



مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی
جلد اول، شماره سوم، پاییز ۸۷
۹۹-۱۱۶
www.ejcp.info



ساخت و آزمون یک مدل ساده برای پیش‌بینی پتانسیل تولید ماده خشک در ارزن مرواریدی

* بهنام کامکار^۱، علیرضا کوچکی^۲، مهدی نصیری محلاتی^۳، پرویز رضوانی مقدم^۴
^۱استادیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۲استاد گروه زراعت دانشگاه فردوسی مشهد
تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۴/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۱۰/۲۸

چکیده

به منظور ارزیابی پتانسیل عملکرد ماده خشک در ارزن مرواریدی، یک مدل مکانیستیک ساده تدوین شد. پارامترهای مورد نیاز برای ساخت این مدل از یک سری آزمایش‌های مزرعه‌ای، آزمایش‌های انجام شده در محیط‌های کنترل شده و داده‌های واقعی به دست آمده از ۸۶ مزرعه ارزن در چهار منطقه محاسبه شدند. مهمترین فرآیندهای شبیه‌سازی در مدل‌های موجود عبارت بودند از: فنولوژی (به عنوان تابعی از دما و فتوپریود)، توسعه برگ‌ها (به عنوان تابعی از میزان ماده خشک اختصاص یافته به برگ‌ها در هر روز و سطح برگ ویژه گیاه)، و بیوماس تجمعی در گیاه (به عنوان تابعی از تابش جذب شده و کارایی مصرف نور). این مدل تغییرات روزانه متغیرهای وضعیت را براساس گام زمانی روزانه شبیه‌سازی نمود. آزمون مدل نیز با مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی با مقادیر واقعی ثبت شده انجام شد. جذر انحراف مربع میانگین‌ها (RMSD) محاسبه شده برای مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده روز تا گلدهی نشان داد که روز تا گلدهی شبیه‌سازی شده توسط مدل برای اولین و آخرین محدوده تاریخ‌های کاشت به ترتیب به میزان ۲/۶۱ و ۳/۳۷ روز از میانگین فاصله داشتند. ضرایب تبیین حاصل از خط ۱:۱ عملکرد ماده خشک

* - مسئول مکاتبه: behnamkamkar@yahoo.com

مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی جلد (۱) ۱۳۸۷ شماره ۳

شبیه‌سازی شده در مقابل عملکرد ماده خشک مشاهده شده نشان داد که در تمام موارد، عملکرد شبیه‌سازی شده مطابقت خوبی با عملکرد مشاهده شده دارد. اگرچه در تمامی موارد تقریباً در دو سوم انتهای فصل رشد مقدار تولید ماده خشک بیش از مقادیر واقعی تخمین زده شد، اما مقادیر جذر میانگین مربعات خطا (۰/۶ و ۰/۷۴ برای تاریخ‌های کاشت اول و دوم) نیز مبین دقت قابل قبول این مدل در ارزیابی ماده خشک ارزن مرواریدی بود ($R^2 = ۰/۹۸$). در این تحقیق، به نقاط قوت و ضعف مدل نیز اشاره شده است.

واژه‌های کلیدی: ارزن مرواریدی، مدل شبیه‌سازی، ماده خشک، فنولوژی

مقدمه

برنامه‌ریزی صحیح و کارآمد برای جهت‌دار کردن تولید محصولات کشاورزی در سطوح کلان نیازمند تعیین پتانسیل مناطق مختلف برای پرورش و تولید گیاهان زراعی است تا بتوان براساس آن ضمن امکان‌سنجی تولید محصولات کشاورزی و پهنه‌بندی اراضی، چشم‌اندازی روشن نیز فراسوی تحقیقات قرار داد. برنامه‌ریزی دقیق برای تولید در مقیاس منطقه‌ای مستلزم در اختیار داشتن برآوردهای قابل قبول از عملکرد محصولات زراعی است تا بتوان با تعیین نیاز بازار مصرف در مورد توسعه کاشت یک محصول یا کاهش آن و یا سایر برنامه‌ریزی‌های مرتبط با نظام‌های تولید در سطوح کلان به نوعی پیش‌آگاهی دست یافت. در این راستا، آنچه که باید در گام نخست مورد توجه قرارگیرد این است که چه گیاهی باید در چه منطقه‌ای توسعه یابد و چه مدیریت‌هایی باید برای بهینه‌سازی آن مورد استفاده قرار گیرند و چه مدیریت‌های جایگزینی را می‌توان در نیل به این هدف پیشنهادکرد (لنسیگان، ۱۹۹۸). کمی‌سازی عملکرد و تعیین امکان یا عدم امکان تولید یک محصول در یک منطقه خاص، تعیین بهترین گزینه‌های مدیریتی برای حصول حداکثر عملکرد و یافتن مهمترین عوامل تعیین‌کننده عملکرد در مناطق مختلف سه گام نخست در نیل به این هدف هستند.

مدل‌ها نقش مهمی در ساخت داده‌ها و ایده‌ها دارند و قادرند نقاط ضعف دانش ما را تعیین نمایند. یک مدل از رشد گیاه، توصیف ریاضی شناخت ما از رفتار گیاه است و به‌علت استفاده از توابع ریاضی باید این رفتار در هر مرحله کاملاً مشخص و معین باشد و دیگر جایی برای احتمال یا امکان وجود

بهنام کامکار و همکاران

ندارد. نیاز به یک معادله ما را مجبور می‌سازد تا فرض‌هایی را در نظر بگیریم و مدل، جهت آزمون این فرضیات ساخته می‌شود. اگر پیش‌بینی‌های مدل از واقعیت موجود دقیق نباشد، بایستی بپذیریم که شناخت ما از سیستم مورد مطالعه کامل نیست (بنیان، ۲۰۰۲). از این مدل‌ها برای انجام مطالعات مختلف از جمله انتخاب گیاه و رقم مناسب برای کاشت و تعیین بهترین مدیریت‌های زراعی (اگلی و پرونینگ، ۱۹۹۲)، برآورد پتانسیل تولید مناطق (مینک و هم، ۱۹۹۵)، تعیین خط مشی برای به‌نژادی ارقام (هیکوت، ۱۹۹۷)، تعیین اولویت‌های تحقیقاتی، انتقال فن‌آوری (نیکس، ۱۹۸۴)، پهنه‌بندی بوم‌شناختی (بومن و لسیگان، ۱۹۹۴؛ آگاروال، ۱۹۹۳) و پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم (ملکونیان و همکاران، ۱۹۹۷؛ سینکلر و راولینز، ۱۹۹۳) استفاده شده است.

پتانسیل تولید گیاه زراعی را می‌توان براساس میزان جذب و استفاده از تشعشع خورشیدی به شکل کمی محاسبه کرد. در بسیاری از گونه‌ها نشان داده شده است که تولید بیوماس رابطه‌ای خطی با مقدار تشعشع جذب شده توسط کانوپی دارد. شیب رابطه خطی به‌دست آمده نیز معرف کارایی مصرف نور است و به‌عنوان ضریب کارایی تبدیل انرژی به بیوماس معرفی می‌شود. هم تشعشع و هم درجه حرارت روی تغییرات خلاء عملکرد در محیط‌های مختلف تاثیر می‌گذارند (کراف و همکاران، ۱۹۹۷). ماکو و کراف (۱۹۹۷) با ارایه مثال‌هایی ساده از ذرت، برنج و گندم نشان دادند که پتانسیل عملکرد واریانس گسترده‌ای دارد و برای هر محصول می‌تواند از عملکرد پایین در محیط‌های گرمسیری تا عملکرد بالا در محیط‌های معتدل واقع در عرض‌های جغرافیایی بالاتر تغییر کند. این واریانس می‌تواند خود منشاء مشکلاتی در برنامه‌ریزی‌های کلان کشاورزی باشد و همین مساله رویکرد به ابزاری قوی و کارآمد برای ارزیابی چنین نوساناتی را ضروری می‌کند.

تعدادی از مدل‌های شبیه‌سازی در گذشته برای ارزیابی تهیه شده‌اند که از آن جمله می‌توان به (CERES-MILLET ICRISAT، ۱۹۸۹)، RESCAP (مونتیث و همکاران، ۱۹۸۹)، CP-BFK (وربرن و همکاران، ۱۹۹۵)، به نقل از فان استروم و همکاران، ۲۰۰۲) و SARRA-Millet (اف‌هولدر، ۱۹۹۷) اشاره کرد. از این مدل‌ها در ارزیابی عملکرد ارزیابی استفاده شده است. هودا و همکاران (۱۹۸۴) به بررسی ساختار یک مدل برای شبیه‌سازی عملکرد دانه و بیوماس اندام هوایی ارزیابی مرواریدی پرداختند. آنها ضمن اشاره به این موضوع که تاکنون مدلی برای شبیه‌سازی عملکرد ارزیابی وجود نداشته است، اساس و ساختار مدل پیشنهادی خود را بر مدل SORGF متمرکز کردند. این مدل زمان

نمو، تولید ماده خشک در تک بوته و تخصیص ماده خشک به اندام‌های مختلف گیاه (براساس مرحله نمو) را شبیه‌سازی نمود. در این مدل نیز نظیر بسیاری از مدل‌های دیگر نمو به‌عنوان تابعی از دما و طول روز منظور شده است. این محققان ضمن اجرای این مدل در بخش وسیعی از اراضی ایالات متحده نشان دادند که واکنش ارزن به شرایط محیطی، متفاوت از واکنش سورگوم به شرایط مشابه است و اظهار داشتند که مدل SORGF باید برای ارزن مرواریدی اصلاح شود (هودا و همکاران، ۱۹۸۴). آف هولدر (۱۹۹۷) از مدل SARRA-Millet برای ارزیابی و مقایسه عملکرد ارزن در نواحی مختلف سنگال استفاده کرد. فچر و همکاران (۱۹۹۱)، به نقل از کراف و همکاران، (۲۰۰۳)، نیز از مدل CERES-MILLET در نیجریه استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که این مدل باید برای موازنه آب و مدول‌های رشد و نیز ضرایب ژنتیکی ارقام مختلف اصلاح شوند. در مدل RESCAP^۱ تاکید عمده روی نقش برگ‌ها در جذب تشعشع و نقش ریشه‌ها در جذب آب است.

در مدل APSIM (مک کاون و همکاران، ۱۹۹۶) برای محاسبه پتانسیل تولید سطح برگ نیز برای هر پنجه از اطلاعات سطح برگ اولیه در زمان جوانه‌زنی، تعداد نهایی برگ‌های روی هر پنجه (به‌عنوان تابعی از زمان تا مرحله آغازش گل)، سرعت ظهور برگ و سطح تک برگ‌ها استفاده می‌شود. سطح تک برگ نیز به‌عنوان تابعی از تعداد برگ روی هر پنجه، محل قرارگیری بزرگترین برگ و چولگی^۲ و عرض منحنی پروفیل سطح برگ در نظر گرفته می‌شود. در این مدل عملکرد دانه براساس تعیین پتانسیل تعداد و سرعت رشد دانه محاسبه می‌شود و در آن ضرایب تخصیص و انتقال مجدد در نظر گرفته شده است. تاثیر فراهمی انرژی لازم برای رشد گیاه و وضعیت آب خاک بر تولید بیوماس هم به‌عنوان عوامل کاهش دهنده در نظر گرفته شده و تاثیر تنش نیتروژن و دما نیز با استفاده از ضرایبی در مدل اعمال شده است.

در این تحقیق، هدف ساخت مدلی ساده برای ارزیابی عملکرد پتانسیل ارزن مرواریدی در استان‌های خراسان بزرگ بود به نحوی که با برآورد صحیح مراحل فنولوژیک روز تاگلدھی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، میزان تولید ماده خشک در این گیاه در طی فصل رشد را شبیه‌سازی نماید. اگر چه این مدل قادر است میزان تولید دانه را نیز بر اساس تغییرات شاخص برداشت پس از دوره پرشدن

1- Resource Capture Model

2- Skewness

دانه شبیه‌سازی نماید، اما به دلیل در اختیار نداشتن داده‌های لازم برای ارزیابی مدل از این حیث، از پرداختن به تولید دانه در این مقاله خودداری شده است.

مواد و روش‌ها

اجرای این تحقیق در سه بخش صحرائی (در دو تاریخ کاشت ۱۱ و ۲۵ تیرماه ۸۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد)، آزمایشگاهی (در مرکز CSIC وابسته به دانشگاه کوردوبا، اسپانیا) و جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات واقعی از سطح مزارع زیر کاشت ارزن (۶۸ مزرعه) انجام شد. این مزارع در مختصات طول جغرافیایی ۵۸ تا ۵۹ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ تا ۳۴ درجه شمالی واقع شده بودند. به منظور محاسبه پارامترهای مورد نیاز برای ساخت این مدل ساده از رشد و تولید عملکرد ارزن مرواریدی یا ارزن چماقی (*Pennisetum glaucum*) آزمایشی در سال ۱۳۸۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (عرض جغرافیایی ۱۶° ۳۶' شمالی و طول ۳۷° ۵۹' شرقی) انجام شد. تهیه زمین با زدن دیسک، لولر و ایجاد فاروهای ۵۵ سانتی‌متری انجام و کود سوپر فسفات تریپل به میزان ۲۰۰ کیلوگرم قبل از تهیه فارو با خاک مخلوط گردید.

ضریب خاموشی نور، کارایی مصرف نور (شیب خط رگرسیون بین بیوماس تجمعی و مقدار تجمعی تشعشع جذب شده توسط کانوپی که از انتگرال حاصلضرب مقدار کل تشعشع رسیده به سطح کانوپی در کسر جذب نور روزانه و برای کل طول فصل رشد محاسبه شد)، تغییرات شاخص برداشت در طول زمان، تغییرات تولید بیوماس، تغییرات شاخص سطح برگ، مراحل فنولوژی، تغییرات ضرایب تخصیص مواد به برگ، ساقه و اندام زایشی در طول فصل رشد در این مطالعه مزرعه‌ای تعیین شدند.

این مدل که رشد و نمو و پتانسیل عملکرد ارزن مرواریدی را در قالب گام زمانی یک روزه محاسبه می‌کند، داده‌های هواشناسی هر منطقه را به‌عنوان ورودی و به‌عنوان متغیر مستقل و کنترل‌کننده تغییرات سایر اجزای مدل، دریافت و محاسبات را به‌ترتیب برای طول فصل رشد انجام می‌دهد و در نهایت نیز داده‌های مدل به شکل روزانه ارائه می‌شود. مدل حاضر مشتمل بر اجزایی نظیر متغیرها، پارامترها، مقادیر محاسبه‌های اولیه و کمپارتمنت‌ها می‌شود. در این مدل، تشعشع براساس

روش خودریان و فانلار (۱۹۹۴) محاسبه و براساس رابطه آنگستروم و ساعات آفتابی تصحیح می‌شود.

ضریب خاموشی نور در کانوپی براساس شیب خط رگرسیونی برازش یافته بین $\ln(1-qde)$ و شاخص سطح برگ (به ترتیب به عنوان متغیرهای وابسته و مستقل) محاسبه شد. اندازه‌گیری وضعیت خاموشی نور در کانوپی طی ۶ مرحله و در فاصله ساعات ۱۱ الی ۱۲ ظهر انجام شد. با توجه به تغییرات این ضریب در طی روز (بیشترین در صبح و عصر) تاثیر این تغییرات بر کسر جذب نور برای کل طول روز تصحیح شد. در این رابطه qde کسر نور عبور یافته (نسبت تشعشع رسیده به زیر کانوپی به کل تشعشع رسیده به سطح کانوپی) است که براساس فرمول ارائه شده توسط چارلز ادواردز و همکاران (۱۹۸۶) برای کل طول روز تصحیح شده است (معادله ۱). بدیهی است که $(1-qde)$ کسر نور جذب شده ($Fabs$) را نشان می‌دهد.

$$F_{abs.cor} = \frac{F_{abs.noon} \times 2}{F_{abs.noon} + 1} \quad \text{معادله ۱:}$$

در این معادله $Fabs.cor$ کسر جذب نور تصحیح شده برای کل روز و $Fabs.noon$ کسر جذب نور در ظهر را نشان می‌دهند.

شبیه‌سازی سطح برگ براساس حاصلضرب بیوماس اختصاص یافته به برگ در هر روز و سطح برگ ویژه متناظر با آن که در مدل و از درونیابی معادله توانی منفی $Y=ax^b$ محاسبه شد، انجام و از انتگرال سطح برگ در طول زمان جهت محاسبه کسر جذب نور و در نتیجه میزان تشعشع جذب شده توسط کانوپی در هر روز استفاده شده است. در این مدل پس از محاسبه کسر جذب نور، میزان بیوماس تولید شده در هر روز از معادله (۲) محاسبه می‌شود.

$$DDM=TRAD \times Fabs \times RUE \quad \text{معادله ۲:}$$

در این رابطه DDM میزان تولید ماده خشک برحسب گرم در هر روز، RUE کارایی مصرف نور برحسب گرم بر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی و $TRAD$ تشعشع فعال فتوسنتزی رسیده به بالای کانوپی برحسب مگاژول را نشان می‌دهند.

برای آزمون نتایج مدل نیز از روش جذر انحراف مربع میانگین‌ها^۱ (RMSD) و میزان انحراف نتایج پیش‌بینی شده از خط ۱:۱ استفاده شد. در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی، مقایسه بین خروجی‌های مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی مرحله مهمی برای آزمون دقت مدل و بسط آن در مراحل بعد می‌باشد (کوبایاشی و سلام، ۲۰۰۰). این محاسبه‌ها اغلب براساس همبستگی بین مقادیر محاسبه شده و اندازه‌گیری شده انجام می‌شود. اما یکی از روش‌هایی که از اعتبار بیشتری در مقایسه با روش رگرسیون برخوردار است، محاسبه انحراف خروجی مدل (x) از مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی (y) است. زمانی که مقایسه برای n اندازه‌گیری انجام شود، می‌توان اختلاف x و y را به شکل زیر نشان داد:

$$d_i = x_i - y_i, i = 1, 2, \dots, n$$

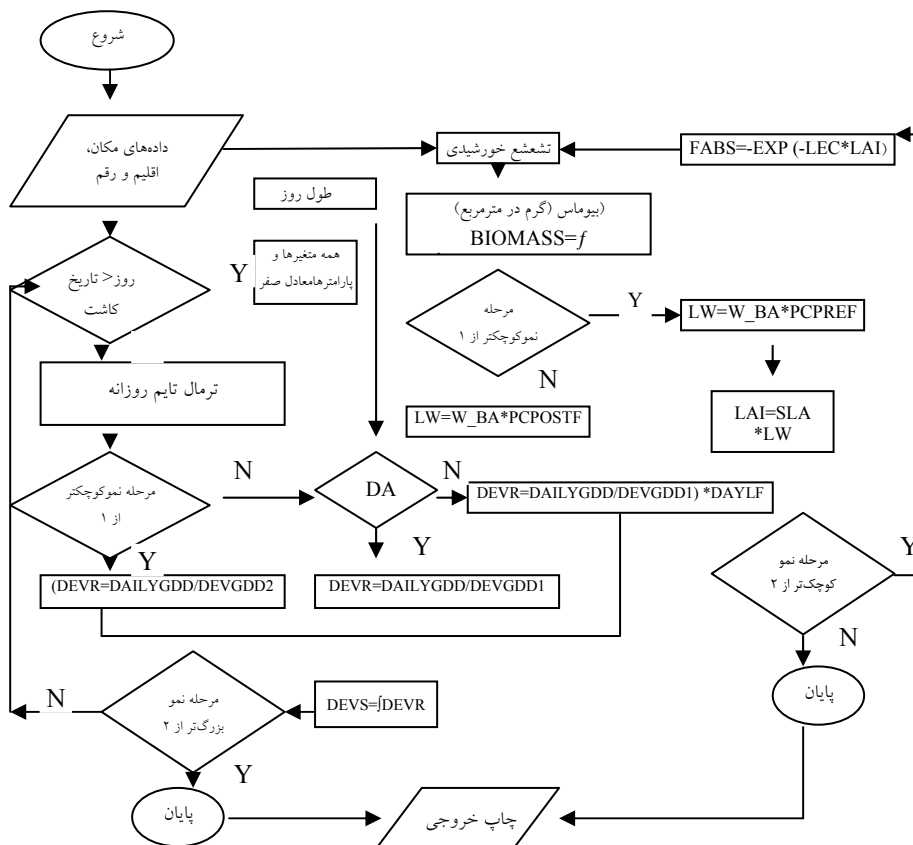
در این حالت x_i و y_i به ترتیب مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده را برای i امین داده نشان می‌دهند. تعداد n انحراف را می‌توان به شکل یک معادله کلی به شکل معادله ۳ ارایه کرد:

$$RMSD = \left(\frac{1}{n} \sum (x_i - y_i)^2 \right)^{1/2} \quad \text{معادله ۳}$$

محاسبه دماهای کاردینال با برازش یک تابع غیرخطی دو تکه‌ای^۲ به داده‌های سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما با احتساب ۶ تیمار دمایی و برآورد پارامترها با روش بهینه‌سازی تکراری انجام شد (کامکار و همکاران، ۲۰۰۶). تابع فتوپریودی و ضربیب حساسیت به‌طول روز نیز با استخراج داده از منابع (ICRISAT & FAO، ۱۹۹۶) و برازش یک مدل دو تکه‌ای تعیین شد. سرعت نمو در زیر مدل فنولوژی با در نظر گرفتن ارزن مرواریدی به‌عنوان یک گیاه کوتاه روز تا قبل از گلدهی به‌عنوان تابعی از روز فتوترمال و بعد از گلدهی به‌عنوان تابعی از زمان حرارتی محاسبه شد. زیر مدل فنولوژی با داده‌های حاصل از ۶۸ مزرعه ارزن در نواحی مختلف استان‌های خراسان آزمون شد. شکل (۱) الگوریتم مدل مورد استفاده را نشان می‌دهد.

1- Root Mean Square Deviation

2- Segmented Function



شکل ۱- الگوریتم مدل مورد استفاده برای شبیه‌سازی عملکرد. مرحله نمو ۱، گلدهی و مرحله نمو ۲ رسیدگی کامل را نشان می‌دهند. $PCPREF$ ، $PCPOSTF$ ، $DEVGDD$ ، $DAILYGDD$ ، $DAYLF$ ، $DEVR$ ، SLA ، $DEVS$ به ترتیب مرحله نمو، سطح ویژه برگ، سرعت نمو، طول روز، ترمال تایم روزانه، ترمال تایم مورد نیاز برای هر مرحله، ضریب تخصیص ماده خشک قبل از گلدهی و بعد از گلدهی را نشان می‌دهند.

به منظور آزمون مدل از نظر شبیه‌سازی مراحل فنولوژیک گیاه، اطلاعات مرتبط با ۶۸ مزرعه از مناطق بیرجند، فردوس، قاین و گناباد شامل زمان کاشت محصول، زمان وقوع گلدهی و طول دوره رشد ثبت گردید.

نتایج و بحث

مهمترین پارامترهای محاسبه شده که در مدل مورد استفاده قرار گرفتند در جدول (۱) ارائه شده‌اند. در منابع مختلف مقادیر متفاوتی از ضریب خاموشی نور برای ارزیابی ارائه شده است (برای

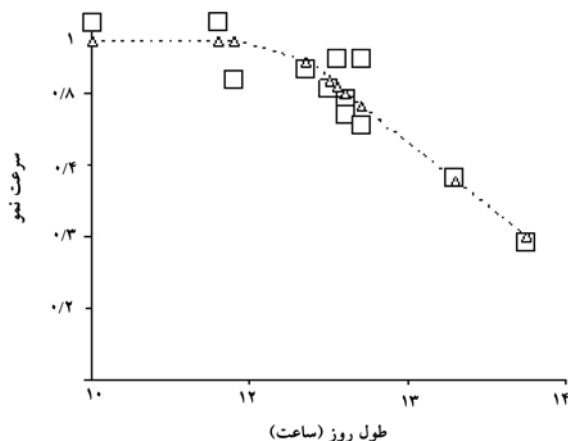
مثال، سیتهاراما و همکاران، ۱۹۸۲؛ اسکوآیر و همکاران، ۱۹۸۴). منابع موجود در مورد ارزیابی مرواریدی مقدار ضریب خاموشی نور در کانوپی این گیاه را بین ۰/۲۹ تا ۰/۲۹ در شرایط مطالعه گلخانه‌ای (اسکوآیر و همکاران، ۱۹۸۴) تا ۰/۵ در شرایط مزرعه و در ظهر خورشیدی (مارشال و ویلی، ۱۹۸۳) گزارش کرده‌اند. مارشال و ویلی (۱۹۸۳) مقدار ضریب خاموشی نور کانوپی ارزیابی در نیمروز را در حدود ۰/۵ و فان اوستروم و همکاران (۲۰۰۲) مقدار این ضریب را در حدود ۰/۶۳ گزارش کردند.

سینکلر و ماکو (۱۹۹۹) در بررسی جامع روی گیاهان C₄ بیشترین مقدار کارایی مصرف نور این گیاهان را نزدیک به ۲ گرم بر مگاژول تخمین زدند. مقادیر گزارش شده برای کارایی مصرف نور در ارزیابی مرواریدی در شرایط مزرعه و شرایطی که گیاه با هیچ محدودیتی روبرو نبوده است از ۱/۳ گرم بر مگاژول (ردی و ویلی، ۱۹۸۱) تا ۲/۱ گرم بر مگاژول (سینکلر، ۱۹۹۴) گزارش شده است. اوانگ و مونتیث (۱۹۸۵) مقدار این ضریب در ارزیابی مرواریدی را بین ۲ تا ۲/۵ گرم بر مگاژول گزارش کردند. این در حالی است که اسکوآیر و همکاران (۱۹۸۴) در مطالعه‌ای گلخانه‌ای این مقدار را برابر با ۲/۴ گرم بر مگاژول تعیین کردند. طی تحقیقی که بگ (۱۹۶۵) روی ارزیابی انجام داد نشان داد که مقدار کارایی مصرف نور براساس بیوماس تولید شده توسط این گیاه در مرحله قبل از گرده‌افشانی برابر ۲/۱۵ تا ۲/۳۷ گرم بر مگاژول است، اما مقدار آن در مراحل نهایی رشد کاهش و در حدود ۳۰ درصد در مقایسه با قبل از گرده افشانی تقلیل می‌یابد.

فتوپریود بحرانی این گیاه در مدل APSIM (مک کاون و همکاران، ۱۹۹۶) نیز معادل ۱۲/۹ ساعت در نظر گرفته شده است. شکل (۲) منحنی واکنش این گیاه به فتوپریود را نشان می‌دهد که با استفاده از یک مدل دو تکه‌ای به دست آمده است.

جدول ۱- پارامترهای محاسبه شده مورد استفاده در مدل.

پارامتر	مقدار	واحد
ضریب خاموشی نور	۰/۶۲	بدون واحد
کارایی مصرف نور	۱/۸۳	گرم ماده خشک بر مگاژول انرژی مصرفی
ضریب تخصیص ماده خشک به برگ بعد از گلدهی	۰/۱۹	بدون واحد
ضریب تخصیص ماده خشک به برگ قبل از گلدهی	۰/۵	بدون واحد
دمای پایه	۸/۴	درجه سانتی‌گراد
دمای بهینه	۳۸/۵	درجه سانتی‌گراد
دمای سقف (حداکثر)	۴۵	درجه سانتی‌گراد
فتوپریود بحرانی	۱۲/۴۳	ساعت

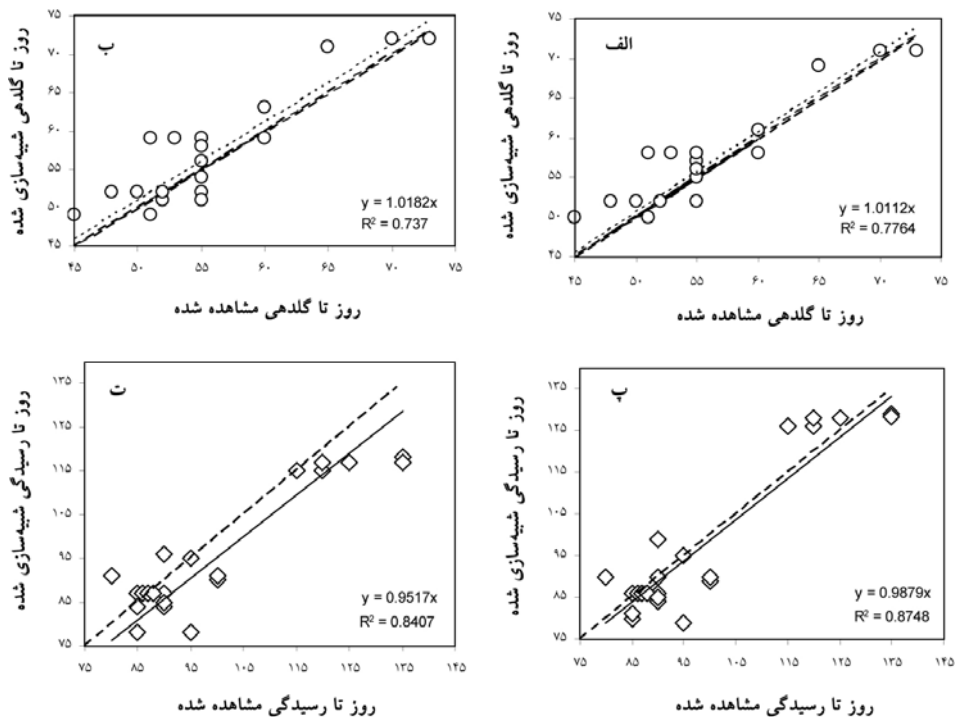


شکل ۲- تغییرات سرعت نمو در برابر تغییرات طول روز در ارزن. مثلث‌ها و نقطه‌چین‌ها مقادیر واقعی و مربع‌ها مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل تکه‌ای برازش یافته را نشان می‌دهند.

شکل (۳) خط رگرسیونی برازش یافته به مقادیر واقعی (یا ثبت شده) روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی در مقابل مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل را نشان می‌دهد. در شکل (۳) از ارایه نقاط دارای مقادیر مشابه یا تاریخ کاشت‌های مشابه خودداری شده است. این شکل برای اولین و آخرین تاریخ کاشت‌های تعریف شده در جریان آنالیز حساسیت مدل ارایه شده‌اند و در واقع قوت مدل در شبیه‌سازی مراحل نمو گیاه با تغییر در تاریخ کاشت را نشان می‌دهند. این دو تاریخ کاشت، اولین و آخرین تاریخ کاشت‌هایی هستند که فنولوژی گیاهان کشت شده در این تاریخ‌های کاشت در نواحی مورد مطالعه وجود داشت. ضرایب تبیین به دست آمده نیز مبین این است که مدل درصد قابل قبولی از تغییرات فنولوژی گیاه با تاریخ کاشت و مناطق با شرایط آب و هوایی مختلف را نشان می‌دهد. این مدل به ترتیب برای اجرا در تاریخ کاشت‌های تعریف شده در ابتدای محدوده آنالیز حساسیت و تاریخ کاشت‌های انتهای محدوده آنالیز حساسیت توانست ۰/۷۷۶ و ۰/۷۳۶ از تغییرات فنولوژیک گیاه با تغییر در تاریخ کاشت و منطقه مورد استفاده را توجیه کند.

RMSD محاسبه شده برای مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده روز تا گلدهی نیز نشان داد که روز تا گلدهی شبیه‌سازی شده توسط مدل و برای اولین و آخرین محدوده تاریخ‌های کاشت به ترتیب به میزان ۲/۶۱ و ۳/۳۷ روز از میانگین فاصله دارند. نقاطی که در انتهای بالایی خط رگرسیونی قرار دارند

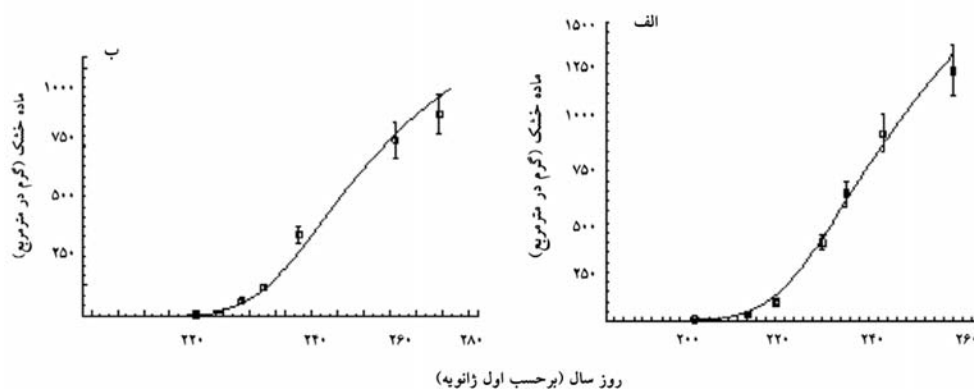
مربوط به قاین می‌باشند که تفاوت قابل توجه روز تا گلدهی در این منطقه را با سایر مناطق نشان می‌دهد.



شکل ۳- روز تا گلدهی شبیه‌سازی شده در مقابل روز تا گلدهی مشاهده شده در مزارع زیر کشت ارزن مرواریدی در قاین، گناباد و فردوس. نقطه چین: خط رگرسیونی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده؛ خط منقطع: خط رگرسیونی ۱ به ۱. الف و پ: تاریخ کاشت اول؛ ب و ت: تاریخ کاشت دوم.

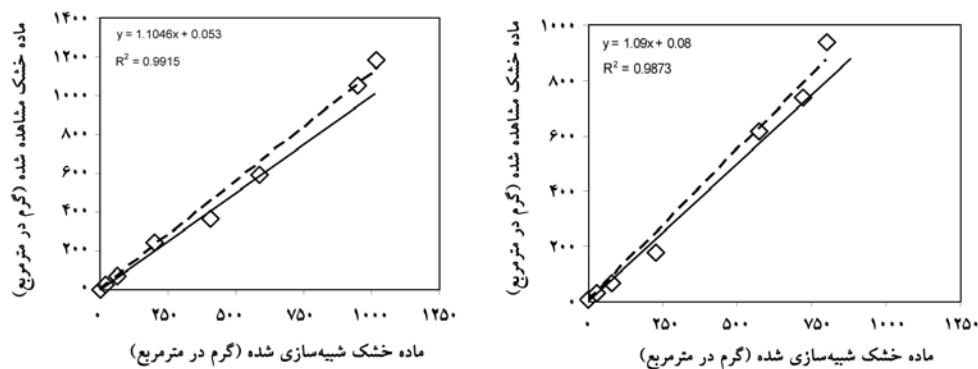
شکل (۴) روند تجمع ماده خشک پیش‌بینی شده توسط مدل برای دو تاریخ کاشت ۱۱ و ۲۵ تیرماه (آزمایش‌های مزرعه‌ای) را نشان می‌دهد. داده‌های تاریخ کاشت اول برای ساخت مدل مورد استفاده قرار گرفتند. ضرایب تبیین ارایه شده در شکل (۵) نیز از رسم خطوط ۱:۱ رگرسیون ماده خشک شبیه‌سازی شده در مقابل عملکرد مشاهده شده به دست آمده است. ضرایب تبیین حاصل از خط ۱:۱ عملکرد ماده خشک شبیه‌سازی شده روی عملکرد ماده خشک مشاهده شده نشان می‌دهد که

در تمام موارد، عملکرد شبیه‌سازی شده مطابقت خوبی با عملکرد مشاهده شده دارد. بررسی روند تولید ماده خشک براساس خروجی مدل (خط‌های پیوسته در شکل ۵) نشان می‌دهد که در تمامی موارد تقریباً در دو سوم انتهایی فصل رشد مقدار تولید ماده خشک بیش از مقادیر واقعی تخمین زده شده است. مقایسه خطوط رگرسیونی حاصل از عملکرد شبیه‌سازی شده روی عملکرد مشاهده شده با خط رگرسیونی ۱:۱ نیز نشان داد که در سطوح بالاتر از ۴ تن در هکتار فاصله عملکرد پیش‌بینی شده تا اندازه‌ای از خط ۱:۱ به طرف بالا منحرف شده‌اند. شیب خط رگرسیونی نیز تا اندازه‌ای بیشتر از یک است، ولی این اختلاف اندک است، به نحوی که اختلاف شیب از خط یک به یک معنی‌دار نشد. این مساله می‌تواند مربوط به تخمین بالاتر سطح برگ در انتهای فصل رشد در مقایسه با مزرعه باشد که خود ناشی از کم برآورد کردن سطح برگ‌های پیر می‌باشد. البته نباید خطای احتمالی ناشی از اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای را نیز در این زمینه نادیده انگاشت. ضرایب تبیین حاصل از خطوط ۱:۱ مبین این است که در کل این مدل قادر است تولید ماده خشک را به شکل قابل قبولی تخمین بزند. مقادیر جذر میانگین مربعات خطا (۰/۶ و ۰/۷۴ برای تاریخ‌های کاشت اول و دوم) نیز مبین دقت قابل قبول این مدل در ارزیابی ماده خشک ارزن مرواریدی است ($R^2=0/98$).



شکل ۴- تجمع ماده خشک توسط مدل برای ارزن مرواریدی. خط پیوسته مربوط به پیش‌بینی مدل و نقاط مقادیر مشاهده شده تجمع ماده خشک هستند. الف: مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده مربوط به تاریخ کاشت اول. ب: مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی برای تاریخ کاشت دوم.

نتایج مدل نشان داد که این مدل ساده می‌تواند مراحل فنولوژیک و تولید ماده خشک در ارزن مرواریدی را به شکلی قابل قبول شبیه‌سازی نماید. در این مدل، به جز تابع واکنش به فتوپریود که از منابع استخراج گردید، تمامی پارامترها و توابع لازم در جریان اجرای مدل با نمونه‌گیری‌های متعدد محاسبه شده‌اند، اما این بدان معنی نیست که این مدل قابلیت دارد میزان تولید ماده خشک را در تمام شرایط به بهترین شکل ممکن تخمین بزند، چرا که هنوز انجام آزمایش‌های متعدد و آزمون‌های چندمرحله‌ای و چند منطقه‌ای برای ارزیابی توانمندی این مدل ضرورت دارند و ذکر نکات ذیل در مورد این مدل می‌تواند به روشن شدن این مطلب و برخی نقاط قوت و ضعف این مدل کمک کند.



شکل ۵- مقادیر ماده خشک تجمع یافته در مقابل مقادیر مشاهده شده مربوط به ارزن مرواریدی. خط پیوسته: خط رگرسیون ماده خشک شبیه‌سازی شده روی عملکرد مشاهده شده و خط منقطع خط ۱:۱ را نشان می‌دهند. لوزی‌ها نیز مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهند. الف: مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده مربوط به تاریخ کاشت اول. ب: مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی مربوط به تاریخ کاشت دوم.

۱- این مدل با فرض تراکم مطلوب (بین ۲۵-۴۰ بوته در متر مربع) ساخته شده است و در صورتی که قرار باشد برای سایر سطوح تولید (شرایطی غیر از شرایط پتانسیل) شبیه‌سازی انجام شود، باید اثر تراکم بر متغیرهای مختلف موثر بر تولید این گیاه بررسی‌های جامع انجام شود و در کمی‌سازی عملکرد از آنها استفاده شود.

۲- این مدل در قالبی ساخت یافته طراحی شده است، بدین معنی که به راحتی می توان آن را برای شرایط غیرپتانسیل نظیر شرایط خشکی و... نیز تغییر داد، ولی در قالب فعلی فقط قادر است شرایط پتانسیل را شبیه سازی نماید.

۳- در مدل حاضر پارامترهای مورد استفاده با نمونه گیری های متعدد در شرایط مزرعه محاسبه شده اند، ولی با وجود دقت در اندازه گیری ها، بهتر است طی آزمایش های بیشتری این پارامترها محاسبه و در صورت نیاز مورد تصحیح قرار گیرند.

۴- آزمون مدل براساس اطلاعات به دست آمده از تاریخ کاشت دوم که بخش زیادی از آن با تاریخ کاشت اول همپوشانی داشته، انجام شده است. لذا توصیه می شود که این مدل با استفاده از آزمایش های جداگانه طی سال های جداگانه نیز مورد آزمون قرار گیرد و دقت و توان مدل در برآورد عمل محاسبه شود.

۶- اثر دماهای بحرانی در گیاه چندان دقیق منظور نشده است. البته بیشتر این موضوع باید از دید دماهای پایین (نظیر وقوع سرماهای زودرس) بررسی شود. در مدل حاضر، دماهای بحرانی، حداقل و حداکثر دمای قابل تحمل این گیاه در نظر گرفته شده اند.

۷- دماهای کاردینال این گیاه تنها برای مرحله جوانه زنی محاسبه شده (کامکار و همکاران، ۲۰۰۶) و از آن به عنوان دماهای کاردینال تمام مراحل فنولوژیک گیاه استفاده شده است. اگرچه این فرض تا زمانی که خلاف آن ثابت نشده نظیر بسیاری از مدل ها، فرض صحیحی در برآورد مراحل نمو گیاه است، اما بهتر است در صورت امکان دماهای کاردینال برای مراحل مختلف نمو به شکل جداگانه محاسبه و از آنها در ساخت زیر مدل فنولوژیک استفاده شود.

۸- شبیه سازی مراحل نمو در طول اجرای مدل نشان داد که دماهای کاردینال نسبتاً درست برآورد شده اند. اما به دلیل عدم تفاوت عرض جغرافیایی مناطقی که آزمون مدل با آنها انجام شده، فاکتور طول روز به شکل قابل قبولی مورد آزمون قرار نگرفته است. اگرچه تابع مورد استفاده، تابعی است که از منابع استخراج شده است، اما بهتر است این تابع با انجام آزمایش های جداگانه در طول روزهای مختلف و دماهای ثابت یا طیف قابل توجهی از تاریخ های کاشت به دست آید.

۹- در این مدل سعی بر آن شده که از روابط تجربی کمتر استفاده شود و در عین سادگی حالت مکانیستیک خود را حفظ کند. برای استفاده از این مدل در سایر مناطق جهت برآورد رشد پتانسیل

توصیه می‌شود که نتایج مدل حداقل با مجموعه‌ای از داده‌های مستقل در منطقه آزمون و سپس از آن جهت برآورد پتانسیل سایر مناطق استفاده کرد.

۱۰- این مدل جهت اجرا به ورود داده‌های هواشناسی، مختصات جغرافیایی منطقه و تاریخ کاشت نیاز دارد. بنابراین کم بودن اطلاعات مورد نیاز جهت اجرای مدل یکی از مزایای این مدل به‌شمار می‌آید. این مدل این قابلیت را دارد که به راحتی برای شرایط غیرپتانسیل بسط داده شود.

۱۱- مسلماً این مدل تمام واقعیت‌های موجود را نمی‌تواند در قالب کمی ارائه کند، اما می‌تواند به‌عنوان ابزاری مفید در بررسی قابلیت‌های مناطق در به فعلیت رساندن پتانسیل‌های ژنتیکی این گیاه مورد استفاده قرار گیرد. اما تا تبدیل شدن به یک مدل جامع به تحقیقات گسترده و منسجمی برای کمی‌سازی واکنش این گیاهان به شرایط متغیر محیطی نیاز دارد. لازم به ذکر است که اطلاعات به‌دست آمده در این تحقیق در برخی موارد برای اولین بار در مورد این گیاه گزارش شده‌اند و کمبود اطلاعات در زمینه پارامترهای فیزیولوژیک این گیاه، بر ضرورت مطالعه بیشتر بر رفتارهای فیزیولوژیک این گیاه در پاسخ به عوامل محیطی صحنه می‌گذارد.

فهرست منابع

- Affholder, F. 1997. Empirically modeling the interaction between intensification and climatic risk in semiarid regions. *Field Crops Res.* 52: 79-93.
- Aggarwal, P.K. 1993. Agro-ecological zoning using crop growth simulation models: characterization of wheat environments on India. F. W. T. Penning de Vries et al. (eds). *Systems approaches for agricultural development*, 97-109. Kluwer Academic Publishers.
- Banayan, M. 2002. *Development and Application of Simulation Models in Agriculture*. Ferdowsi University Press. 204 Pp. (In Persian).
- Begg, J.E. 1965. The growth and development of a crop of millet (*Pennisetum typhoides* S&H.). *J. Agri Sci.* 65:341-349.
- Bouman, B.A.M., and Lansigan, F.P. 1994. Agroecological zonation and characterization. In: Bouma, B.A.M. et al. (eds). *Agroecological zonation, characterization and optimization of rice-based cropping systems*. SARP research proceeding, Wageningen and Los Banos, pp 1-8.
- Charlz-Edwards, D.A, Doley, D., and Rimmington, G.M. 1986. *Modeling plant growth and development*. Academic Press. 235 pp.
- Egli, D.B., and Bruening, W. 1992. Planting date and soybean yield: Evaluation of environmental effects with a crop simulation model: SOYGRO. *Agric. For. Meterol.* 62:19-29.

- FAO and ICRISAT. 1996. The world sorghum and millet economies, Facts, trends and outlook. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Via delle Terme di Caracalla, Rome, and International Crops Research Institute for the Semi-arid Tropics (ICRISAT), Patancheru, Andhra Pradesh, India. 68 pp.
- Goudriaan, J., and Van laar, H.H. 1994. Modelling potential crop growth processes. Kluwer Academic Press, Dordcht, the Netherlands. 238 pp.
- Habekotte, B. 1997. Options for increasing seed yield of winter oil seed rape: A simulation study. *Field Crops Res.* 54:109-126.
- Huda, A.K.S., Sivaskumar, M.V.K., Alagarswamy, G., Virmani, S.M., and Vanderlip, R.L. 1984. Problems and prospects in modeling pearl millet growth and development: A suggested framework for a millet model. Proceeding of the international symposium. ICRISAT. 1984. India. Pp 297.
- ICRISAT, 1989. Modeling the growth and development of sorghum and pearl millet. Research bulletin No.12. In: Virmani, S.M., Tandon, H.I.S., Alagarswamy, G. (Eds.). International crop research institute for the semi-arid tropics, Patancheru. Andhra Pradesh, India, 43pp.
- Kamkar, B., Koocheki, A.R., Nassiri Mahallati, M., and Rezvani Moghaddam, P. 2006. Cardinal temperatures for germination in three millet species (*Panicum miliaceum*, *Pennisetum glaucum* and *Setaria italica*). *Asian Journal of plant Science* 5(2): 316-319.
- Kobayashi, K., and Salam, M.U. 2000. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. *Agron. J.* 92: 345-352
- Kropff, M.J., Teng, P.S., Aggarwal, P.K., Bouma, J., Bouman, B.A.M., Jones, J.W., and Van Laar, H.H. 1997. Application of system approaches at the field level. Vol 2. Kluwer Academic publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Kropff, M.J., Bumba, J., and Jones, J.W. 2001. Systems approaches for the design of sustainable agroecosystems. *Agric Syst.* 70: 369-393.
- Lansigan, F.P. 1998. Minimum data and information requirements for estimating yield gap in crop production systems. *Agric. Inf. Tech. Asia and Oceania.* pp 151-159.
- Marshall, B., and Willey, R.W. 1983. Radiation interception and growth in an intercrop of pearl millet/groundnut. *Field Crops Res.* 7:141-160.
- McCown, R.L., Hammer, G.L., Hargreaves, J.N.G., Holzworth, D.P., and Freebairn, D.M. 1996. APSIM: a novel software system for model development, model testing and simulation in agricultural systems research. *Agric. Syst.* 50:255-271.
- Meinke, H., and Hammer, G.L. 1995. A peanut simulation model. II: Assessing regional production potential. *Agron. J.* 87:1093-1099.

- Melkonian, J., Richa, S.J., and Wilks, D.S. 1997. Simulation of elevated CO₂ effects on daily net canopy carbon assimilation and crop yield. *Agric Syst.* 58: 87-106.
- Monteith, J.M., Huda, A.K.S., and Midya, D. 1989. RESCAP: a resource capture model for sorghum and pearl millet. In: Virmani, S.M., Tandon, H.I.S., Alagarswamy, G. (Eds.) *Modeling the growth and development of sorghum and pearl millet*. International crop research institute for the semi-arid tropics (ICRISAT), Research bulletin No.12. Patancheru. Andhra Pradesh, India, pp: 30-34.
- Muchow, R.C., and Kropff, M.J. 1997. Assessing the potential yield of tropical crops: Role of field experimentation and simulation. In: Kropff, M.J., P.S. Teng, P.K. Aggarwal, J. Bouma, B.A.M. Bouman, J.W. Jones, and H.H. an laar (Eds). *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands*, pp: 101-112.
- Nix, H.A., 1984. Minimum data set transfer for agrotechnology transfer. In: *proceedings of international symposium on minimum data sets for agro technology transfer*. ICRISAT, Patancheru, India, pp: 181-188.
- Ong, C.K., and Monteith, J.L. 1985. Response of pearl millet to light and temperature. *Field Crops Res.* 11:141-160.
- Reddy, M.S., and Willey, R.W. 1981. Growth and resource use studies in an intercrop of pearl millet /groundnut. *Field Crops Res.* 4: 13-24.
- Seetharama, N., Mahalakshmi, V., Bidinger, F.R., and Singh, S. 1982. Response of sorghum and pearl millet to drought stress in semi-arid India. *Proceedings of the international symposium, 1982*. ICRISAT center, Patancheru, India.
- Sinclair, T.R., and Muchow, R.C. 1999. Radiation use efficiency. *Adv. Agron.* 65:215-265.
- Sinclair, T.R., and Rawlins, S.L. 1993. Inter-seasonal variation in soybean and maize yields under global environmental change. *Agron. J.* 85: 406-409.
- Sinclair, T.R. 1994. *Physiology and determination of crop yield (anonymous)*. Chapter 19.
- Squire, G.R., Gregory, P.J., Marshal, B., Terry, A.C., and Monteith, J.L. 1984. Response to temperature in a stand of pearl millet. I. Light interception and dry matter production. *J. Exp. Bot.* 35:599-610.
- Van Oosterom, E.J., O'Leary, G.J., Carberry, P.S., and Craufurd, P.Q. 2002. Simulating growth, development, and yield of tillering pearl millet. III. Biomass accumulation and partitioning. *Field Crops Res.* 79: 85-106.



Construction and primary evaluation of a simple model to predict potential dry matter production in pearl millet

***B. Kamkar¹, A.R. Koocheki², M. Nassiri Mahallati²
and P. Rezvani Moghaddam²**

Assistant Prof. Agronomy Dept. of Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources (GUASNR), Profs. Agronomy Dept. Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

A simple mechanistic model was constructed to evaluate potential dry matter of pearl millet. All needed parameters were calculated based on many field and laboratory experiments and actual data obtained from 86 fields of Millet located at different regions of Khorasan's provinces. The major simulated processes were crop phenology (as a function of temperature and photoperiod function curves), development of leaves (as a function of daily biomass partitioning to leaves and Specific Leaf Area (SLA)), and total dry matter (as a function of intercepted radiation and radiation use efficiency). The model was run based on daily time step and outputs were evaluated by comprising actual and predicted data. Calculated Root Mean Square Error (RMSE) by actual and predicted data indicated that predicted days to flowering biased 2.61 and 3.37 days from mean of actual values for the first and second sowing dates in studied regions, respectively. Determination coefficients of actual data plotted against predicted data revealed that predicted dry matter yield was acceptable in comparison with actual data. Although, the model had an overestimation during two-third of growing season, but low RMSEs (0.6 and 0.74 ton ha⁻¹ for first and last sowing dates, respectively) demonstrated the ability of model to predict dry matter production during growing season of pearl millet ($R^2=0.98$). In this study, the advantages and deficiencies of model, also, have considered.

Keywords: Pearl millet, simulation model, dry matter, phenology

*- Corresponding Author; Email: behnamkamkar@yahoo.com