری تعیین دقت مدل CRPSM در تعیین محصول را نشان می‌دهد. مقادیر شاخص‌ها تأییدکننده دقت بالای مدل در پیش‌بینی محصول می‌باشد، به طوری که ضریب هم‌بستگی محصول پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده برابر ۰/۹۸ است.

اعتبارسنجی مدل CRPSM با سری اطلاعات مستقل

به منظور اطمینان از عملکرد مدل CRPSM، علاوه بر تخمین

Archive of SID

www.SID.ir



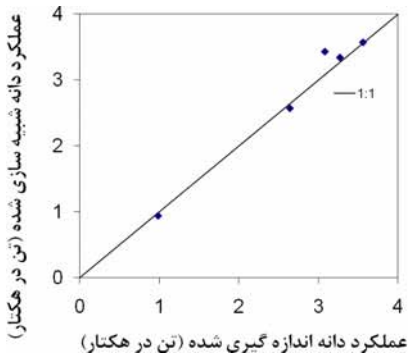
شکل ۱. مقادیر اندازه‌گیری شده آب خاک در مقابل مقادیر شبیه‌سازی شده

الف: I_1 – ب: I_2 – پ: I_3 – ت: I_4 – ث: I_5

جدول ۳. شاخص‌های آماری مقایسه رطوبت اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده

تنش	RMSE	Sd^2	MAE	d	R^2
شاهد	۱/۳۶	۰/۰۰	۰/۹۳	۰/۹۶	۰/۸۸
رشد رویشی مجدد	۱/۲۷	۰/۰۰	۱/۰۲	۰/۹۵	۰/۸۸
گل دهی	۱/۵۳	۰/۰۰	۱/۰۴	۰/۹۷	۰/۸۷
پرکردن دانه	۱/۸۹	۰/۰۰	۱/۶۰	۰/۹۶	۰/۸۹
دیم	۱/۶۳	۰/۰۰	۱/۵۸	۰/۹۸	۰/۹۶

www.SID.ir



شکل ۲. مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده محصول کلزا توسط مدل CRPSM با خط ۱:۱

جدول ۴. شاخص‌های آماری مقایسه محصول اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده

RMSE	Sd^2	MAE	d	R^2
۰/۰۲۷	۰/۱۰۵	۰/۱۰۸	۰/۹۹	۰/۹۸

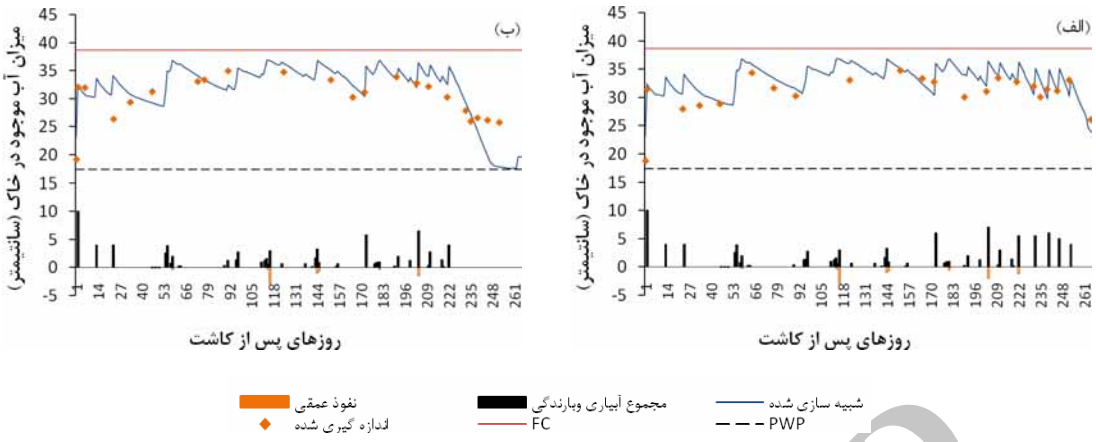
نتایج رطوبت و محصول حاصل از آزمایشات انجام شده توسط مدل، صحت کارکرد مدل با یک سری نتایج آزمایشات مستقل حاصله از کلزای پاییزه واریته لیکورد در باجگاه تحت تیمارهای آبیاری مشابه شعبانی و همکاران (۵) مورد آزمون قرار گرفت، که در ادامه به شرح آن پرداخته خواهد شد. واریته لیکورد نیز مانند طلایه از ارقام رایج در منطقه بوده و به سرما نیز مقاوم می‌باشد با این حال مقاومت این واریته نسبت به سرما از طلایه کمتر می‌باشد ولی در مجموع عملکرد هر دو واریته در این منطقه یکسان است.

نتایج واحد آب مدل

شکل ۳ مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده رطوبت خاک در بررسی شعبانی و همکاران (۵) در تیمارهای شاهد و تیمار تنش در مرحله پرکردن دانه را به عنوان مثال نشان می‌دهد. هم‌چنین جدول ۴ نیز ارائه‌دهنده شاخص‌های آماری مورد بررسی در تعیین دقت مدل می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که در تیمار شاهد مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده به یکدیگر نزدیک و تنها در ابتدای فصل کشت رطوبت پیش‌بینی شده بیش‌تر از اندازه‌گیری شده است. از آنجایی که در تیمار تنش در مرحله پر کردن دانه‌ها تا انتهای فصل رشد آبیاری صورت نمی‌گیرد مدت زمان اعمال تنش در این تیمار بیش از سایر تیمارها (به جز تیمار دیم) می‌باشد، لذا رطوبت موجود در خاک در روزهای پایانی به شدت کاهش می‌یابد، مدل در این حالت قدرت جذب آب توسط گیاه را بیش از واقعیت نشان می‌دهد به نحوی که رطوبت موجود در روزهای پایانی را درحد نقطه پژمردگی دائم نشان می‌دهد، در حالی که گیاه قادر به جذب آب از خاک تا این اندازه نیست. لذا تفاوت میان رطوبت پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده در روزهای پایانی افزایش می‌یابد.

همانگونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود در تیمارهای شاهد، تنش در مرحله رشد رویشی مجدد و تنش در مرحله گل‌دهی کلیه شاخص‌ها دقت مدل را در سطح مناسبی نشان می‌دهند، به طوری که مجذور ضریب هم‌بستگی برای تیمارها به ترتیب برابر ۰/۶۵، ۰/۶۹ و ۰/۷۲ می‌باشد. ذکر این نکته ضروری است که از آن جایی که مدل برای واریته طلایه واسنجی شده است و واریته کشت شده توسط شعبانی و همکاران (۵) واریته لیکورد بوده است این نتیجه قابل قبول می‌باشد. هم‌چنین با وجود اختلاف رطوبت در دوره پایانی رشد تیمار تنش در مرحله پرکردن دانه، مقایسه شاخص‌های آماری نتایج قابل قبولی ارائه کرده است، به نحوی که مجذور ضریب هم‌بستگی ۰/۶۲ محاسبه گردیده است. با این حال شاخص‌های

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۳. مقادیر اندازه‌گیری شده آب خاک در مقابل مقادیر شبیه‌سازی شده الف: I_1 – ب: I_4 (سری داده‌های مستقل شعبانی و همکاران (۵))

جدول ۵. شاخص‌های آماری مقایسه رطوبت اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده (سری داده‌های مستقل شعبانی و همکاران (۵))

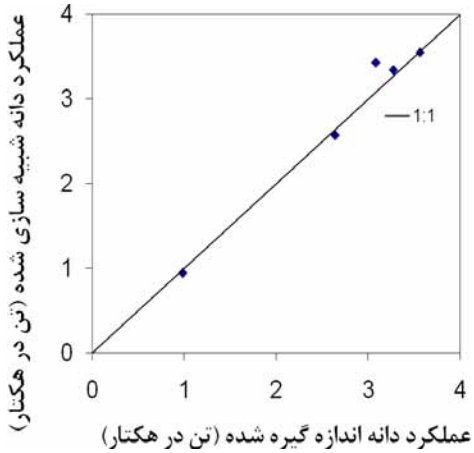
تنش	RMSE	Sd^2	MAE	d	R^2
شاهد	۲/۰۸	۰/۰۰	۱/۲۰	۰/۸۷	۰/۶۵
رشد رویشی مجدد	۱/۹۵	۰/۰۰	۱/۱۷	۰/۹۰	۰/۶۹
گل دهی	۱/۸۲	۰/۲۸	۱/۵۰	۰/۹۳	۰/۷۲
پرکردن دانه	۳/۳۲	۰/۵۹	۲/۴۴	۰/۸۰	۰/۶۲
دیم	۴/۳۷	۰/۰۲	۳/۴۳	۰/۳۴	۰/۳۴

آماری محاسبه شده بیان‌کننده عملکرد ضعیف مدل CRPSM در تیمار دیم سری داده‌های مستقل شعبانی و همکاران (۵) می‌باشد که می‌تواند به علت تغییر نوع واریته باشد. عمده انحراف داده‌های اندازه‌گیری از داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل در اواخر دوره کشت بوده که رطوبت‌های اندازه‌گیری شده به مراتب بیشتر از رطوبت‌های پیش‌بینی شده است. یکی از دلایل این اختلاف به علت تغییر در بافت خاک کشت شعبانی و همکاران (۵) می‌باشد. زیرا محل کشت شعبانی و همکاران (۵) در محدوده خاک سری پمپ نمازی که سنگین‌تر از بافت خاک سری دانشکده (آزمایش حاضر) می‌باشد (۱). در کل مدل CRPSM نتایج خوبی در پیش‌بینی رطوبت خاک در تیمارهای مختلف (به استثنای تیمار دیم) در سال زراعی ۸۵-۸۴ برای کشت کلزا واریته لیکورد ارائه نموده است.

عملکرد دانه

نتایج میزان محصول دانه حاصل از اجرای مدل در تیمارهای مختلف و نیز مقایسه آنها با مقادیر اندازه‌گیری شده در شکل ۴ نشان داده شده است. رگرسیون حاصل بین آنها نشان می‌دهد که مدل قادر به تخمین محصول در تیمارهای مختلف آبیاری با دقت نسبتاً خوبی می‌باشد. حداکثر میزان محصول دانه برآورده شده توسط مدل ۳/۵۸ تن بر هکتار است. پیش‌بینی مدل در مورد تیمار شاهد مطابق داده ورودی به مدل CRPSM یعنی حداکثر مقدار محصول اندازه‌گیری شده می‌باشد. جدول ۶ شاخص‌های آماری تعیین دقت مدل CRPSM در تعیین محصول را نشان می‌دهد. مقادیر شاخص‌ها تأییدکننده دقت بالای مدل در پیش بینی محصول می‌باشد به طوری که ضریب هم‌بستگی محصول پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده برابر ۰/۹۸ می‌باشد.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۴. مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده محصول کلزا توسط مدل CRPSM با خط ۱:۱ محصول کلزا واریته لیکورد سری داده‌های مستقل شعبانی و همکاران (۵)

جدول ۶. شاخص‌های آماری مقایسه محصول اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده سری داده‌های مستقل شعبانی و همکاران (۵)

R^2	d	MAE	Sd^2	RMSE
۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۱۰۸	۰/۰۰	۰/۱۶۳

نتیجه‌گیری

نتایج واحد آب خاک مدل CRPSM نتایج خوبی را به همراه داشت. به طوری که ضریب هم‌بستگی رطوبت اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای تیمارهای (I_1)، (I_2)، (I_3)، (I_4) و (I_5) سال زراعی ۸۶-۸۷ به ترتیب برابر ۰/۸۸، ۰/۸۸، ۰/۸۷، ۰/۸۹ و ۰/۹۵ تعیین گردید. البته مقدار ضریب هم‌بستگی تیمار (I_5) دارای پراکندگی می‌باشد و ضریب هم‌بستگی آن تعدیل شد. مقادیر محصول اندازه‌گیری شده به مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل CRPSM برای تیمارهای مختلف بسیار خوب می‌باشد، به طوری که ضریب هم‌بستگی محصول اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای تیمارهای مختلف در سال زراعی ۸۶-۸۷، ۰/۹۸ محاسبه شد. نتایج واحد آب خاک مدل CRPSM برای سری داده‌های مستقل، شعبانی و همکاران (۵) غیر از تیمار دیم نتایج نسبتاً مطلوبی به همراه داشته است. به طوری که ضریب هم‌بستگی رطوبت اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده برای تیمارهای (I_1)، (I_2)، (I_3) و (I_4) سال زراعی ۸۴-۸۵ (شعبانی و همکاران (۵)) به ترتیب برابر ۰/۶۵، ۰/۶۹، ۰/۷۲، ۰/۶۲ تعیین گردید. نتایج مدل در پیش‌بینی رطوبت در مورد تیمار دیم ناامید کننده بود به‌طوری که مقدار ضریب هم‌بستگی تیمار (I_5) برابر ۰/۳۴ تعیین شد.

مقادیر محصول اندازه‌گیری شده به مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل CRPSM برای تیمارهای مختلف بسیار خوب می‌باشد، به طوری که ضریب هم‌بستگی محصول اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده برای تیمارهای مختلف در سال زراعی ۸۴- ۸۵، ۰/۹۸ محاسبه گردید (۵). در کل می‌توان ادعا نمود که مدل توانایی بالایی برای تخمین محصول کلزا و تعیین روند تغییرات آب خاک دارد و می‌توان در مطالعات از نتایج به دست آمده این مدل استفاده نمود.

Archive of SID
www.SID.ir

منابع مورد استفاده

۱. ابطحی، ع. ن. کریمیان و م. صلحی. ۱۳۷۰. گزارش مطالعات خاک شناسی نیمه تفصیلی اراضی منطقه باجگاه استان فارس. ۷۷ صفحه.

۲. آرین، ا. و ع. ر. سپاسخواه. ۱۳۷۰. معرفی و برازش مدل شبیه‌سازی محصولات زراعی و مدیریت آب و خاک(CRPSM). چهارمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر. ۱۹ و ۲۰ بهمن ۱۳۷۰، دانشگاه کرمان.

۳. چیت ساز، ح. ۱۳۸۰. واسنجی و اصلاح مدل رایانه‌ای SPASM وCRPSM1 و مقایسه آنها در شبیه‌سازی رشد و تخمین عملکرد لوبیای چشم بلبلی. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۴. زواره، م. و ی. امام. ۱۳۷۹. راهنمای شناسایی مراحل زندگی در کلزا. مجله علوم زراعی ایران ۲(۱):۱-۱۴.

۵. شعبانی، ع.، ع.ا. کامگارحقیقی، ع.ر. سپاسخواه، ی. امام و ت. هنر. ۱۳۸۸. اثر تنش آبی بر ویژگی‌های فنولوژیک بر گیاه کلزا (*Brassica napus*). مجله علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی) (۴۱): ۳۱-۴۲.

۶. هنر، ت. و ع. ر. سپاسخواه. ۱۳۷۵. اصلاح مدل (CRPSM) برای تخمین محصول و مدیریت آبیاری ذرت. هشتمین سمینار کمیته ملی آبیاری زه‌کشی ایران، ۱ و ۲ آبان ۱۳۷۵، صفحات ۴۱ -۵۶، تهران.

7. Buttars, R.L. 1980. A Phenologic irrigation model to predict corn yield. MSc. Thesis, Utah State University, Logan, Utah.
8. Hanks, R.J. 1974. Model for predicting plant growth as influenced by evapotranspiration and soil water. Agron. J. 66: 600-665.
9. Hill, R.W., K.H. Rayan, R.L. Butrats, A.A. Keller, L.M. Mulkay, F.R. Stewart and B.J. Bomen. 1984. (CRPSM) yield simulation model. Utah State University, Logan Utah.
10. Kamand, F. 1983. Development of water management yield simulation model fot potatos. PhD. Thesis, Dissertation, Utah State University, Logan, Utah.
11. Keller, A. 1982. Development and analusis of irrigation scheduling program with emphasis on froecasting consumptive use. MSc. Thesis, Utah State University, Logan, Utah.
12. Rasmussen, V. P. and R. J. Hanks. 1978. Spring wheat yield model for limited moisture conditions. Agron. 70:940-944.
13. Sepaskhah, A.R., A. Kanooni, M. M. Ghasemi. 2003. Estimating water table contributions to corn and sorghum water use. Agric. Water Manage. 58 :67-69.
14. Stewart, F. R. 1984. Dry bean yield prediction as influenced by irrigation, planting date and location. MSc. Thesis, Utah State University, Logan, Utah.

Archive of SID

www.SID.ir

Simulation of Soil Water Content and Yield of Canola Using CRPSM

T. Honar[1]*, A. Sabet-Sarvestani[1], A. Sepaskhah[1], A. A. Kamgar-Haghighi[1] and S. Shams[2]

(Received : Oct. 23-2010 ; Accepted : Jan. 14-2012)

Abstract

In recent years, simulatiom modelling of yield has been the focus of attention for many researchers. Because, while reducing adminestrative costs, it can easily provide simulation models of different situations. In this study, while a subroutine on simulation of canola was added to CRPSM model, effect of different water treatments on canola was also investigated. In this research, canola (Talaye) under 5 irrigation treatments (full irrigation treatment during the growing period, water stress treatment at the spring re-growth stage, the flowering stage and pod formation, the grain formation stage and dry land treatment) was sown in complete randomized block designs at the college of Agriculture, Shiraz University during 2007-2008, and then the model was calibrated based on available information (soil-location -plant-water). Review of statistical indicators between simulated and measured yield show high accuracy in the estimation of crop yield (R^2=0.98) and soil water content. The result of model validation with independent data series also showed that the result of soil water content is desirable except in dry treatment, and the corrolation coeficient between simulated and measured crop yield (R^2=0.98) was acceptable.

Keywords: Canola, Crop model, Soil water content simulation.

Archive of SID

1. Assoc. Prof., Former MSc. Student and Prof.s of Water Eng., Respectively, College of Agric., Shiraz Univ., Shiraz, Iran.
2. PhD. Student of Agrometeorol., College of Agric., Ferdowsi Univ. of Mashhad, Mashhad, Iran.
*: Corresponding Author, Email: toorajhonar@yahoo.com

www.SID.ir