شبیه‌سازی شاخص سطح برگ ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط تنش خشکی

نادر کوهی چله کران[۱] * و حسین دهقانی سانیچ

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات،آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.

nakch71@yahoo.com

دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

dehghanisanij@yahoo.com

چکیده

استفاده از مدل‌های رشد گیاه با توجه به کاهش نیاز به بازدیدها و اندازه‌گیری‌های مستقیم مزرعه‌ای می‌تواند مدیریت آب آبیاری و کود را تسهیل نماید. از طرفی اغلب به دلیل پیچیدگی وسختی درک و فهم این گونه مدل‌ها و در دسترس نبودن اطلاعات ورودی مورد نیاز، استفاده از آنها را به ویژه در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی که باید قبل از فصل کشت صورت گیرد، دچار مشکل می‌کند. هدف از این مطالعه ارائه مدلی ساده برای پیش‌بینی شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده ذرت بر اساس تنش آب بود. در این مدل شاخص سطح برگ ذرت بر اساس درجه روز تجمعی و تنش آب شبیه‌سازی شد. داده‌های ورودی مورد نیاز مدل شامل داده‌های آب و هوا (میزان تشعشع خورشیدی، درجه حرارت حداقل و حداکثر و مقدار بارندگی)، اطلاعات مربوط به خاک و گیاه بود. مدل برای ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط تنش آبی و نبود تنش برای سال زراعی ۹۲ در شرایط آب و هوایی کرمان توسعه یافت و برای سال ۹۳ برای تیمار مربوطه مورد ارزیابی قرار گرفت. شاخص سطح برگ برآورد شده توسط مدل در تیمار بدون تنش آبی نزدیک به مقادیر اندازه‌گیری شده بود که این نزدیکی، در سه مرحله میانی نمونه‌برداری بیشتر مشهود بود. در تیمارهای تنش(به جزء مرحله چهارم نمونه‌برداری) شاخص سطح برگ تخمین زده شده توسط مدل کمی بیشتر از مقادیر مشاهده شده بود. همبستگی بالا (مقادیر R^2) در همه تیمارها بین مقادیر شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در هر دو سال آزمایش توسط مدل به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: تنش آبی، مدل رشد گیاه و کرمان.

۱- آدرس نویسنده مسئول: کرمان، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان.

*- دریافت: دی ۱۳۹٤و پذیرش: تیر ۹٦

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

تعیین پارامترهای موثر بر تولید برای کمّی‌سازی تولید با هدف جهت‌دار کردن مدیریت‌ها و مطالعه اثر عوامل محدود کننده و کاهنده عملکرد و بهینه‌سازی سامانه‌های کشاورزی از ضروریات و اصول بنیادین رهیافت‌های سیستمی‌است. مدلسازی رشد و نمو گیاهان زراعی به عنوان یکی از این رهیافت‌ها ابزاری مفید در تحقیقات علمی و مدیریت زراعی به شمار می‌روند. از روش‌های آزمون جنبه‌های مختلف مدیریت گیاهان زراعی، مدل‌سازی رشد گیاهان برای پیش‌بینی عملکرد گیاه می‌باشد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک مدل‌سازی رشد با توجه به کمبود منابع آبی ضرورت بیشتری دارد. قدرت یک مدل بستگی به دقت پیش‌بینی آن مدل از عملکرد گیاه دارد (اینمن- باربر،۲۰۰۲). در علوم زراعی مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی دانش انسان دربارهٔ جنبه‌های مختلف علمی شامل: هواشناسی کشاورزی، فیزیک خاک، شیمی خاک، فیزیولوژی گیاهان زراعی، اصلاح گیاهان و زراعت را به وسیله روابط ریاضی برای پیش‌بینی رشد، نمو و عملکرد گیاهان زراعی امکان پذیر ساخته است.

از این رو مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی به عنوان ابزار اصلی انتقال علوم زراعی به عصر اطلاعات شناخته می‌شوند (کیانی و همکاران، ۱۳۸۲). با استفاده از مدل‌ها می‌توان نتایج آزمایش‌های انجام شده یک منطقه ویک دوره زمانی مشخص را به مناطق و زمان‌های دیگر تعمیم داد. لذا مدل‌ها جایگزینی مناسب و کم‌هزینه برای انواع آزمایش‌ها هستند (اندرزیان و همکاران، ۱۳۸۵). سطح برگ گیاه یک فاکتور کلیدی و تعیین کننده برای دریافت تشعشع، فتوسنتز، تبادل انرژی و آب می‌باشد؛ بنابراین اندازه‌گیری صحیح و درست شاخص سطح برگ برای درک اثر متقابل بین رشد گیاه و محیط ضروری می‌باشد. وقوع تنش کم آبی در گیاهان زراعی بر خصوصیات فیزیولوژکی و مرفولوژکی آن‌ها اثر می‌گذارد و در نهایت، نتیجه این فعل و انفعالات، در میزان عملکرد گیاه پدیدار می‌شود، اما میزان تأثیر تنش بر عملکرد محصول، رابطه مستقیمی با مراحل وقوع تنش دارد (چادوری و کاناماسا، ۱۹۸۲). گیاهان تحت شرایط تنش خشکی شاخص سطح برگ خود را از طریق لوله کردن برگ‌ها و یا پیری و ریزش زودهنگام آنها کاهش می‌دهند (سیت سنگ، ۲۰۰۸). اساسا تغییر هر یک از عوامل محیطی می‌تواند بر فرایندهای رشد و نمو گیاه و در نهایت بر تولید و عملکرد گیاه زراعی مؤثر باشد. پژوهشگران مختلف اثر تنش خشکی را روی کاهش سطح برگ و در نهایت کاهش عملکرد ذرت گزارش کردند (ولف و همکاران، ۱۹۸۸). صابرعلی و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که مقدار شاخص سطح برگ ذرت در مرحله ابریشم‌دهی به حداکثر می‌رسد و پس از آن به دلیل ریزش برگ‌ها، روند نزولی پیدا می‌کند. پاندای و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که کم آبیاری در اوایل رشد رویشی، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته، سرعت رشد گیاه و ماده خشک را در گیاه ذرت به مقدار کمی کاهش می‌دهد این موضوع در مرحله رشد زایشی، باعث کاهش شدید این شاخص‌ها می‌گردد.

نوری اظهر واحسان‌زاده (۲۰۰۷) با بررسی تغییرات شاخص‌های رشد پنج هیبرید ذرت در دو رژیم مختلف آبیاری گزارش کردند که کم آبی اثر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ دارد. آن‌ها همچنین گزارش کردند که همبستگی مثبت معنی‌داری بین شاخص سطح برگ و عملکرد ماده خشک وجود دارد. سینکلر و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که در تولید محصولات زراعی، گسترش سطح برگ برای افزایش دریافت تشعشع خورشیدی و تجمع بیومس ضروری است؛ بنابراین در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی تخمین صحیح شاخص سطح برگ به منظور پیش‌بینی تولید بیومس و عملکرد دانه ضروری است. درجه حرارت از مهمترین عوامل محیطی در مدل‌های رشد، نمو و عملکرد گیاه است. محققین مختلف یک مدل ساده شبیه‌سازی رشد را

Archive of SID

www.SID.ir

برای گیاهانی نظیر سورگوم، آفتابگردان، سویا، ذرت و گندم بکار بردند که در این مدل‌ها شاخص سطح برگ بعنوان تابعی از درجه حرارت شبیه‌سازی شد (مایلهول و همکاران، ۱۹۹۷؛ خالدیان و همکاران، ۲۰۰۹). تنش‌های محیطی موضعی و یا فصلی جزء ثابت مزارع در مناطق خشک و نیمه خشک شده است. هدف از مطالعه ارائه مدلی ساده برای تعیین شاخص سطح برگ تحت شرایط تنش خشکی بود. بر این اساس کل شاخص سطح برگ بعنوان تابعی از درجه حرارت تجمعی از زمان سبز شدن تعیین و اثر کمبود آب در طی دوره رشد گیاه در این معادله توسط یک شاخص تنش خشکی اعمال شد.

مواد و روش‌ها

معرفی مدل

شاخص سطح برگ ذرت بعنوان تابعی از درجه حرارت تجمعی با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد (مایلهول و همکاران، ۱۹۹۷؛ خالدیان و همکاران، ۲۰۰۹) در این رابطه فرض بر این است که همه عوامل موثر در تولید گیاه بجز آب در حد مطلوب هستند و اثر تنش خشکی روی شاخص سطح برگ اعمال می‌شود. شاخص تنش خشکی بعنوان تابعی از تبخیر و تعرق نسبی تعریف می‌شود.

$$LAI_{(j)} = LAI_{(max)} \left[\left(\frac{\sum_{i=1}^{j} TT\text{-}T_e}{T_m} \right)^2 \exp\left\{ \frac{2}{\alpha} \left(1\text{-} \left(\frac{\sum_{i=1}^{j} TT\text{-}T_e}{T_m} \right)^{\alpha} \right) \right\} \text{-}(1\text{-}Stress^{\lambda}) \right] \quad (1)$$

که در آن:

LAI_j شاخص سطح برگ در روز j ام، LAI_{max} حداکثر شاخص سطح برگ قابل حصول توسط گیاه، TT درجه روز رشد گیاه،Te درجه روز مورد نیاز برای سبز شدن، Tm درجه روز مورد نیاز برای رسیدن به LAImax، stress شاخص تنش خشکی می‌باشد،α و λ پارامترهایی هستند که از طریق کالیبراسیون بدست می‌آیند. α پارامتری که رشد و پیری گیاه را کنترل می‌کند. λ پارامتر تجربی است که حساسیت گیاه به تنش خشکی را کمّی می‌کند. در مطالعات قبلی مقدار ۱/۲۵=λ برای گیاهانی نظیر سورگوم، آفتابگردان، سویا، ذرت و گندم پیشنهاد شد (ما یلهول و همکاران، ۱۹۹۷؛ خالدیان و همکاران ۲۰۰۹).

تنش خشکی برای هر روز از رابطه زیر به دست آمد:

$$Stress = ETa/ET_0 \quad (۲)$$

که در آن:

ETa تبخیر و تعرق واقعی گیاه و ET_0 تبخیر و تعرق مرجع می‌باشند.

تبخیر و تعرق مرجع گیاه با استفاده از فرمول پنمن-مونتیت اصلاح شده توسط فائو به دست آمد.

تبخیر و تعرق واقعی گیاه با اعمال یک ضریب اصلاحی بر اساس آنچه توسط آلن و همکاران (۱۹۹۸ (ارائه شده است، محاسبه شد (معادلات ۳ و ٤).

$$ET_a = K_c \times ET_o \quad \text{اگر} \quad Dr \leq RAW \quad (۳)$$

$$ET_a = \left(\frac{TAW - D_r}{(1-P)TAW} \right) K_c ET_0 \quad \text{اگر} \quad RAW \leq Dr \leq TAW \quad (٤)$$

که در آن

K_c ضریب گیاهی است. D_r مقدار تخلیه رطوبت از منطقه توسعه ریشه‌ها می‌باشد. TAW کل آب قابل استفاده گیاه و RAW آب سهل الوصول است. همان طور که در معادله (٤) ارائه شده است در شرایطی که محتوی رطوبت آب خاک کاهش می‌یابد اعمال تصحیح در معادله ET_a ضروری است.

داده‌های آب و هوایی مورد نیاز برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع که شامل داده‌های روزانه مربوط به دمای حداقل و حداکثر، مقدار بارندگی و ساعات آفتابی می‌باشد از ایستگاه هواشناسی کرمان واقع در ۱۵ کیلومتری محل آزمایش، اخذ شد. ضریب گیاهی (Kc) با توجه به منحنی تغییرات ضریب گیاهی ذرت در طول فصل رشد برای دوره‌های آبیاری، با استفاده از دستورالعمل نشریه شماره ٥٦ فائو تعیین گردید. درجه روز رشد ذرت در هر روز با استفاده از معادله (۵) محاسبه شد:

Archive of SID

www.SID.ir

$$TT_j = \sum_{i=1}^{j}(T - T_b) \quad (٥)$$

که در آن:

T میانگین دمای روزانه برحسب درجه سانتیگراد، T_b دمای پایه رشد برحسب درجه سانتیگراد، j تعداد روزهای بعد ازکاشت است. دمای پایه ذرت ١٠ درجه در نظر گرفته شد.

روند انجام آزمایشات

جهت ارائه مدلی ساده برای ارزیابی شاخص سطح برگ در شرایط تنش، آزمایشی بر روی ذرت رقم سینگل کراس ٧٠٤ در ایستگاه شهید زنده روح جوپار (از ایستگاههای مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان) در دو سال زراعی ١٣٩٣-١٣٩٢ اجرا شد. رژیم‌های آبیاری عبارت بودند از: I_3=٦٠، I_2=٨٠ و I1=١٠٠ درصد نیاز واقعی گیاه که توسط فرمول پنمن – مونتیت از روی داده‌های هواشناسی محاسبه گردید. برای هر تیمار چهار خط ذرت به طول شش متر و با فاصله ٧٥ سانتی‌متر بین ردیف‌ها کاشته شد. فاصله بوته‌ها بر روی پشته ١٧ سانتی‌متر و بنابراین تراکم کشت برابر با ٧٨٠٠٠ بوته در هکتار بود. در هفته اول خرداد ماه کشت با دست انجام شد. در هر چاله سه بذر ریخته و پس از رسیدن به مرحله ٤-٣ برگی (استقرار مناسب بوته) تنک‌کاری انجام شده و یک بوته باقی ماند. آبیاری کلیه کرت‌ها به صورت قطره‌ای با استفاده از نوارهای قطره‌ای تیپ (Tape) با فاصله نازل‌های ٢٠ سانتی‌متر و با دبی خروجی دو لیتر در ساعت انجام شد. برای هر ردیف کشت یک خط نوار آبیاری قرار گرفت. آبیاری سه روز در هفته و در روزهای شنبه، دوشنبه و چهارشنبه انجام شد. از اطلاعات هواشناسی روزهای قبل جهت محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده شده و با ضرب نمودن مقدار Kc در تبخیر و تعرق پتانسیل، نیاز خالص آبی گیاه محاسبه گردید. حجم آب ورودی به کرت‌ها با استفاده از کنتور حجمی کالیبره شده با دقت ٠/١ لیتر تنظیم شد. برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ از دو خط وسط هر کرت و از پنج بوته نمونه‌برداری گردید و با اندازه‌گیری طول و بیشترین پهنای هر برگ و قرار دادن در رابطه (٦) مساحت هر برگ به دست آمد (مول و کامپارث، ١٩٧٧).

$$A=L\times W\times 0.75 \quad (٦)$$

در فرمول فوق:

A مساحت برگ (سانتی‌متر مربع)، L طول برگ (سانتی‌متر) و W بزرگ‌ترین پهنای برگ (سانتی‌متر) می‌باشد. با تقسیم مساحت برگ‌ها بر مساحت زمین شاخص سطح برگ به دست آمد. اندازه‌گیری شاخص سطح برگ در پنج مرحله انجام شد که به ترتیب ٢٠، ٤٥، ٧٠، ٩٠ و ١١٠ روز بعد از کاشت بود.

نحوه واسنجی مدل

مدل بر اساس اطلاعات فصل رشد سال زراعی ٩٢ ساخته شد و توسط اطلاعات فصل رشد سال زراعی ٩٣ تعیین اعتبار شد. بر این اساس جهت واسنجی پارامترهای α و λ مقادیر مختلفی در معادله قرار داده شد و مقادیر شاخص سطح برگ به دست آمده با اندازه‌گیری شده در سال ٩٢ مقایسه گردید، مقداری که بهترین شبیه‌سازی و کمترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) را داشت به عنوان برآورد نهایی پارامترها انتخاب شد. سپس به منظور تعیین اعتبار مدل، مدل حاضر بر اساس داده های آب و هوایی سال زراعی ٩٣ اجرا شد و مقادیر شبیه‌سازی شده شاخص سطح برگ با مقادیر اندازه‌گیری شده در این سال مقایسه شد. به منظور شبیه سازی شاخص سطح برگ، پارامتر α براساس اطلاعات تیمارنیاز آبی ١٠٠ درصد برای بدست آوردن T_m برابر با ٩٦٥ درجه روز کالیبره شد. این مقدار T_m برابر با نیاز حرارتی موردنیاز برای رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ بود. بیشترین مقدار شاخص سطح برگ نزدیک به زمان گلدهی بدست آمده و سپس کاهش یافت. بر این اساس مقدار پارامتر α برابر با ٣/٨ برآورد شد. با توجه به مطالعات قبلی مقدار λ برابر با ١/٢٥ در نظر گرفته شد. برای آزمون مدل، مقادیر شاخص سطح برگ شبیه سازی شده با مشاهده شده توسط شاخص‌های متفاوتی مقایسه

Archive of SID

www.SID.ir

شدند. برای مقایسه انحراف مقادیر شبیه سازی شده از مشاهده شده، از رگرسیون خطی و خط ۱:۱ استفاده شد، تعیین دقت کلی مدل توسط RMSE مطابق معادله (۷) محاسبه شد و صحت کلی مدل بر اساس کارایی مدل‌سازی (ME) به دست آمد (کو و همکاران، ۲۰۰۹) (معادله ۹).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i-O_i)^2}{n}} \quad (۷)$$

$$RMSE(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i-O_i)^2}{n}} \times \frac{100}{\bar{O}} \quad (۸)$$

$$ME = \frac{[\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})^2-\sum_{i=1}^{n}(S_i-O_i)^2]}{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})^2} \quad (۹)$$

که در آن:

S و O به ترتیب داده های شبیه سازی شده و مشاهده شده، $\bar{O}$ میانگین داده های مشاهده شده و n تعداد مشاهدات می‌باشد. RMSE (٪) (معادله ۸) که اختلاف نسبی بین شبیه‌سازی و مشاهدات را نشان می‌دهد، توصیف بهتری از قابلیت مدل دارد. چنانچه مقدار RMSE(٪) کمتر از ۱۰٪ باشد شبیه‌سازی عالی، ۲۰-۱۰٪ خوب، بین ۳۰-۲۰٪ متوسط و بیشتر از ۳۰٪ ضعیف خواهد بود. ME تغییرات موجود در داده‌های شبیه‌سازی شده را با تغییرات درون داده‌های مشاهده شده مقایسه می‌کند. حداکثر مقدار ME معادل یک می‌باشد که مطلوبترین مقدار ME است. مقدار ME می‌تواند منفی نیز باشد ولی مقادیر منفی نشان دهنده واریانس بیشتر در نتایج شبیه‌سازی نسبت به مشاهدات می باشند (کوچکی و خواجه حسینی، ۱۳۸۷).

نتایج

شکل (۱) شاخص سطح برگ را برای تیمارهای سطوح مختلف آبیاری نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است مدل شاخص سطح برگ را در تیمار بدون تنش آبی نزدیک به مقادیر اندازه‌گیری شده نشان دادبه خصوص در سه مرحله میانی نمونه‌برداری این موضوع بیشتر مشهود بود، این در حالی است که در تیمارهای تحت تنش (به جزء مرحله چهارم نمونه‌برداری) شاخص سطح برگ تخمین زده شده توسط مدل کمی بالاتر از مقادیر مشاهده شده بود. نکته دیگری که در نمودار فوق الذکر قابل مشاهده است، کاهش شاخص سطح برگ و کوتاه شدن طول دوره آن در تیمارهای تنش آبی است. شکل (۲) اطلاعات رگرسیون خطی مربوط به تیمارهای سطوح مختلف آبیاری را نشان می‌دهد که این مقایسه به منظور آزمون اولیه مدل بکار برده شد. شاخص سطح برگ‌های شبیه‌سازی شده تحت تیمارهای مختلف جهت تعیین اعتبار مدل استفاده شدند. بیشترین شاخص سطح برگ‌های شبیه‌سازی شده در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی بین ٦/١٤ و ٥/٧٨، برای تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی بین ٥/٦٣ و ٥/٠٤ و برای تیمار ٦٠ درصد نیاز آبی بین ٤/١١ و ٣/٤٧ بود که با مقادیر مشاهده شده به ترتیب به میزان ۰/۱۳ (۲ درصد)، ۰/۱٤(۲/٥ درصد) و ۰/۲۹ (٦/٦ درصد) اختلاف داشت. تطابق برای همه تیمارها براساس مقادیر بدست آمده برای RMSE و ME معنی‌دار بود. همان طور که در جدول (۱) مشاهده می‌گردد، مقادیرRMSE (٪) برای همه تیمارها بین عالی و خوب دسته‌بندی شده است، به طوری که در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی در رده عالی و سایر تیمارها در گروه خوب قرار گرفتند. مقادیر ME نیز در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی بین ۰/۹۸ تا ۰/۸۹، در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی بین ۰/۹۰ تا ۰/۷۸ و در آخرین تیمار نیاز آبی بین ۰/۸۹ تا ۰/۷۵ بودکه واریانس کمی را بین داده‌های شبیه‌سازی شده نشان داد. همچنین همبستگی بالا (مقادیر R^2 ارائه شده در شکل ۲) بین مقادیر شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در همه تیمارها به دست آمد.

تعیین اعتبار مدل در سال ۹۳ انجام شد. بدین منظور ورودی های خاک و گیاه مشابه سال قبل و داده‌های آب و هوایی سال دوم مورد استفاده قرار گرفت. دقت شاخص سطح برگ شبیه سازی شده براساس RMSE برای تیمارهای نیاز آبی مختلف در گروه عالی و خوب دسته‌بندی شدند. بیشترین شاخص سطح برگ‌های شبیه‌سازی شده در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی بین ٦/٢١ و

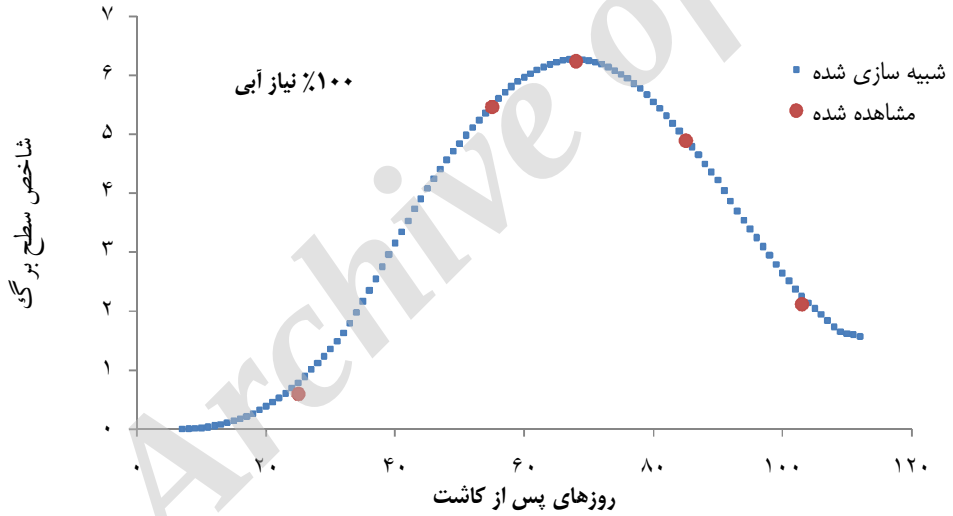
Archive of SID

www.SID.ir

٥/٨٢، برای تیمار ٨٠ درصد نیاز آبی بین ٥/٧٦ و ٥/١٨ و برای تیمار ٦٠ درصد نیاز آبی بین ٤/٢٤ و ٣/٥٩ بود که با مقادیر مشاهده شده تطابق داشت. همان طور که در جدول (١) مشاهده می‌گردد، مقادیر RMSE (٪) برای همه تیمارها بین عالی و خوب دسته‌بندی شده است، در سال دوم تیمار ١٠٠ درصد نیاز آبی در رده عالی و سایر تیمارها در گروه خوب قرار گرفتند. کارایی مدل نیز در تیمار ١٠٠ درصد نیاز آبی بین ٠/٩٨ تا ٠/٨٨، در تیمار ٨٠ درصد نیاز آبی بین ٠/٩٢ تا ٠/٧٧ و در تیمار ٦٠ درصد نیاز آبی بین ٠/٩٠ تا ٠/٧٩ بود. همبستگی بالا (مقادیر R2 ارائه شده در شکل ٢) بین مقادیر شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در همه تیمارها به دست آمد، به طوری که بیشترین این پارامتر متعلق به تیمار ١٠٠ درصد نیاز آبی بود.

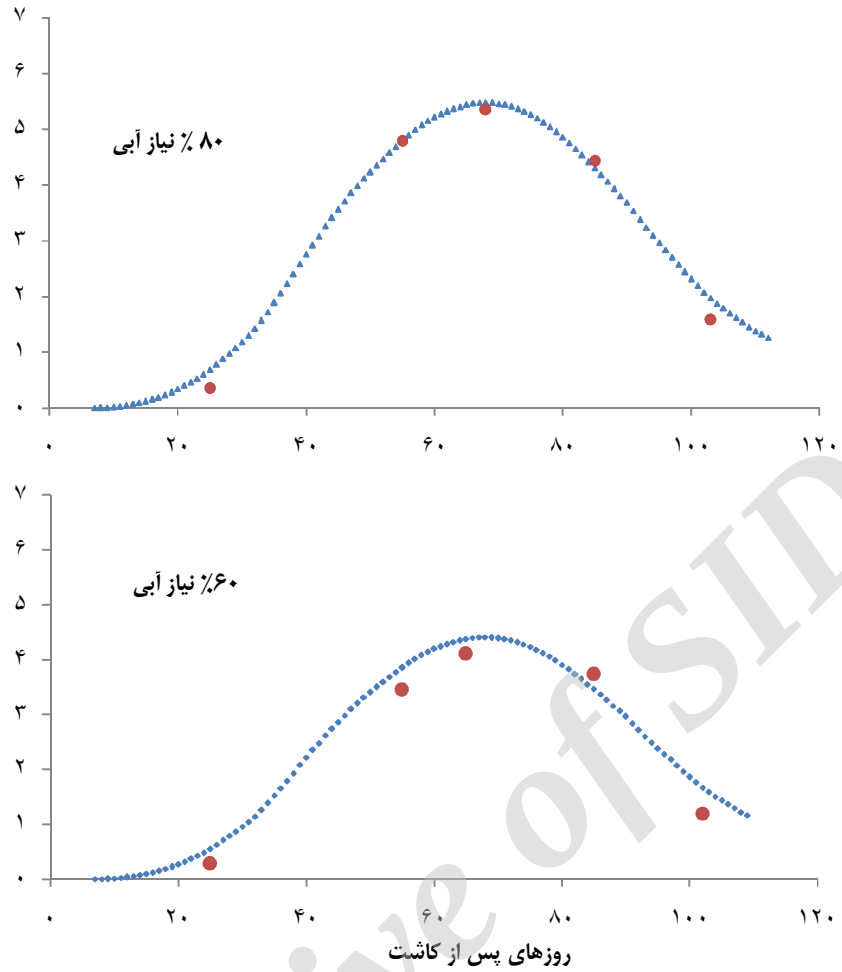
جدول ١- مقادیر شاخص‌های آماری شاخص سطح برگ

سال آزمایش	تیمارها	تیمار ١٠٠ درصد نیاز آبی	تیمار ٨٠ درصد نیاز آبی	تیمار ٦٠ درصد نیاز آبی
٩٢	RMSE%	٣/٨٧	١١/٦٨	١١/١٨
	ME	٠/٩٨	٠/٩٠	٠/٨٩
٩٣	RMSE%	٣/٣٦	١٠/١١	١٠/٤٥
	ME	٠/٩٨	٠/٩١	٠/٩٠

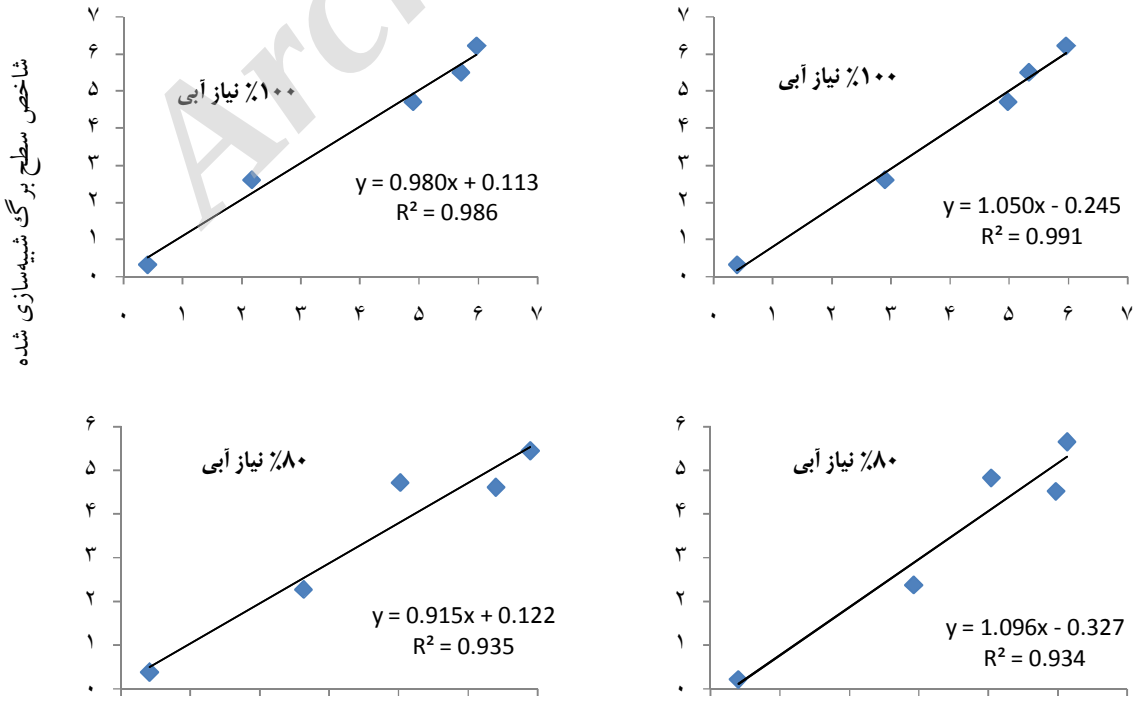


Archive of SID

www.SID.ir

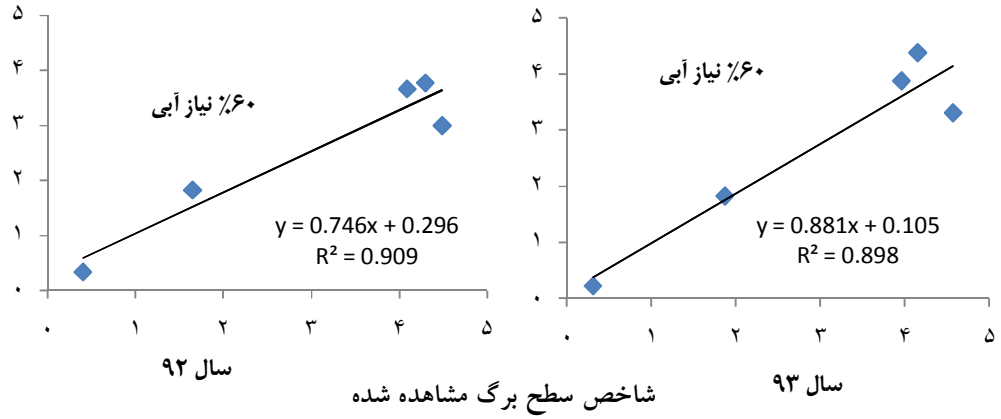


شکل ۱- شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده در تیمارهای مختلف نیاز آبی



Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲- شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده در برابر مشاهده شده در تیمارهای مختلف سطوح نیاز آبی

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده، مقادیرRMSE (٪) برای همه تیمارها بین عالی و خوب دسته‌بندی شد، در این بین تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی در رده عالی قرار گرفت. در تیمارهای تحت تنش (به جزء مرحله چهارم نمونه‌برداری) شاخص سطح برگ تخمین زده شده توسط مدل ٦/٦ درصد بالاتر از مقادیر مشاهده شده بود. همبستگی بالا (مقادیر R2) بین مقادیر شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در همه تیمارها مشاهده گردید به طوری که شاخص سطح برگ پیش‌بینی شده با مشاهده شده در کلیه تیمارها اختلاف معنی‌داری نداشتند. نتایج حاصل از ارزیابی مدل در این پژوهش نشان داد که مدل می‌تواند شاخص سطح برگ ذرت را در شرایط مطلوب رشد و شرایط تنش خشکی، در شرایط آب و هوایی کرمان، به خوبی شبیه‌سازی کند.

فهرست منابع

۱. کوچکی، ع. و خواجه حسینی، م. ۱۳۸۷. زراعت نوین. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۷۰٤ ص.

۲. کیانی، ع.، کوچکی، ع، ر.، بنایان، م. و نصیری محلاتی، م. ۱۳۸۲. ارزیابی مدل CERES-Wheat در دو نقطه متفاوت اقلیمی در استان خراسان. مجله پژوهشی بیابان. جلد ۸ شماره ۲، ص ۲٦٤- ۲۷۵.

۳. اندرزیان، ب.، بخشنده، ع.، بنایان اوّل، م. و امام، ی. ۱۳۸۷. ارزیابی مدل شبیه سازی CERES-Wheat در شرایط اقلیمی اهواز. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. جلد ٦ شماره ۱، ص ۱۱- ۲۲.

4. Chaudhuri, N.V. and E.T.Kanemasa. 1982. Effects of water gradient on sorghum growth, water relations and yield. Can J. Plant Sci. 62:599-607.

5. Khaledian M.R., Mailhol J.C., Ruelle P., and Rosique P. 2009. Adapting PILOTE model for water and yield management under direct seeding system: the case of corn and durum wheat in a Mediterranean context. Agricultural Water Management, 96(5): 757 – 770.

6. Ko, J., Piccinni, G., and Steglich, E .2009.Using EPIC model to manage irrigated cotton and maize. Agricultural Water Management 96 (2009) 1323–1331.

7. Inman-Bamber, N.G., Muchow, R.C., and Robertson, M.J. 2002. Dry matter partitioning of sugarcane in Australia and South Africa. Field Crops Res.76: 71-84.

8. Mailhol J.C., Olufayo A.A., and Ruelle P. 1997. Sorghum and sunflower evapotranspiration and yield from simulated leaf area index. Agricultural Water Management, 35: 167-182.

9. Moll RH and EJ Kamparth, 1977.Effect of population density up on agronomic traits associated

Archive of SID

www.SID.ir

10. with genetic increases in yield of Zea mays L. Agron. J, 69: 81-84.
11. Nouri azhar, J., and Ehsanzedeh, P. 2007. Study of relationship of some gtowth indices and yield of five corn hybrids at two irrigation regim in Esfahan region. J. Sci. and Tech. 41: 261-272.
12. Pandey, R.K., Maranville, J.W., and Chetima, M.M. 2000a. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. II. Shoot growth. Agric. Water Manage. 46: 15–27.
13. Saberali, S.F., Sadatnouri, S.A., Hejazi, A., and Zand, E. 2007. influence of plant density and planting pattern of corn on its growth and yield under competition with common Lambesquarters (*Chenopodium album*). J. Res. Prod. 74: 143-152.
14. Sinclair T.R., Gilbert R.A., Perdomo R.E., Shine Jr. J.M., Powell G., and Montes G. 2004. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. Field Crops Research, 88: 171–178.
15. Seetseng K.A. 2008. Effect of water application and plant density on canola (Brassica napus L.) in the free state. M.S. thesis, University of the Free State Bloemfontein.
16. Wolfe D.W., Henderson D.W., Hsiao T.C., and Alvino A. 1988. Interactive water and nitrogen effects on
17. senescence of maize: I. Leaf area duration, nitrogen distribution, and yield. Agronomy Journal, 80: 859–864.

Archive of SID

www.SID.ir