



به‌زراعی کشاورزی

دوره ۱۹ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۶
صفحه‌های ۷۶۵-۷۵۱

پارامتریابی و ارزیابی مدلی ساده در شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاه سویا در شرایط اقلیمی تهران

شیوا اکبری^{۱*} و الیاس سلطانی^۲

۱. دانشجوی دکتری زراعت-فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

۲. استادیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۲۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۱۰

چکیده

هدف از این مطالعه، استفاده از مدلی ساده در بررسی اثر عوامل اقلیمی، مدیریت زراعی و ویژگی‌های رشدی گیاه در شبیه‌سازی رشد و عملکرد سویا در شرایط اقلیمی تهران بود تا ابزاری کارگشا برای مطالعه عوامل مؤثر بر عملکرد به‌کار گرفته شود. مدل برای شرایط اقلیمی تهران آزمون شد. سویا از منابع مهم تولید روغن و پروتئین گیاهی به‌شمار می‌رود. در این مطالعه، تولید و تجمع ماده خشک در بخش‌های رویشی و دانه سویا از تغییرات پارامترهایی نظیر دمای پایه، شاخص سطح برگ حداکثر مشاهده‌شده و کسری از ماده خشک قابل‌انتقال به دانه در شروع پرشدن دانه بررسی شد. کاهش و افزایش دمای پایه به‌ترتیب سبب کاهش و افزایش طول دوره‌های فنولوژیکی، تولید ماده خشک و مواد تخصیص‌یافته به اندام‌های هوایی و دانه‌ها شد. کاهش و افزایش انتقال مجدد ماده خشک به دانه‌ها سبب کاهش و افزایش شاخص برداشت شد. برای ارزیابی مدل از برخی آماره‌های مبتنی بر اختلاف مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌شده استفاده شد. دامنه عملکرد دانه شبیه‌سازی‌شده بین ۱۸۹۰-۲۲۲۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۱۹۸۲/۵ کیلوگرم در هکتار و دامنه عملکرد دانه مشاهده‌شده بین ۱۶۳۲-۲۲۵۴ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۲۰۱۴/۵ کیلوگرم در هکتار بود. جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)^۱ برابر ۱۷۸/۴۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که معادل ۹ درصد هر دو میانگین عملکرد شبیه‌سازی‌شده بود. تمامی نقاط در محدوده ۸۰ درصد از خط ۱:۱ قرارگرفت که نشان می‌دهد مدل برای پیش‌بینی عملکرد سویا در شرایط اقلیمی تهران از دقت مناسبی برخوردار بوده است.

کلیدواژه‌ها: دمای پایه، شاخص سطح برگ، فنولوژی، ماده خشک، مدل‌سازی.

1. Root mean square error

۱. مقدمه

خشک در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی تا حد زیادی با زمان‌بندی مراحل نمو تنظیم می‌شود [۲۲]. مدل‌های ساده به‌واسطه داشتن برتری‌هایی مانند تسهیل در ساخت، آزمون، کاربرد، درک و تفسیر نتایج، همچنین نیاز به حداقل ورودی‌ها در تجزیه و تحلیل عملکرد و عوامل محدودکننده کارایی بیشتری دارد [۱۸]. سرعت استفاده از مدل بسیار بالاست و امکان پیش‌بینی تغییرات گیاه زراعی سیستم پویایی نسبت به زمان را فراهم می‌آورد [۱]. پیش‌بینی وضعیت تولید مواد غذایی در یک منطقه و اتخاذ تصمیم‌های لازم با توجه به تغییرات محیطی نیز از دیگر مزایای مدل‌سازی است [۱۱].

استفاده از مدل شبیه‌سازی در پیش‌بینی رشد و عملکرد به پارامترهای ورودی آن مدل در منطقه مورد نظر بستگی دارد. هر یک از مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان نقاط قوت و ضعف‌های خاصی دارد که شناخت آن برای دریافت نتیجه مطلوب از یک مدل شبیه‌سازی بسیار حائز اهمیت است [۱].

با توجه به اینکه پارامترهای مدل در شرایط اقلیمی تهران تعیین نشده بود، هدف از این مطالعه، تعیین پارامترهای مدلی ساده در شبیه‌سازی رشد و عملکرد سویا در منطقه بود تا ابزاری کارگشا در تجزیه و تحلیل عوامل محدودکننده عملکرد، بهینه‌سازی مدیریت زراعی و شناسایی عوامل مؤثر در افزایش عملکرد در شرایط معین محیطی به‌کار گرفته شود.

۲. مواد و روش‌ها

مدلی که در این مطالعه استفاده شد بر اساس مدل سلطانی (۲۰۰۹) تهیه شده است [۵]. برای استفاده از این مدل نیاز است تا پارامترهای آن برای گیاه (جدول ۲) و منطقه مورد مطالعه تعیین و بعد از ارزیابی مدل از آن استفاده شود.

سویا (*Glycine max* L.) گیاهی یک‌ساله، روزکوتاه و از مهم‌ترین محصولات زراعی دنیا به‌شمار می‌رود که علاوه بر دارا بودن ترکیبات روغن و پروتئین، نقش مؤثری در سلامت جامعه ایفا می‌کند [۱۲]. در کشورهای درحال توسعه از آنجا که برای وارد کردن روغن و دانه‌های روغنی و محصولات پروتئینی هزینه‌های زیادی می‌شود، ارتقای کارایی ارقام دانه‌های روغنی و پروتئینی در این کشورها اهمیت زیادی دارد. با استفاده از مدل‌سازی می‌توان اثر عوامل اقلیمی، محیطی و مدیریتی بر تولید سویا را در سطوح منطقه‌ای و ملی ارزیابی کرد [۴]. عوامل محدودکننده‌ای نظیر نور، آب، خاک و مدیریت زراعی باعث شده است، در بسیاری از مناطق کاشت، فاصله قابل توجهی بین عملکرد بالفعل گیاه زراعی و بالقوه ژنتیکی عملکرد آن ایجاد شود. برای مثال، پاسخ سویا به تاریخ کاشت، تابعی از شرایط محیط کشت است. مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر تاریخ کاشت عبارت است از طول روز یا فتوپریود، درجه حرارت و رطوبت. شناخت عوامل محدودکننده عملکرد و تجزیه و تحلیل آن در رفع خلأ عملکرد نقش به‌سزایی دارد. در این راستا، استفاده از مدل شبیه‌سازی همراه با آمار درازمدت هواشناسی بسیار راه‌گشا است [۴].

مدل ریاضی، معادله یا مجموعه‌ای از معادلات است که رفتار هر سیستم را به‌طور کمی توصیف می‌کند [۴]. برای پیش‌بینی رشد گیاه زراعی، مطالعه زیرمدل‌های مربوط به فنولوژی، تولید و توزیع ماده خشک، تغییرات سطح برگ و موازنه آب خاک مورد مطالعه ضرورت دارد [۱]. پیش‌بینی دقیق فنولوژی گیاهان زراعی از ویژگی‌های ضروری مدل‌های شبیه‌سازی به‌شمار می‌رود. تولید و تسهیم ماده

شروع شبیه‌سازی. داده‌های هواشناسی مورد نیاز برای مدل، از ایستگاه هواشناسی مهرآباد تهران واقع در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه دریافت شد. ضرایب آنگستروم a و b به ترتیب برابر با ۰/۲۸ و ۰/۴۴ قرار داده شد [۱۵]. مقدار تابش خورشیدی روزانه SRAD^۱ با استفاده از داده‌های مذکور محاسبه شد. نوع آبیاری از میان دو گزینه دیم و آبیاری، گزینه آبیاری در نظر گرفته شد. سطح آبیاری برابر با ۰/۳ و مقدار آب خاک در موقع کاشت «شروع مدل‌سازی» برابر با ۰/۷ قرار داده شد. مقادیر ویژگی‌های خاک مورد استفاده در مدل، طبق جدول ۱ در نظر گرفته شد که نوعی خاک تپیک برای کشت سویاست. برای پارامترهای ورودی مدل از مقادیر جدول ۲ استفاده شد.

یکی از روش‌های تعیین پارامترهای مدل شبیه‌سازی، استفاده از منابع علمی مختلف است [۵]. با استفاده از منابع مربوط به تحقیقات داخل کشور و ارقام ایرانی، این امر محقق شد و بررسی صحت پارامترهای برآورد شده نیز با بررسی ارزیابی مدل صورت گرفت. همه پارامترهای مدل برای ارقام و لاین‌های سویا با گروه رسیدگی III تعیین شد و عبارت بود از هایت، سپیده، ویلامز، M7 و L17. برخی از ورودی‌های مورد نیاز در مدل شبیه‌سازی رشد گیاه زراعی سویا عبارت است از متغیرهای هواشناسی شامل دمای بیشینه و کمینه روزانه، تابش خورشیدی، بارندگی روزانه، تعداد ساعت‌های آفتابی و متغیرهای مدیریت زراعی شامل سال و روز کاشت به میلادی، تراکم بوته، نوع و مقدار آبیاری و مقدار رطوبت خاک هنگام کاشت در

جدول ۱. ویژگی‌های مهم خاک سیلت لوم در موازنه آب خاک [۵، ۶]^۱

پارامترها	واحدها	مقدار
آلبیدوی خاک (SALB)	ندارد	۰/۱۲
کسر حجمی آب خاک در حالت ظرفیت زراعی (IDUL) ^۲	(cmcm ⁻¹)	۰/۲
کسر حجمی آب خاک در حالت پژمردگی (ILL) ^۳	(cmcm ⁻¹)	۰/۱۱۰
کسر حجمی آب خاک در حالت اشباع (ISAT) ^۴	(cmcm ⁻¹)	۰/۳۶۱
شماره منحنی خاک (CN) ^۵	ندارد	۷۹
ضریب زهکشی (DRAINF) ^۶	ندارد	۰/۵

1. solar radiation
2. volumetric soil water content at crop lower limit
3. volumetric soil water content at drained upper limit
4. volumetric soil water content at saturation
5. curve number
6. drainage factor

جدول ۲. متغیرهای مدل سویا و تخمین آنها

منبع	تخمین	واحد	متغیر
[۴]	۸	(°C)	دمای پایه (T_b)
[۴]	۳۰	(°C)	دمای مطلوب تحتانی نمو (T_{o1})
[۵]	۳۵	(°C)	دمای مطلوب فوقانی نمو (T_{o2})
[۲]	۴۶/۸	(°C)	دمای سقف (T_c)
[۴]	۱۰۰	(°C day)	زمان حرارتی از کاشت تا سبز شدن
[۴]	۱۱۰۰	(°C day)	زمان حرارتی از کاشت تا پایان رشد برگ
[۴]	۱۳۰۰	(°C day)	زمان حرارتی از کاشت تا شروع رشد دانه
[۴]	۱۷۵۰	(°C day)	زمان حرارتی از کاشت تا پایان رشد دانه
[۴]	۲۱۰۰	(°C day)	زمان حرارتی از کاشت تا رسیدگی برداشت
[۸]	(۰/۷۷، ۲۶)	(--) (plant/m ²)	نقطه ۱ روی منحنی حداکثر شاخص سطح برگ نسبی در مقابل تراکم
[۸]	(۰/۹۲، ۳۰)	(--) (plant/m ²)	نقطه ۲ روی منحنی حداکثر شاخص سطح برگ نسبی در مقابل تراکم
[۳]	(۰/۲)	(ندارد)	نقطه ۱ روی منحنی شاخص سطح برگ نسبی در مقابل مرحله نمو نرمالیزه شده
	(۰/۲۴)	(ندارد)	
[۳]	(۰/۸۷)	(ندارد)	نقطه ۲ روی منحنی شاخص سطح برگ نسبی در مقابل مرحله نمو نرمالیزه شده
	(۰/۴۸)	(ندارد)	
*	۶/۵	ندارد	حداکثر شاخص سطح برگ مشاهده شده سویا (LAIMAXX)
[۱۳، ۴]	۱۰	(°C)	دمای پایه برای کارایی استفاده از تشعشع ($TBRUE$) ^۱
[۱۳، ۴]	۲۰	(°C)	دمای مطلوب تحتانی برای کارایی استفاده از تشعشع ($TO1RUE$) ^۲
[۱۳، ۴]	۳۰	(°C)	دمای مطلوب فوقانی برای کارایی استفاده از تشعشع ($TO2RUE$) ^۳
[۱۳، ۴]	۴۰	(°C)	دمای سقف برای کارایی استفاده از تشعشع ($TCRUE$) ^۴
[۲۰]	۱/۵	(g MJ ⁻¹)	کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی در شرایط مطلوب قبل از شروع پرشدن دانه‌ها ($IRUE$) ^۵
[۵، ۴]	۰/۷۷	ندارد	نسبت کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی بعد از پرشدن دانه به قبل از پرشدن دانه ($RRUE$) ^۶
[۱۹، ۴]	۰/۷	ندارد	ضریب خاموشی تشعشع فعال فتوسنتزی (K_{PAR}) ^۷

1. base temperature for radiation use efficiency
2. lower optimum temperature for radiation use efficiency
3. upper optimum temperature for radiation use efficiency
4. ceiling temperature for radiation use efficiency
5. radiation use efficiency under optimal growth condition
6. ratio radiation use efficiency after growth grain than before it
7. extinction coefficient for photosynthetically active radiation

ادامه جدول ۲. متغیرهای مدل سویا و تخمین آن‌ها

منبع	تخمین	واحد	متغیر
[۵، ۴]	۰/۲	ندارد	کسری از ماده خشک در شروع پرشدن دانه که قابل انتقال دوباره به دانه‌هاست (FRTRL) ^۱
*	۰/۸	(g g ⁻¹)	ضریب توزیع ماده خشک به دانه‌ها از مرحله شروع رشد دانه‌ها تا مرحله پایان رشد دانه‌ها (FGRN)
*	۰/۷	ندارد	کسر آب در دسترس خاک که در کمتر از آن گسترش سطح برگ دچار کاهش می‌شود (WSSL) ^۲
*	۰/۶	ندارد	کسر آب در دسترس خاک که در کمتر از آن، رشد، تولید ماده خشک و تعرق دچار کاهش می‌شود (WSSG) ^۳
*	۰/۸	ندارد	ضریب حساسیت نمو به تنش خشکی (WSSD)
[۱۰]	۹۰۰	(mm)	عمق مؤثر ریشه در جذب آب (RTDEP) ^۴
[۴]	۹۰۰	(mm)	عمق مؤثر استخراج آب خاک (SOLDEP) ^۵

* مقادیر مربوط از مقالات مرتبط و مورد استفاده استخراج و در راستای مدل مورد استفاده واسنجی شد و در جدول قرار گرفت.

۱.۲. فنولوژی

به مطالعه مراحل نمو گیاه در رابطه با آب و هوا فنولوژی اطلاق می‌شود [۱]. میانگین دمای روزانه با استفاده از دماهای حداقل و حداکثر روزانه محاسبه و دمای پایه گیاه از آن کاسته و درجه روز رشد روزانه (DTT) محاسبه شد. سپس، به صورت تجمعی جمع شد تا با درجه روز رشد تجمعی (TT) لازم برای هر مرحله نمو برابر گردد [۵]. برای توصیف مراحل مختلف نمو و محاسبه GDD از رابطه (۱) استفاده شد.

$$\begin{aligned} &= 1 && To_1 \leq TMP \leq To_2 \\ &= 0 && TMP \leq Tb \text{ or } TMP \geq Tc \end{aligned}$$

در رابطه فوق To_1 ، Tb ، TMP ، To_2 و Tc به ترتیب عبارت است از میانگین دمای روزانه، دمای پایه، دمای مطلوب تحتانی و فوقانی برای نمو و دمای سقف [۵]. با استفاده از روابط فوق، تابع دمایی و در نهایت درجه روز رشد روزانه محاسبه می‌شود که با جمع کردن درجه روز رشد‌های روزانه، درجه روز رشد تجمعی و زمان لازم را برای هر مرحله نمو تعیین می‌گردد.

$$\Sigma f(T) = D_{min} \quad (3)$$

$$TT = D_{min} \times (To_1 - Tb) \quad (4)$$

D_{min} عبارت است از حداقل روز لازم برای عبور از مرحله نمو خاص که آن را روز بیولوژیکی می‌نامند.

به مطالعه مراحل نمو گیاه در رابطه با آب و هوا فنولوژی اطلاق می‌شود [۱]. میانگین دمای روزانه با استفاده از دماهای حداقل و حداکثر روزانه محاسبه و دمای پایه گیاه از آن کاسته و درجه روز رشد روزانه (DTT) محاسبه شد. سپس، به صورت تجمعی جمع شد تا با درجه روز رشد تجمعی (TT) لازم برای هر مرحله نمو برابر گردد [۵]. برای توصیف مراحل مختلف نمو و محاسبه GDD از رابطه (۱) استفاده شد.

$$DTT = (To_1 - Tb) \times f(T) \quad (1)$$

DTT درجه روز رشد روزانه، To_1 دمای مطلوب

تحتانی نمو و $f(T)$ تابع دمایی است [۵].

(۲)

۲.۲. سطح برگ

پیش‌بینی شاخص سطح برگ در تخمین میزان تشعشع دریافت‌شده و تولید ماده خشک مورد نیاز است. روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی تغییرات سطح برگ موجود است.

$$f(T) = \begin{cases} \frac{(TMP - Tb)}{(To - Tb)} & \text{اگر } Tb < TMP < To_1 \\ \frac{(Tc - TMP)}{(Tc - T2)} & \text{اگر } To_2 < TMP < Tc \end{cases}$$

1. fraction of dry mass that can be remobilized
2. FTSW threshold when leaf area development starts to decline
3. FTSW threshold when dry matter production starts to decline
4. root depth
5. soil depth

استفاده کرد که در آن Y حداکثر شاخص سطح برگ قابل انتظار نسبی (RLAIMX) و X تراکم بوته است [۵].

$$LAIMX = RLAIMX \times LAIMXX \quad (۸)$$

RLAIMX، LAIMX و LAIMXX در رابطه (۸) به ترتیب معادل حداکثر شاخص سطح برگ قابل انتظار نسبی، حداکثر شاخص سطح برگ در تراکم مورد نظر و حداکثر شاخص سطح برگ قابل انتظار در بالاترین تراکم‌های بوته است.

بالاترین شاخص سطح برگ مشاهده شده برای سویا در تراکم‌های رایج که حدود ۲۵ تا ۳۰ بوته در مترمربع است، حدود ۶/۲۷ بود [۱۷]. این مقدار در این مدل برابر با ۶/۵ قرار داده شد. براساس پژوهش مصنوعی و همکاران (۱۳۹۴)، دو نقطه به ترتیب (۰/۷۷، ۲۶) و (۰/۹۲، ۳۰) در نظر گرفته شد [۸]. این دو نقطه نشان‌دهنده شاخص سطح برگ نسبی در مقابل تراکم کاشت است.

۳.۲. تولید و توزیع ماده خشک

بسیاری از مدل‌های ساده، پیش‌بینی تولید ماده خشک را بر پایه مفهوم کارایی استفاده از تشعشع انجام می‌دهند [۲۳]. در این مدل نیز از این مفهوم در برآورد تولید ماده خشک استفاده شد. با محاسبه نسبت تشعشع دریافت‌شده (FINT)، بدون واحد، می‌توان میزان ماده خشک تولیدشده روزانه (DBP، $\text{gr m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) را با کمک معادله (۹) محاسبه کرد [۴].

$$DBP = SRAD \times 0.5 \text{ FINT} \times RUE \quad (۹)$$

SRAD (MJ $\text{m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) کل تشعشع خورشیدی روزانه، ۰/۵ ضریبی برای تبدیل کل تشعشع خورشیدی به تشعشع فعال فتوسنتزی و RUE (گرم بر مگاژول) کارایی استفاده از تشعشع است. نسبت تشعشع دریافت‌شده در جامعه گیاهی (FINT) با استفاده از رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود [۴].

$$\text{FINT} = 1 - \exp(-K_{\text{PAR}} \times \text{LAI}) \quad (۱۰)$$

در رابطه فوق، LAI نشان‌دهنده شاخص سطح برگ

در یکی از این روش‌ها، شاخص سطح برگ در هر روز طی فصل رشد از کاشت تا رسیدگی برداشت با استفاده از معادله (۵) پیش‌بینی می‌شود [۵].

$$\text{LAI} = \text{RLAI} \times \text{LAIMX} \quad (۵)$$

RLAI، LAI و LAIMX به ترتیب معادل شاخص سطح برگ، شاخص سطح برگ نسبی و حداکثر شاخص سطح برگ قابل انتظار است. شاخص سطح برگ نسبی طی دو مرحله گسترش سطح برگ و مرحله پیری تخمین زده می‌شود. در مرحله گسترش سطح برگ، شاخص سطح برگ نسبی با کمک معادله‌ای S شکل (سیگموئیدی) به مرحله نمو نسبی (نرمالیزه‌شده)، یعنی نسبت زمان حرارتی جمعی (TT) تقسیم بر زمان حرارتی از کاشت تا رسیدگی برداشت (TTHAR) ارتباط داده می‌شود ($\text{NDS} = \text{TT} / \text{TTHAR}$). در مرحله پیری، RLAI به صورت خطی از مرحله شروع پرشدن دانه کاهش می‌یابد و در رسیدگی برداشت به صفر می‌رسد. معادله S شکل به صورت رابطه (۶) است [۵].

$$Y = X / [X + \exp(a - bX)] \quad (۶)$$

که در آن Y شاخص سطح برگ نسبی، X مرحله نمو نسبی یا نرمالیزه‌شده و a و b ضرایب معادله است که از رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

$$b = \frac{\log\left(\frac{\frac{1}{x_2}-1}{\frac{1}{x_1}-1}\right)}{x_1 - x_2} \quad (۷)$$

$$a = \log\left(\frac{\frac{1}{x_1}-1}{x_1}\right) + b x_1$$

در این تحقیق، براساس پژوهش حاتمی و همکاران (۱۳۸۶)، به ترتیب دو نقطه (۰/۲۴، ۰/۲۰) و (۰/۸۷، ۰/۴۸) برای نشان‌دادن شاخص سطح برگ نسبی در مقابل مرحله نمو نرمالیزه در نظر گرفته شد [۳].

چنانچه اطلاعات کافی در دست باشد می‌توان حداکثر شاخص سطح برگ قابل انتظار در یک محل را به تراکم بوته ارتباط داد. برای این منظور نیز می‌توان از معادله‌ای S شکل

IRUE سویا ۰/۸۸ گرم بر مگاژول و نیز بین ۱/۳ و ۲/۵ گرم بر مگاژول گزارش شده است [۱۶، ۲۰]. در این مدل مقدار IRUE برابر ۱/۵ گرم بر مگاژول در نظر گرفته شد. تغییر کارایی استفاده از تشعشع طی پرشدن دانه‌ها به صورت رابطه (۱۳) مدل‌سازی می‌شود [۱].

$$DVRUE = 1 \quad \text{اگر} \quad TT \leq TTBSG \quad (13)$$

$$DVRUE = RRUE \quad \text{اگر} \quad TT > TTBSG$$

مقدار DVRUE قبل از شروع پرشدن دانه سویا (زمان حرارتی تجمعی (TT) \geq زمان حرارتی از کاشت تا شروع پرشدن دانه‌ها (TTBSG)) برابر ۱ و بعد از پرشدن دانه (زمان حرارتی تجمعی (TT) $<$ زمان حرارتی از کاشت تا شروع پرشدن دانه‌ها (TTBSG)) برابر RRUE است. RRUE برابر با نسبت کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی بعد از پرشدن دانه به قبل از پرشدن دانه است [۴]. در این مدل مقدار RRUE معادل ۰/۷۷ در نظر گرفته شد [۵]. مقدار ۰/۷۷ به این معناست که میزان کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی در طول دوره پرشدن دانه ۲۳ درصد نسبت به دوره قبل از پرشدن دانه کاهش می‌یابد. برای محاسبه TCFRUE در مدل نیاز است که دماهای کاردینال برای کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی به مدل وارد شود. در این مدل دمای پایه و سقف برای کارایی استفاده از تشعشع به ترتیب ۱۰ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد و دمای مطلوب بین ۲۰-۳۰ درجه سانتی‌گراد منظور شد [۱۳]. همان‌طور که ذکر شد با در دست داشتن دماهای کاردینال مربوط به تولید ماده خشک (جدول ۲) مقدار کارایی استفاده از تشعشع برای دما به صورت روزانه (برحسب دماهای ایستگاه) اصلاح شد (رابطه ۱۴) [۵].

$$TCFRUE = 0 \quad \text{اگر}$$

$$= (TMP - TBRUE) / (TP1RUE - TBRUE) \quad \text{اگر}$$

جامعه گیاهی و K_{PAR} معادل ضریب استهلاک تشعشع فعال فتوسنتزی است. مقدار K_{PAR} برای سویا بین ۰/۸۵-۰/۶ گزارش شده است [۲۴]. در این مطالعه، مقدار K_{PAR} برابر ۰/۷ در نظر گرفته شد [۴، ۱۹]. مقدار LAI از رابطه (۱۱) محاسبه شد.

$$LAI = RLAI \times LAIMX \quad (11)$$

در رابطه فوق، LAI شاخص سطح برگ، LAIMX حداکثر شاخص سطح برگ قابل انتظار و RLAI شاخص سطح برگ نسبی (LAI/LAIMX) است [۵].

کارایی استفاده از تشعشع خورشیدی تحت شرایط مطلوب رشد ثابت است، اما دماهای نامناسب ممکن است سبب کاهش آن شود [۲۱]. کارایی استفاده از تشعشع ممکن است تحت تأثیر سن گیاه فرارگیرد. در برخی گیاهان زراعی روغنی در طول دوره پرشدن دانه فتوسنتز گیاه صرف ساخت ترکیبات روغنی می‌شود که ممکن است کارایی استفاده از تشعشع کاهش یابد [۵].

با توجه به توضیحات فوق، در هر روز قبل از محاسبه میزان ماده خشک تولیدی، باید کارایی استفاده از تشعشع مطابق رابطه (۱۲) برای سن گیاه و میانگین دمای روزانه اصلاح شود. از رابطه (۱۲) می‌توان کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی در هر روز را بر اساس مقدار کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی در شرایط مطلوب رشد قبل از شروع پرشدن دانه (IRUE)، ضریب اصلاحی کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی برای سن گیاه (DVRUE) و ضریب اصلاحی کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی برای دما (TCFRUE) محاسبه کرد.

$$RUE = IRUE \times DVRUE \times TCFRUE \quad (12)$$

$$(14)$$

$$TMP \leq TBRUE \quad \text{یا} \quad TMP \geq TCRUE$$

$$TBRUE < TMP < TO1RUE$$

$$\text{اگر } =(\text{TCRUE-TMP})/(\text{TCRUE-TP2RUE})$$

$$\text{اگر } =1$$

$$\text{TO2RUE} < \text{TMP} < \text{TCRUE}$$

$$\text{TO1RUE} \leq \text{TMP} \leq \text{TO2RUE}$$

ماده خشک فراهم برای رشد دانه از طریق فرایند انتقال مجدد در هر روز با روابط (۱۸) و (۱۹) محاسبه می شود [۱۴].

$$\text{TRLDM} = \text{BSGDM} \times \text{FRTRL} \quad (18)$$

$$(19)$$

$$\text{TRANSL} = \text{DTT} / (\text{TTSG-TTBSG}) \times \text{TRLDM}$$

TRLDM کل ماده خشک فراهم برای انتقال مجدد به دانه‌ها بر حسب گرم در مترمربع، BSGDM ماده خشک کل در شروع پرشدن دانه، FRTRL کسری از ماده خشک در شروع پرشدن دانه و قابل انتقال مجدد به دانه‌ها، TRANSL مقدار ماده خشک فراهم شده برای رشد دانه‌ها در اثر انتقال مجدد، DTT زمان حرارتی روزانه بر حسب درجه سانتی گراد روز، TTSG زمان حرارتی از کاشت تا پایان پرشدن دانه‌ها بر حسب درجه سانتی گراد روز، و TTBSG زمان حرارتی از کاشت تا شروع پرشدن دانه‌ها بر حسب درجه سانتی گراد روز است. مقدار FRTRL متغیری ورودی است که در این مدل برابر ۰/۲ در نظر گرفته شد [۴، ۵].

۴.۲. ارزیابی مدل

برای آزمون مدل مقادیر عملکرد دانه شبیه‌سازی شده و مشاهده شده مقایسه شد. بدین منظور، از مجموعه‌ای از داده‌های آزمایشی استفاده شد [۷، ۹]. در هر مورد برای شبیه‌سازی، ورودی‌های مورد نیاز مدل جمع‌آوری و آمار هواشناسی منطقه در سال‌های انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای به صورت فایل در اختیار مدل قرار گرفت. برای پارامترهای مورد استفاده در مدل از مقادیر موجود در جدول ۲ و ۳ استفاده شد. در نهایت، شاخص جذر میانگین مربعات خطا

با شروع رشد دانه، ماده خشکی که در آن تجمع می‌یابد به‌طور عمده ناشی از تولید روزانه ماده خشک است. با وجود این، ممکن است بخشی از نیازهای دانه از طریق انتقال مجدد ماده خشک ذخیره شده در اندام‌های رویشی تأمین شود [۵]. طی مراحل نموی از سبزشدن تا شروع پرشدن دانه‌ها، رشد برگ و ساقه به‌واسطه توزیع ماده خشک در هر روز به‌صورت رابطه (۱۵) و (۱۶) مدل‌سازی می‌شود [۵].

$$\text{GLV} = \text{DBP} \times \text{FLV} \quad (15)$$

$$\text{GST} = \text{DBP} - \text{GLV} \quad (16)$$

که در آن GLV سرعت رشد برگ‌ها بر حسب گرم در مترمربع، GST سرعت رشد ساقه بر حسب گرم در مترمربع، DBP سرعت تولید ماده خشک روزانه بر حسب گرم در مترمربع و FLV ضریب تخصیص ماده خشک به برگ‌ها بر حسب گرم بر گرم است. بر اساس معادلات فوق، در هر روز نخست سرعت رشد برگ‌ها بر مبنای ماده خشک اختصاص یافته به آن محاسبه می‌شود. سپس، باقی ماده خشک تولیدی روزانه در اختیار ساقه‌ها قرار می‌گیرد. از مرحله شروع تا پایان رشد دانه‌ها، سرعت رشد دانه‌ها به‌صورت رابطه (۱۷) محاسبه می‌شود [۵].

$$\text{SGR} = \text{DBP} \times \text{FGRN} + \text{TRANSL} \quad (17)$$

که در آن SGR سرعت رشد دانه‌ها بر حسب گرم در مترمربع، FGRN ضریب تخصیص ماده خشک به دانه‌ها بر حسب گرم بر گرم و TRANSL مقدار ماده خشک فراهم شده برای رشد دانه‌ها در اثر انتقال مجدد بر حسب گرم در مترمربع در روز است. مقدار FGRN در این مدل برابر با ۰/۸ قرار داده شد.

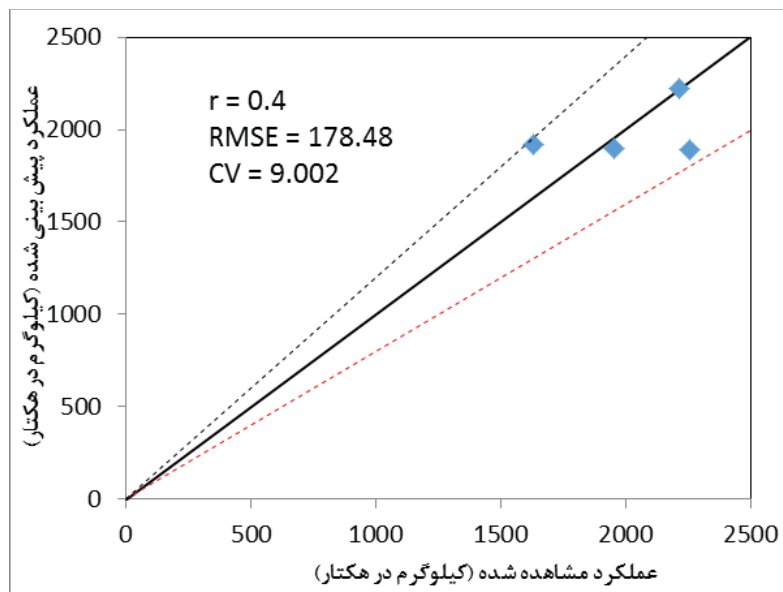
۳. نتایج و بحث

مطابق شکل ۱، عملکرد شبیه‌سازی شده مبتنی بر پارامترهای به‌دست‌آمده از مدل و عملکرد مشاهده‌شده با یکدیگر ارزیابی شد. دامنه مقادیر عملکرد دانه شبیه‌سازی شده بین ۱۸۹۰-۲۲۲۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۱۹۸۲/۵ کیلوگرم در هکتار و دامنه عملکرد دانه مشاهده‌شده بین ۱۶۳۲-۲۲۵۴ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۲۰۱۴/۵ کیلوگرم در هکتار بود. جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برابر با ۱۷۸/۴۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که معادل ۹ درصد هر دو میانگین عملکرد شبیه‌سازی شده و مشاهده‌شده است، در صورتی که ضریب تغییرات در آزمایش‌های مزرعه‌ای معمولاً بین ۲۰ الی ۳۰ درصد است. تمامی نقاط در محدوده ۸۰ درصد از خط ۱:۱ قرار گرفت که نشان می‌دهد مدل برای پیش‌بینی عملکرد سویا در شرایط اقلیمی تهران از دقت مناسبی برخوردار بوده است.

(RMSE) و ضریب تغییرات (CV) و محدوده قرارگیری نقاط در اطراف خط ۱:۱ تعیین شد.

۵.۲. کاربرد مدل

برای پارامترهای مورد نیاز مدل، از مقادیر موجود در جدول ۲ و ۳ استفاده شد. برای پیش‌بینی آثار ناشی از تغییر مقادیر حداکثر شاخص سطح برگ مشاهده‌شده در تراکم (LAIMXX)، دمای پایه، کسری از ماده خشک در شروع پرشدن دانه و قابل انتقال دوباره به دانه‌ها (FRTRL) و کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی در شرایط مطلوب رشد قبل از شروع پرشدن دانه (IRUE) بر برخی ویژگی‌های گیاه سویا در شرایط اقلیمی تهران، مقادیر معمول و تغییرات مورد نظر در مدل قرار داده و نتایج با یکدیگر مقایسه شد.



شکل ۱. عملکرد مشاهده‌شده در مقابل عملکرد پیش‌بینی شده. خط توپر، خط ۱:۱ و خط نقطه‌چین بالا و پایین به ترتیب خطوط ۱:۲۰ و ۱:۸۰ است.

کاهش دمای پایه سبب کاهش طول هر یک از مراحل فنولوژیکی رشد گیاه زراعی سویا شد و به دلیل کاهش زمان لازم در تکمیل مراحل رشدی گیاه، تولید و تجمع ماده خشک آن نیز کاهش یافت. این امر سبب کاهش ماده خشک ذخیره شده و انتقال مجدد و کمتر آن به اندام‌های مختلف و دانه‌ها شد. اثر مثبت افزایش دمای پایه بر وزن خشک اندام‌های مختلف گیاه را می‌توان در امور اصلاحی مد نظر قرارداد تا سبب بهبود عملکرد گیاه گردد.

مطابق جدول ۴، تغییر کسری از ماده خشک در شروع مرحله پرشدن دانه که قابل انتقال دوباره به دانه‌هاست (FRTRL)، بر طول مراحل فنولوژیکی گیاه سویا و ماده خشک تجمعی در مرحله شروع رشد دانه و شاخص سطح برگ حداکثر مشاهده شده بی‌اثر بود. مطابق نتایج این تحقیق، با افزایش این مقدار، از وزن خشک تجمعی اندام‌های رویشی گیاه کاسته و بر وزن خشک تجمعی دانه و شاخص برداشت دانه گیاه سویا افزوده شد. اگرچه تغییری در وزن خشک تجمعی تاج (کل) حاصل نشد و این پارامتر بیشتر به تغییر روند تخصیص مواد فتوسنتزی انجامید. افزایش حداکثر شاخص سطح برگ مشاهده شده سویا (LAIMXX)، سبب افزایش بسیار اندکی در طول مراحل مختلف فنولوژیکی مورد بررسی شد. اگرچه با کاهش LAIMXX، افزایش جزئی در زمان کاشت تا شروع و پایان رشد دانه مشاهده شد، این امر سبب کاهش زمان تا رسیدگی و برداشت دانه شد. با افزایش LAIMXX، سطح قابل انتظار فتوسنتزکننده گیاه و ماده خشک تولیدشده و تجمع یافته در شروع رشد دانه افزایش پیدا می‌کند و ماده خشک بیشتری به اندام‌های رویشی و دانه‌ها اختصاص می‌یابد. اما، بدین سبب که میزان افزایش تخصیص ماده خشک در اندام‌های رویشی و دانه‌ها به یک نسبت بوده است، شاخص برداشت تغییر نیافته است.

چنانچه تاریخ کاشت ۱۲ خرداد ۱۳۸۷ در نظر گرفته شود، برای پیش‌بینی تغییرات حاصل در نتیجه کاهش و افزایش ۱ واحدی حداکثر شاخص سطح برگ مشاهده شده در تراکم (LAIMXX)، کاهش و افزایش ۱ و ۲ درجه سانتی‌گرادی در دمای پایه، افزایش و کاهش ۰/۱ واحدی در (FRTRL) و افزایش و کاهش ۰/۵ واحدی در مقدار (IRUE) نسبت به حالت معمول در رابطه با گیاه سویا در شرایط اقلیمی کشت در تهران، مقادیر مذکور برای بررسی تغییرات صفات گیاه سویا در مدل قرار داده شد.

مطابق جدول ۳، یک درجه کاهش در دمای پایه سبب کاهش زمان تا شروع و اتمام پرشدن دانه و رسیدگی برداشت شد که زمان‌های لازم برای حصول دوره‌های فنولوژی مذکور با کاهش دو درجه‌ای در دمای پایه، کاهش بیشتری نشان داد. با افزایش یک و دو درجه‌ای در دمای پایه، زمان‌های لازم برای حصول دوره‌های فنولوژیکی مذکور افزایش پیدا کرد. ماده خشک تجمعی در شروع رشد دانه با کاهش یک درجه‌ای در دمای پایه کاهش یافت و این کاهش با تنزل دو درجه‌ای دمای پایه تشدید شد، در صورتی که افزایش دمای پایه سبب افزایش ماده خشک تجمعی در شروع رشد دانه شد.

کاهش و افزایش در دمای پایه، در شاخص سطح برگ حداکثر مشاهده شده در گیاه سویا تفاوت قابل ملاحظه‌ای ایجاد نکرد. کاهش یک درجه‌ای در دمای پایه، سبب کاهش وزن خشک تجمعی اندام‌های رویشی، وزن خشک تجمعی دانه و وزن خشک تجمعی تاج در گیاه سویا شد. این کاهش با تنزل دو درجه‌ای در دمای پایه، شدت بیشتری نشان داد. در صورتی که افزایش یک درجه‌ای در دمای پایه، سبب افزایش وزن خشک تجمعی اندام‌های رویشی، وزن خشک تجمعی دانه و وزن خشک تجمعی تاج در گیاه سویا شد و این تغییرات با افزایش دو درجه‌ای در دمای پایه فزونی یافت.

جدول ۳. تغییر برخی ویژگی‌های گیاه سویا در دمای پایه (۸ درجه سانتی‌گراد) و دمای سقف (۴۶/۸ درجه سانتی‌گراد) در مقایسه با کاهش و افزایش دمای پایه به میزان یک و دو درجه

پارامتر	وزن خشک تجمعی			ماده خشک تجمعی			تعداد روز تا			دمای پایه (°C) و دمای سقف (۴۶/۸ °C)
	تاج (gm ²)	تجمعی دانه (gm ²)	شاخص اندام‌های رویشی (gm ²)	سطح برگ حداکثر (gm ²)	در شروع مرحله رشد دانه (gm ²)	روز تا رسیدگی بر دانست	تعداد روز تا	تعداد روز تا	شروع رشد دانه	
دمای پایه با یک درجه کاهش	۴۹۵	۱۷۵	۳۱۹	۳/۲	۳۴۶	۸۵	۷۴	۵۶	۵۶	
دمای پایه با دو درجه کاهش	۴۷۸	۱۷۰	۳۰۸	۳/۳	۳۳۲	۸۳	۷۱	۵۴	۵۴	
دمای پایه با یک درجه افزایش	۴۵۲	۱۶۸	۲۸۴	۳/۲	۳۱۲	۸۰	۶۸	۵۱	۵۱	
دمای پایه با دو درجه افزایش	۵۲۴	۱۹۵	۳۲۹	۳/۳	۳۶۶	۹۳	۷۸	۵۹	۵۹	
دمای پایه با دو درجه افزایش	۵۵۰	۲۰۴	۳۴۶	۳/۲	۳۷۵	۹۷	۸۲	۶۲	۶۲	

جدول ۳. برخی ویژگی‌های گیاه زراعی سویا در LAIMXX، FRTRL، IRUE در مقادیر متداول و تغییر یافته

شاخص برداشت (%)	وزن خشک تاج جمعیت (gm ⁻²)	وزن خشک تجمعی تجمعی دانه (gm ⁻²)	وزن شاخص تجمعی تجمعی دانه (gm ⁻²)	وزن خشک تجمعی شاخص برگ حداکثر (gm ⁻²)	ماده خشک تجمعی در مرحله شروع رشد دانه (gm ⁻²)	تعداد روز تا رسیدگی برداشت	تعداد روز تا پایان رشد دانه	تعداد روز تا شروع رشد دانه	پارامتر
۳۵	۴۹۵	۱۷۵	۳۱۹	۳/۲	۳۴۶	۸۵	۷۴	۵۶	۶/۵= LAIMXX
۴۲	۴۹۵	۲۱۰	۲۸۵	۳/۲	۳۴۶	۸۵	۷۴	۵۶	۱/۵= IRUE
۲۸	۴۹۵	۱۴۱	۳۵۴	۳/۲	۳۴۶	۸۵	۷۴	۵۶	FRTRL یا ۰/۸ واحد افزایش
۳۵	۵۴۷	۱۹۴	۳۵۳	۳/۸	۳۹۲	۸۹	۷۵	۵۷	FRTRL یا ۰/۸ واحد کاهش
۳۵	۴۷۲	۱۶۶	۳۰۷	۲/۸	۳۲۸	۸۶	۷۵	۵۷	LAIMXX یا ۱ واحد افزایش
۳۵	۶۵۹	۳۳۴	۴۲۵	۳/۲	۴۶۱	۸۵	۷۴	۵۶	LAIMXX یا ۱ واحد کاهش
۳۵	۳۳۰	۱۱۷	۲۱۳	۳/۲	۲۳۱	۸۵	۷۴	۵۶	IRUE یا ۰/۵ واحد افزایش
									IRUE یا ۰/۵ واحد کاهش

منابع

۱. باقری و و ترابی ب (۱۳۹۴) مدلی ساده برای شبیه‌سازی رشد، نمو و عملکرد گیاه باقلا در استان گلستان. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۸(۲): ۱۵۲-۱۳۳.
 ۲. ترابی ب و سلطانی ا (۱۳۹۱) کمی‌کردن واکنش سبزشدن نخود نسبت به دما. تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۲(۶): ۱۱۹-۱۰۹.
 ۳. حاتمی ح، آینه‌بند ا، عزیزی م، سلطانی ا و دادخواه ع (۱۳۸۹) تأثیر کود پتاسیم بر رشد و عملکرد ارقام سویا در خراسان شمالی. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۲(۲): ۹۰-۷۵.
 ۴. رسام ق و سلطانی ا (۱۳۹۳) ساخت و ارزیابی مدلی ساده برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد سویا. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی. ۲۱(۲): ۱۰۳-۸۷.
 ۵. سلطانی ا (۱۳۸۸) مدلسازی ریاضی در گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۱۷۵ ص.
 ۶. سلطانی ا و فرجی ا (۱۳۹۰) رابطه آب و خاک گیاه. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. چاپ دوم. ۲۴۶ ص.
 ۷. فراهانی پاد پ، پاک‌نژاد ف، فاضلی ف، نبی‌ایلکایی م و داوودی فرد م (۱۳۹۱) اثر تاریخ کاشت بر ماده خشک و اجزای عملکرد چهار رقم سویا رشد نامحدود. زراعت و اصلاح نباتات. ۸(۱): ۲۰۳-۲۰۱.
 ۸. مصنوعی ه، عجم نوروزی ح، رنگریز ز و زارع‌زاده ز (۱۳۹۴) اثر الگوی کاشت بر مراحل فنولوژی، عملکرد و اجزای عملکرد دو لاین امیدبخش سویا در گرگان. فصلنامه فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۷(۲۵): ۵۸-۴۳.
 ۹. مقدم خمسه ع، دانشیان ج، امینی‌دهقی م، جبازی ح و مدرس‌ثانوی س ع م (۱۳۹۰) اثر تراکم بوته و تنش
- بدیهی است که در صورت عکس این مورد، با کاهش LAIMXX، ساخت و تجمع ماده خشک کاهش می‌یابد و مواد کمتری به اندام‌های رویشی و دانه‌ها اختصاص می‌یابد. با تغییر کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی در شرایط مطلوب رشد قبل از مرحله شروع پرشدن دانه (IRUE)، تغییری در طول مراحل فنولوژیکی گیاه سویا و شاخص سطح برگ حداکثر آن مشاهده نشد. مقدار IRUE اثر مستقیمی در افزایش مقدار کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی (RUE) (رابطه ۱۲) و اثر مثبتی بر میزان ماده خشک تولیدشده روزانه (DBP) (رابطه ۹) داشت. بدین ترتیب، با افزایش این پارامتر، افزایش قابل‌ملاحظه‌ای در ساخت و تجمع ماده خشک و تخصیص آن به اندام‌های رویشی و دانه‌ها مشاهده شد و به تبع آن کاهش این پارامتر، سبب کاهش ساخت و تجمع ماده خشک و کاهش تخصیص آن‌ها در اندام‌های رویشی و دانه‌ها شد. اما، به دلیل اینکه توازن تخصیص ماده خشک بین اندام‌های رویشی و دانه‌ها نسبت به حالت معمول تغییری نداشت، شاخص برداشت نیز تغییری نشان نداد.
- در نهایت اینکه ارزیابی مدل نشان داد تمامی نقاط در محدوده ۸۰ درصد از خط ۱:۱ قرارگرفت که نشان می‌دهد مدل برای پیش‌بینی عملکرد سویا در شرایط تهران دقت مناسبی دارد. با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام‌شده می‌توان توصیه کرد با افزایش دمای پایه در برنامه‌های اصلاحی و اعمال تاریخ کاشت مناسب، عملکرد محصول سویای کشاورزان افزایش خواهد یافت. تغییر کسر ماده خشک جمعی قابل‌انتقال مجدد (FRTRL) تغییر زیادی در عملکرد سویا ایجاد نخواهد کرد. اما، افزایش LAIMXX و IRUE موجب افزایش چشمگیری در عملکرد زارعان خواهد شد. در نتیجه، چنانچه بتوان در برنامه‌های اصلاحی حداکثر شاخص سطح برگ یا کارایی استفاده از تشعشع در سویا را افزایش داد، عملکرد کشاورزان افزایش خواهد یافت.

- environmental conditions. *Field Crops Research*. 32: 1-16.
17. Nehbandani A, Soltani A, Zeinali E, Raeisi S and Najafi A (2013) Allometric relationships between leaf area and vegetative characteristics in soybean. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 6(16): 1127-1136.
18. Sinclair TR (1986) Water and nitrogen limitations in soybean grain production: I. Model development. *Field Crops Research*. 15: 125-141.
19. Sinclair TR and Horie T (1989) Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: A review. *Crop Science*. 29: 90-98.
20. Sinclair TR and Muchow RC (1999) Radiation use efficiency. *Advances in Agronomy*. 35: 215-265.
21. Soltani A, Gholipour M and Ghassemi-Golezani K (2007) Analysis of temperature and atmospheric CO₂ effects on radiation use efficiency in chickpea (*Cicer arietium* L.). *Plant Science*. 2(1): 89-95.
22. Soltani A, Roberston MJ, Mohammad-Nejad Y and Rahemi-Karizaki A (2006) Modeling chickpea growth and development: leaf production and senescence. *Field Crops Research*. 99(1): 1-33.
23. Soltani A and Sinclair TR (2011) A simple model for chickpea development, growth and yield. *Field Crops Research*. 124: 252-260.
24. Speath SC and Sinclair TR (1985) Linear increase in soybean harvest index during seed-filling. *Agronomy Journal*. 77: 207-211.
- کم‌آبی بر خصوصیات رشدی، عملکرد و اجزای عملکرد سویا (*Glycine max* (L.) Merrill). مجله دانش زراعت. ۴(۶): ۲۷-۴۰.
10. Allen RG, Periera LS, Raes D and Smith M (1998) Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. 56. FAO, Rome.
11. Boote KG, Jones JW and Pickering NB (1996) Potential uses and limitation of crop models. *Agronomy Journal*. 88(5): 704-716.
12. Chen YM, Ho SC, Lam SS, Ho SS and Woo JL (2003). Soy isoflavones have a favorable effect on bone loss in Chinese postmenopausal women with lower bone mass: a double-blind, randomized, controlled trial. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 88(10): 4740-4747.
13. Gipson LR and Mullen RE (1990) Influence of day and night temperature on soybean seed yield. *Crop Science*. 39: 98-104.
14. Goudriaan J and Van Laar HH (1994) Modeling potential crop growth processes. kluwer academic publishers Dordrecht, Dordrecht, 238p.
15. Heidari H, Jahansooz MR, Hosseini SMH and Chaichi MR (2012) Alternate Furrow Irrigation Effect on Radiation Use Efficiency and Forage Quality of Foxtail Millet (*Setaria italica*). *Annals of Biological Research*. 3(6): 2565-2574.
16. Muchow RC, Robertson MJ and Pengelly BC (1993) Radiation-use efficiency of soybean, mungbean and cowpea under different



Crops Improvement

(Journal of Agricultural Crops Production)

Vol. 19 ■ No. 3 ■ Autumn 2017

Parameterization and evaluation of simple model for simulation of growth and yield of soybean in Tehran climatic condition

Shiva Akbari^{1} and Elyas Soltani²*

1. Ph.D. Student of Agronomy – Crop Physiology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Aboureyhan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran
2. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Aboureyhan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran

Received: October 31, 2016

Accepted: January 14, 2017

Abstract

The goal of this study was to investigate climatic factors, crop management and plant growth traits, using a simple model to simulate growth and yield of soybean in Tehran climatic condition in order to be use as an efficient tool to study effective factors on yield. The model was evaluated under Tehran condition. Soybean is one of the important resources of herbal oil and protein. At the current study, production and partitioning of dry matter in vegetative parts and grains of soybean were investigated by changing the parameters of base temperature, the maximum leaf area index and the fraction of crop total dry matter at the beginning of grain growth. Decreasing and increasing of base temperature caused to decrease and increase the phenological stages, changing the production of dry matter and the allocation of dry matter to vegetative organs and grains. Decreasing and increasing of the fraction of remobilized dry matter to grains lead to enhance and reduce harvest index, respectively. To model evaluation, some statistics on differences between observed and simulated values were used. The simulated yield ranges were within 1890-2220 kg.ha⁻¹ with mean values of 1982.5 kg.ha⁻¹ and the observed yield ranges were 1632-2254 kg.ha⁻¹ with mean values of 2014.5 kg.ha⁻¹. The RMSE was 178.48 kg.ha⁻¹ that was equal to 9% of average of observed and predicted values. All data points were included at the 80% of 1:1 line and it indicated that the model had suitable accuracy to predict soybean yield in Tehran climatic condition.

Keywords: base temperature, dry matter, leaf area index, modeling, phenology.