



شبیه سازی عملکرد سویا با مدل iLegume_Soybean در شرق مازندران

علی راحمی کاریزکی^۱، مرتضی نور علیزاده اطاقسرا^۲

دریافت: ۹۷/۲/۳۰ پذیرش: ۹۷/۸/۲۶

چکیده

سویا از منابع عمده تولید روغن و پروتئین گیاهی به‌شمار می‌رود. بیش از ۵۰ درصد تولید دانه‌های روغنی جهان به سویا اختصاص دارد. هدف از این مطالعه ارزیابی و به‌کارگیری یک مدل ساده رشد و عملکرد سویا در شرایط شرق مازندران بود. جنبه‌های مختلف رشد گیاه در مدل iLegume_Soybean به صورت زیر برنامه‌هایی شامل نمو فنولوژیک، تغییرات سطح برگ، تولید و توزیع ماده خشک سازمان‌دهی شده‌اند. عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت با استفاده از سناریوهای مختلف شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که ضرایب رگرسیونی عملکرد دانه و شاخص برداشت مشاهده شده در مقابل مقادیر شبیه‌سازی بر مبنای حدود اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری با ضرایب خط ۱:۱ ($a=0$ و $b=1$) نداشتند. مقدار ضریب تبیین (R^2) برای عملکرد دانه و شاخص برداشت به ترتیب ۰/۹۶ و ۰/۸۰ به دست آمدند. علی‌رغم این که مقدار R^2 بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی عملکرد بیولوژیک ۰/۹۶ بود اما با شیب خط ۱:۱ مطابقت نداشت و نسبت به آن دارای اریب بود. لذا می‌توان بیان داشت که مدل مورد نظر توانایی پیش‌بینی عملکرد دانه و شاخص برداشت در شرایط محیطی شرق مازندران را دارد اما مدل نمی‌تواند برای عملکرد بیولوژیک سویا در شرق مازندران پیش‌بینی مناسبی ارائه نماید.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، عملکرد دانه، مدل سازی

راحمی کاریزکی، ع. و م. نورعلیزاده اطاقسرا. ۱۳۹۹. شبیه سازی عملکرد سویا با مدل iLegume_Soybean در شرق مازندران. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۴۰: ۱۷۷-۱۶۶.

۱- استادیار گروه تولیدات گیاهی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران-مسئول مکاتبات.

Alirahemi@yahoo.com

۲- دانشجوی دکتری رشته زراعت گروه تولیدات گیاهی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

مقدمه

سویا به عنوان یکی از منابع مهم روغن گیاهی و نیز مکمل غذایی انسان و دام در سطح دنیا از اهمیت زیادی برخوردار است و از نظر میزان تولید دانه و سطح زیر کشت بین گیاهان روغنی در دنیا مقام اول را دارا می‌باشد (فائو، ۲۰۱۸). سویا از منابع عمده تولید روغن و پروتئین گیاهی به‌شمار می‌رود. بیش از ۵۰ درصد تولید دانه‌های روغنی جهان به سویا اختصاص دارد (فائو، ۲۰۱۵). همچنین سویا به عنوان یک محصول عمده در سراسر دنیا برای تغذیه دام، روغن تصفیه شده برای پخت و پز، به صورت خرد شده و آرد و همچنین برای سوخت بیودیزل مورد استفاده قرار می‌گیرد (رافائل و همکاران، ۲۰۱۷). طی چند دهه اخیر عملکرد سویا مرتباً در نتیجه تولید و اصلاح ارقام پرمحصول در حال افزایش بوده است. برآوردها نشان می‌دهد که بعد از سال ۱۹۸۰ سهم اصلاح ژنتیکی در افزایش عملکرد سالانه سویا به طور متوسط ۳۰ کیلوگرم در هکتار بوده است (لیو و همکاران، ۲۰۰۴).

به‌رغم پیشرفت‌های ژنتیکی، بروز عوامل محدود کننده‌ای هم‌چون اقلیم، خاک و مدیریت زراعی باعث گردیده است در بسیاری از مناطق کاشت فاصله قابل توجهی (خلا عملکرد) بین عملکرد برداشتی زارعین و پتانسیل عملکرد ژنتیکی ایجاد گردد. رشد محصول و تولید مواد غذایی به تغییرات آب و هوایی حساس هستند (ژائو و همکاران، ۲۰۱۶). شناخت عوامل محدود کننده عملکرد همراه با تجزیه و تحلیل آن‌ها می‌تواند در رفع خلا عملکرد نقش به‌سزایی ایفا نماید. چنین تجزیه و تحلیل‌هایی را می‌توان با استفاده از آزمایش‌های کلاسیک مزرعه‌ای در نقاط و طی چند سال انجام داد و از این طریق امکان بهبود مدیریت زراعی را بررسی و تناسب اقلیمی منطقه را تعیین کرد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۵). با این وجود این نوع آزمایش‌ها بسیار پرهزینه و زمان‌بر هستند. افزون بر این به دلیل وجود اثرات متقابل بین اقلیم، خاک و گیاه آزمایش‌های مزرعه‌ای کوتاه مدت چندان کارساز نخواهد بود (اولری و کانور، ۱۹۹۸). استفاده از یک مدل شبیه‌سازی همراه با آمار درازمدت هواشناسی می‌تواند ابزاری کارگشا در این زمینه باشد.

تاکنون برای بسیاری از گیاهان زراعی مدل‌های شبیه‌سازی رشد و عملکرد ساخته شده است (ویلیامز و همکاران، ۱۹۸۹؛ هانت و پاراجاسینگهام، ۱۹۹۵؛ ویلالوبوس و همکاران، ۱۹۹۶؛ سلطانی و سینکلر، ۲۰۱۱). ژائو و همکاران (۲۰۱۷) طی تحقیقی عنوان کردند که مدل‌های مختلف محصولات دارای فرایندهای واقعی از رشد محصول و محیط خاک هستند و استفاده از یک

مدل در برخی جنبه‌ها برای شبیه‌سازی موفق است، اما برای رسیدن به تمام جنبه‌های سیستم کشاورزی ترکیب چند مدل و بهره‌گیری از نقاط قوت آنها می‌تواند نتایج قابل اعتمادتری را به دنبال داشته و خطاها را کاهش دهد. ژئوفری و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مدل پیش‌بینی عملکرد ذرت براساس داده‌های آب و هوایی فصلی در شرق آفریقا عنوان کردند که تاخیر در کاشت ذرت منجر به کاهش عملکرد براساس پیش‌بینی می‌شود. سرائی تبریزی و همکاران (۱۳۹۳) با ارزیابی مدل CROPWAT 8.0 و اصلاح پارامترهای مدیریتی مدل، توانستند عملکرد محصول و کارایی مصرف آب در سویا را در تیمارآبیاری کامل به خوبی شبیه‌سازی نمایند. استوکل (۲۰۰۷) در ارتباط با شبیه‌سازی عملکرد سویا در ۹ منطقه، عملکرد مشاهده شده ۲۸۲۸ و عملکرد پیش‌بینی شده توسط مدل ۲۷۳۸ کیلوگرم در هکتار حاصل شد و در این آزمایش میزان جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برابر ۳۵۶ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. در مطالعه مدل تخییر و تعرق و پیش‌بینی عملکرد سویا توسط ژنگ و همکاران (۲۰۱۵) میانگین عملکرد پیش‌بینی شده ۳۹۷۰ کیلوگرم در هکتار و میانگین عملکرد مشاهده شده ۳۳۳۵ کیلوگرم در هکتار بود. در این مطالعه میزان RMSE نیز برابر ۳۸۱ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. در تحقیق باقری و ترابی (۱۳۹۴) برای شبیه‌سازی مدل برای گیاه باقلا، عملکرد مشاهده شده ۳۴۲۲ کیلوگرم در هکتار و عملکرد شبیه‌سازی شده ۳۴۷۸ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. مدل‌های پیش‌بینی محصول براساس شیوه و سطح شبیه‌سازی آنها متفاوت هستند و ساختار آنها به فرایندهای پویا مانند پارامترهای آب، رشد و توسعه محصول مرتبط است (رافائل و همکاران، ۲۰۱۷). هدف از این مطالعه، ارزیابی مدل iLegume_Soybean برای شرایط محیطی استان مازندران است.

مواد و روش‌ها

مدل SSM-iLegume مراحل فنولوژیک را به عنوان تابعی از دما و طول روز پیش‌بینی می‌کند. محاسبه مراحل فنولوژی در مدل براساس مفهوم روز بیولوژیک (حداقل تعداد روز لازم برای تکمیل مرحله نمو معین در دما، طول روز و رطوبت مطلوب) می‌باشد. گسترش و پیر شدن سطح برگ تابعی از دما، نیتروژن فراهم برای رشد برگ، تراکم بوته و انتقال مجدد نیتروژن می‌باشد. برای شبیه‌سازی گسترش سطح برگ، گام اول تعیین افزایش تعداد برگ در ساقه اصلی در هر روز با استفاده از مفهوم فیلوکرون (واحد دمایی بین ظهور برگ متوالی) است. این

تخصیص یافته به دانه به سادگی شبیه‌سازی می‌شود. این مدل نیاز به داده‌های هواشناسی روزانه مانند حداقل و حداکثر دما، مقدار بارندگی و تشعشع خورشید دارد. در این مدل، فرمول بندی در ساده‌ترین سطح ممکن مورد نظر انجام گرفته است و بنابراین به رابطه‌ها و معادله‌های اندکی نیاز است. ورودی‌های مورد نیاز مدل در جدول ۱ خلاصه شده است. مهم‌ترین فرآیندهایی که در مدل باید شبیه‌سازی شوند عبارتند از فنولوژی گیاه، تغییرات سطح برگ، تولید و توزیع ماده خشک و موازنه آب خاک.

ارزیابی براساس مدل سلطانی و همکاران (۲۰۰۵) و سلطانی و سینکلر (۲۰۱۱) صورت گرفت.

در این مدل تولید ماده خشک به عنوان تابعی از تشعشع دریافت شده و دما تخمین زده می‌شود. افزایش روزانه ماده خشک گیاه زراعی توسط تولید ناشی از تشعشع فعال فتوسنتزی برآورد می‌شود، که تابعی از تشعشع دریافت شده توسط گیاه زراعی (FINT) و کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) جهت تولید ماده خشک گیاه، مانند کارایی استفاده از تشعشع، می‌باشد. تشکیل عملکرد در مدل با توجه به کل ماده خشک تولید شده در دوره پرشدن دانه و نیز ماده خشک

جدول ۱- ورودی‌های مورد نیاز مدل سویا.

| متغیر (مخفف) | واحد |
|---|---------------------------|
| داده های هواشناسی | |
| حداکثر دمای روزانه (TMAX) | درجه سانتی گراد |
| حداقل دمای روزانه (TMIN) | درجه سانتی گراد |
| تشعشع خورشیدی روزانه (SRAD) | مگاژول بر مترمربع در روز |
| بارندگی روزانه (RAIN) | میلی متر |
| ویژگی های خاک | |
| آلبیدوی خاک (SLAB) | |
| ضریب زهکشی عمق خاک (DRAINF) | میلی متر بر میلی متر |
| کسر حجمی رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم (IDUL) | سانتی متر آب بر سانتی متر |
| کسر حجمی رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی (ILL) | سانتی متر آب بر سانتی متر |
| کسر حجمی رطوبت در نقطه اشباع (ISAT) | سانتی متر آب بر سانتی متر |
| شماره منحنی خاک (CN) | - |
| مدیریت زراعی | |
| تاریخ کاشت (PDOY) | روز سال از اول ژانویه |
| تراکم (DEN) | بوته در مترمربع |
| رطوبت خاک در زمان کاشت (ISW) | میلی متر |
| کسر آب قابل تعرق خاک برای انجام آبیاری (IRGLVL) | - |

شده است (انگوس و همکاران، ۱۹۸۰) بنابراین، از یک مدل سطح برای توصیف مراحل مختلف نموی و محاسبه GDD به صورت زیر استفاده شد:

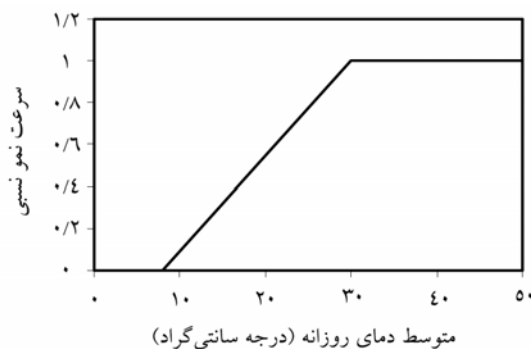
فنولوژی: در این مطالعه با توجه به این که متوسط دمای هوا در منطقه مورد مطالعه (شرق مازندران) اصولاً از ۳۰ درجه سانتی‌گراد بیش‌تر نمی‌شود و با توجه به این‌که دمای پایه و مطلوب برای سویا به ترتیب ۸ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد گزارش

(۱)

| | | |
|------------------------------------|-----|-----------------|
| GDD=۰ | اگر | $T \leq T_b$ |
| GDD=T-T _b | اگر | $T_b < T < T_o$ |
| GDD=T _o -T _b | اگر | $T > T_o$ |

موجب افزایش سرعت نمو نمی‌شود (شکل ۱). زمان حرارتی برای مراحل مختلف نمو به صورت تجمعی بیان شد. به این ترتیب که درجه روز رشد که از رابطه ۱ برای هر روز به دست می‌آید به زمان حرارتی تجمعی از روزهای قبل افزوده می‌شود.

که در آن T ، T_b و T_o به ترتیب متوسط دمای هوا، دمای پایه و دمای مطلوب بر حسب درجه سانتی‌گراد هستند. رابطه ۱ به این مفهوم است که سرعت نمو در کم‌تر از دمای پایه صفر است، با افزایش دمای پایه تا رسیدن به دمای مطلوب به طور خطی افزایش می‌یابد و افزایش دما در بیش‌تر از دمای مطلوب



شکل ۱- واکنش سرعت نمو نسبی سویا به دما

سطح برگ

محاسبه‌های مربوط به سطح برگ با روشی مشابه آن چه با مدل EPIC (ویلیامز و همکاران، ۱۹۸۹) که در مدل SBEET (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۵) به کار گرفته شده بود؛ انجام گرفت. در این روش میزان شاخص سطح برگ در هر روز از کاشت تا برداشت از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$LAI = RLAI \times LAIMAX \quad (۳)$$

محصول می‌باشد. $LAIMAX$ با استفاده از رابطه زیر به دست آمد:

$$LAIMAX = (PDEN / PDEN + EXP (A1 - B1 \times PDEN)) \quad (۴)$$

و مقدار $P2 = (90, 0/95)$ منظور گردید (جدول ۲). باید توجه داشت که $P1$ و $P2$ دارای مفهوم هستند. $P1$ نشان می‌دهد که در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع، شاخص سطح برگ نسبی برابر $0/43$ است و $P2$ نشان می‌دهد که در تراکم ۹۰ بوته در مترمربع،

در این مطالعه، برای پیش‌بینی مدت زمان کاشت تا مراحل مختلف نمو (با استفاده از رابطه ۱) از داده‌های مربوط به رقم سحر سویا استفاده شد (جدول ۲). زمان حرارتی برای مراحل نموی مورد پیش‌بینی شامل کاشت تا مراحل سبز شدن، پایان رشد برگ، شروع رشد دانه، پایان رشد دانه و رسیدگی برداشت به ترتیب معادل ۱۰۰، ۱۱۰۰، ۱۳۰۰، ۱۷۵۰ و ۲۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در روز بودند.

که در آن $LAIMAX$: شاخص سطح برگ و $LAIMAX$: حداکثر شاخص سطح برگ برای تراکم موردنظر و $RLAI$: نسبت $LAIMAX$ موجود به حداکثر $LAIMAX$ قابل حصول توسط

که در آن $PDEN$: تراکم گیاه سویا در متر مربع است که به‌عنوان یک ورودی باید به مدل داده شود.

$A1 - B1$: ضرایب معادله هستند که با در دست بودن دو نقطه ($P1$ و $P2$) و از طریق حل هم زمان رابطه بالا برای آن دو نقطه به دست می‌آیند. در این مطالعه مقدار $P1 = (30, 0/43)$

شاخص سطح برگ نسبی برابر ۰/۹۵ است. مقدار RLAI از طریق رابطه‌های زیر به دست آمد:

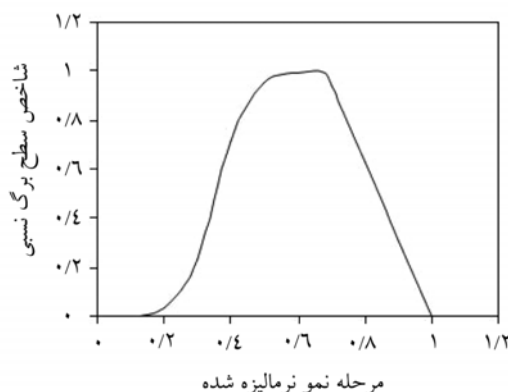
$$\begin{aligned} \text{RLAI} &= \text{NGS} / (\text{NGA} + \text{EXP}(a+b \times \text{NGS})) & \text{اگر} & \text{NGS} < \text{BLS} \\ \text{RLAI} &= \text{BSGLAI} \times ((1-\text{NGS}) / (1-\text{BLS})) & \text{اگر} & \text{NGS} \geq \text{BLS} \end{aligned} \quad (5)$$

جدول ۲- متغیرهای مدل سویا و تخمین آن‌ها

| متغیر (مخفف) | واحد | تخمین |
|---|---------------------|-------|
| دمای پایه نمو (Tb) | درجه سانتی‌گراد | ۸ |
| دمای مطلوب نمو (To) | درجه سانتی‌گراد | ۳۰ |
| زمان حرارتی از کاشت تا سبز شدن (TTEMR) | درجه سانتی‌گراد | ۱۰۰ |
| زمان حرارتی از کاشت تا پایان رشد برگ (TTTLG) | درجه سانتی‌گراد | ۱۱۰۰ |
| زمان حرارتی از کاشت تا شروع رشد دانه (TTBSG) | درجه سانتی‌گراد | ۱۳۰۰ |
| زمان حرارتی از کاشت تا پایان رشد دانه (TTTSG) | درجه سانتی‌گراد | ۱۷۵۰ |
| زمان حرارتی از کاشت تا رسیدگی برداشت (TTHAR) | درجه سانتی‌گراد | ۲۱۰۰ |
| نقطه ۱ روی منحنی شاخص سطح برگ نسبی در مقابل تراکم (p1) | (ندارد، بوته در متر | ۰/۴۳) |
| نقطه ۲ روی منحنی شاخص سطح برگ نسبی در مقابل تراکم (p2) | (ندارد، بوته در متر | ۰/۹۵) |
| نقطه ۱ روی منحنی شاخص سطح برگ نسبی در مقابل مرحله نمو نرمالیزه شده (D1) | (ندارد، ندارد) | ۰/۰۱) |
| نقطه ۲ روی منحنی شاخص سطح برگ نسبی در مقابل مرحله نمو نرمالیزه شده (D2) | (ندارد، ندارد) | ۰/۹۵) |
| حداکثر شاخص سطح برگ مشاهده شده در منطقه (LAIMAX) | ندارد | ۶ |
| دمای پایه برای کارایی استفاده از تشعشع (TBRUE) | درجه سانتی‌گراد | ۱۰ |
| دمای مطلوب تحتانی برای کارایی استفاده از تشعشع (TO1RUE) | درجه سانتی‌گراد | ۲۰ |
| دمای مطلوب فوقانی برای کارایی استفاده از تشعشع (TO2RUE) | درجه سانتی‌گراد | ۳۰ |
| دمای سقف برای کارایی استفاده از تشعشع (TCRUE) | درجه سانتی‌گراد | ۴۰ |
| نسبت کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی در بعد از پر شدن دانه به قبل از پر شدن دانه (RRUE) | گرم بر مگاژول | ۲ |
| نسبت کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی در بعد از پر شدن دانه به قبل از پر شدن دانه (RRUE) | ندارد | ۰/۷۷ |
| ضریب خاموشی تشعشع فعال فتوسنتزی (KPAR) | ندارد | ۰/۶۵ |
| ضریب افزایش خطی در شاخص برداشت (DHI) | ندارد | ۰/۰۱ |
| کسری از ماده خشک در شروع پر شدن دانه که قابل انتقال دوباره به دانه‌ها است (FRTRL) | ندارد | ۰/۲ |
| کسر آب قابل دسترس خاک در زمان شروع کاهش تولید سطح برگ (WSSL) | ندارد | ۰/۴ |
| کسر آب قابل دسترس خاک در زمان شروع کاهش تولید ماده خشک (WSSG) | ندارد | ۰/۳ |
| ضریب خاموشی برای کل تشعشع خورشیدی در محاسبه درصد پوشش زمین و تقسیم تبخیر و تعرق | ندارد | ۰/۵ |
| ضریب آلیبدوی گیاه (CALB) | ندارد | ۰/۲۳ |
| عمق موثر استخراج آب خاک (SOLDEP) | میلی متر | ۱۰۰۰ |

نقطه به دست می‌آید. در این مدل مقدار D_1 و D_2 به ترتیب معادل (۰/۰۱، ۰/۱۵) و (۰/۹۵، ۰/۵) منظور گردید (سلطانی، ۱۳۸۸). مقدار D_1 به این مفهوم است که پس از طی شدن ۱۵ درصد زمان حرارتی از کاشت تا برداشت LAI به حداکثر خود می‌رسد و D_2 نشان می‌دهد که LAI با سپری شدن ۵۰ درصد زمان حرارتی به ۹۵ درصد حداکثر خود می‌رسد.

که در آن، BLS: مرحله نموی نرمالیزه شده در شروع پرشدن دانه سویا است که در آن حداکثر شاخص سطح برگ (BSGLAI) به دست می‌آید و بعد از آن افت LAI شروع می‌شود (شکل ۲). در این مدل مقدار BLS برابر ۰/۶ در نظر گرفته شد. a و b ضرایب معادله هستند و با در دست بودن دو نقطه D_1 و D_2 و از طریق حل هم زمان رابطه بالا برای آن دو



شکل ۲- تغییرات شاخص سطح برگ نسبی در مقابل مرحله نمو نسبی (نرمالیزه شده) در سویا

گردیده است. بر این اساس ماده خشک تولیدی روزانه (DBP) گرم بر متر مربع در روز) به صورت حاصل ضرب کل تشعشع خورشیدی روزانه (SRAD مگاژول بر متر مربع در روز) کسری از تشعشع رسیده که به وسیله جامعه گیاهی دریافت می‌شود (FINT، بدون واحد) و کارایی استفاده از تشعشع (RUE، گرم بر مگاژول) محاسبه می‌شود:

$$DBP = SRAD \times 0.5 \times FINT \times RUE$$

شده از مشاهده شده از معادله خط رگرسیون (ضرایب a و b)، ضریب تبیین بین عملکرد مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و خط ۱:۱ استفاده شد (استیل و توری، ۱۹۸۵). برای تعیین دقت کلی مدل از دو شاخص جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و شاخص تطابق (d) به ترتیب زیر استفاده شد (کوباشی و سلام، ۲۰۰۰؛ ویلموت و همکاران، ۱۹۸۵):

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (7)$$

تولید و توزیع ماده خشک: روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی تولید ماده خشک ابداع و استفاده شده‌اند. برخی مدل‌ها بر پایه مدل‌سازی فتوسنتز، تنفس رشد و تنفس نگهداری می‌باشند (موکاو و دیویس، ۱۹۸۸؛ بوت و پیکرینگ، ۱۹۹۴؛ گودریان و ون لار، ۱۹۹۴؛ لیزاسو و همکاران، ۲۰۰۵). در این مدل نیز از این مفهوم برای برآورد تولید ماده خشک استفاده (۶)

ارزیابی مدل: برای آزمون مدل مقادیر عملکرد دانه شبیه‌سازی شده با مشاهده شده مقایسه شدند برای این منظور از مجموعه‌ای از داده‌های آزمایشی استفاده شد (جدول ۳). در هر مورد برای انجام شبیه‌سازی، ورودی‌های مورد نیاز مدل جمع آوری شدند. به این ترتیب که آمار هواشناسی منطقه موردنظر در سال‌های انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای به صورت یک فایل در اختیار مدل قرار گرفت. برای مقایسه انحراف مقادیر شبیه‌سازی

که در آن O_i ، P_i و O به ترتیب عملکرد پیش‌بینی شده، عملکرد مشاهده شده و میانگین عملکردهای مشاهده شده می‌باشد.

جدول ۳- داده‌هایی که از آن‌ها برای تخمین برخی متغیرهای مدل یا ارزیابی مدل استفاده شده است

| منبع | تیمار | عرض | محل و سال |
|--------|--------|--------------|-----------|
| عرب، | مقایسه | ۳۶ درجه و ۳۷ | نکا، ۱۳۷۸ |
| عرب، | مقایسه | ۳۶ درجه و ۳۷ | نکا، ۱۳۸۱ |
| عشیری، | تراکم | ۳۶ درجه و ۳۷ | نکا، ۱۳۸۹ |
| عشیری، | تراکم | ۳۶ درجه و ۳۷ | نکا، ۱۳۹۱ |

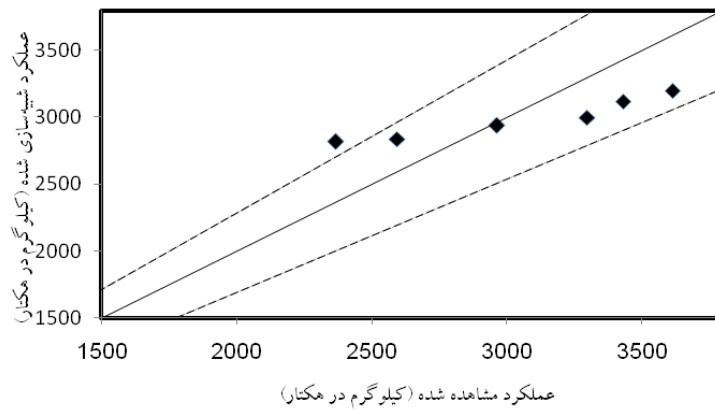
نتایج و بحث

دامنه داده‌های عملکرد دانه مشاهده شده از ۲۰۷۵-۳۳۵۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین $2768/43$ کیلوگرم در هکتار متغیر بود (جدول ۴). دامنه عملکرد شبیه‌سازی شده نیز بین ۲۸۲۰-۳۲۸۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین $3028/57$ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۴). بر اساس این نتایج میانگین عملکرد پیش‌بینی شده از میانگین عملکرد مشاهده شده بیشتر بود که این امر با نتایج به دست آمده در مطالعه مدل تبخیر و تعرق و پیش‌بینی عملکرد سویا توسط ژنگ و همکاران (۲۰۱۵) و همچنین در تحقیق باقری و ترابی (۱۳۹۴) در شبیه‌سازی مدل برای گیاه باقلا مطابقت داشت. مرکائو و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از مدل CROPGRO-soybean به پیش‌بینی عملکرد سویا در آرژانتین پرداختند در مطالعه آن‌ها مقدار $RMSE$ به ترتیب ۱۹ و ۲۰ درصد میانگین عملکرد مشاهده شده و شبیه‌سازی شده گزارش گردید.

در شکل ۳ عملکرد شبیه‌سازی شده دانه و عملکرد مشاهده شده دانه با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همچنین در این شکل خط ۱:۱ (خط ۴۵ درجه)، خط رگرسیون و حدود اطمینان خط رگرسیون آورده شده‌اند. از معیارهای ارزیابی مدل‌ها بررسی ضرایب رگرسیون ساده خطی بین عملکرد پیش‌بینی شده و عملکرد مشاهده شده است (وان ایتروسوم و همکاران، ۲۰۰۳).

ضرایب a و b به ترتیب بیانگر مقدار انحراف خط رگرسیون از مبدأ مختصات و مقدار اریب خط رگرسیون از خط ۱:۱ می‌باشد. معنی‌دار بودن ضریب a به این مفهوم است که عرض از مبدأ خط رگرسیون با عرض از مبدأ خط ۱:۱ مطابقت ندارد و مفهوم معنی‌داری ضریب b این است که شیب خط رگرسیون با شیب خط ۱:۱ مطابقت ندارد، به عبارتی خط رگرسیون نسبت به خط ۱:۱ دارای اریب می‌باشد. ضرایب مدل رگرسیون $a=452$ و $b=0/392$ به دست آمد و خط رگرسیون در محدوده حدود اطمینان قرار گرفت. بنابراین می‌توان بیان نمود که داده‌ها به خوبی حول خط ۱:۱ قرار دارند. مقدار ضریب تبیین (R^2) ۹۴ درصد به دست آمد. در به کارگیری مدل‌ها برای پیش‌بینی عملکرد گزارش شده است مقدار ضریب تبیین باید بیش از ۶۰ درصد باشد (همر و موکاو، ۱۹۹۴) که این شرط در این مدل وجود دارد. با این حال با توجه به نتایج به دست آمده از این مدل می‌توان برای پیش‌بینی عملکرد سویا با دقتی مناسب در شرایط شرق مازندران استفاده نمود.

نتایج به دست آمده از گزارش نه‌بندانی و همکاران (۱۳۹۴) نیز نشان داد که نتایج حاصل از شبیه‌سازی عملکرد سویا با استفاده از مدل SSM می‌تواند نشان‌دهنده برآورد صحیح پارامترهای مدل و یا تصدیق‌کننده کارایی مدل در تخمین مقدار عملکرد سویا در شرایط گرگان باشد.



شکل ۳- مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده عملکرد دانه، خط توپر، معرف خط ۱:۱ و خطوط نقطه چین بالا و پایین به ترتیب بیانگر خط: ۱:۱/۱۵ و ۱:۰/۸۵ می باشد

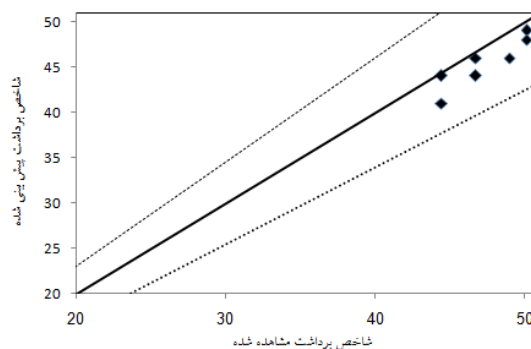
جدول ۴- مقادیر حداکثر، حداقل و میانگین مشاهده شده و پیش بینی شده عملکرد دانه، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک

| عملکرد دانه | حداکثر | | میانگین | | حداکثر | | میانگین | | عملکرد بیولوژیک |
|--------------|--------|-------|---------|-------|--------|-------|---------|-----|-----------------|
| | حداکثر | حداقل | حداکثر | حداقل | حداکثر | حداقل | میانگین | | |
| مشاهده شده | ۳۳۵۰ | ۲۰۷۵ | ۲۷۶۸/۳ | ۰/۳۹ | ۰/۴۴ | ۰/۴۱ | ۴۴۵ | ۶۹۰ | ۵۷۲/۷۱ |
| پیش بینی شده | ۳۲۸۰ | ۲۸۲۰ | ۳۰۲۸/۵۷ | ۰/۴۱ | ۰/۴۹ | ۰/۴۵ | ۶۱۵ | ۷۱۸ | ۶۷۶/۸۵ |

شاخص برداشت

دامنه داده های شاخص برداشت مشاهده شده از ۰/۳۹-۰/۴۴ با میانگین ۰/۴۱ متغیر بود (جدول ۴). دامنه شاخص برداشت شبیه سازی شده نیز بین ۰/۴۱ تا ۰/۴۹ با میانگین ۰/۴۵ به دست آمد (جدول ۴). در شکل ۴ شاخص برداشت شبیه سازی شده توسط مدل و شاخص برداشت مشاهده شده با یکدیگر مقایسه شده اند.

همچنین در این شکل خط ۱:۱ (خط ۴۵ درجه) و خط رگرسیون آورده شده اند. ضرایب مدل رگرسیون $a=9/058$ و $b=0/715$ به دست آمد. مقدار ضریب تبیین (R^2) ۸۰ درصد به دست آمد و شیب خط رگرسیون هم با شیب خط ۱:۱ مطابقت دارد. لذا با توجه به نتایج مدل فوق می تواند پیش بینی مناسبی در مورد شاخص برداشت سویا در مازندران ارائه دهد.



شکل ۴- مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده شاخص برداشت، خط توپر، معرف خط ۱:۱ و خطوط نقطه چین بالا و پایین به ترتیب بیانگر خط: ۱:۱/۱۵ و ۱:۰/۸۵ می باشد

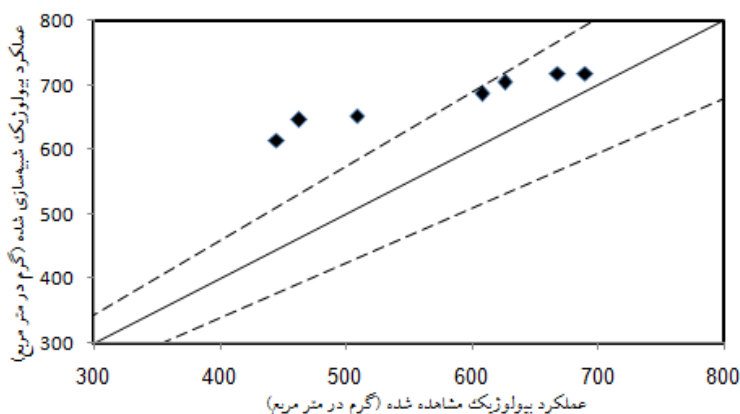
عملکرد بیولوژیک

دامنه داده های عملکرد بیولوژیک مشاهده شده از ۶۹۰-۴۴۵ با میانگین ۵۷۲/۷۱ گرم در متر مربع متغیر بود (جدول ۴). دامنه

عملکرد بیولوژیک شبیه سازی شده نیز بین ۶۱۵-۷۱۸ با میانگین ۶۷۶/۸۵ گرم در متر مربع به دست آمد (جدول ۴). در شکل ۵ عملکرد بیولوژیک شبیه سازی شده توسط مدل و عملکرد

سلطانی (۱۳۹۳) عنوان کردند که سویا گیاهی حساس به طول روز می‌باشد بنابراین برای این که مدل بتواند در دامنه وسیع‌تری از تاریخ‌های کاشت و عرض‌های جغرافیایی استفاده شود لازم است تأثیر طول روز بر نمو فتولوژیک نیز سنجیده شود. سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) نیز عنوان کردند که این مدل در دامنه محدودی از تاریخ‌های کاشت و عرض‌های جغرافیایی پیش‌بینی قابل قبولی را ارائه می‌دهد. فراهانی پاد و همکاران (۱۳۹۱) نیز عنوان کردند که مدیریت مناسب مزرعه و تاریخ‌های کاشت نیز در خروجی مدل تأثیرگذار هستند. از سوی دیگر از آنجا که مدل عملکرد دانه و شاخص برداشت را به خوبی پیش‌بینی کرد احتمالاً عدم شبیه‌سازی دقیق عملکرد بیولوژیک در عدم تطابق معادلات به کار رفته در مدل *iLegume_Soybean* برای عملکرد بیولوژیک باشد. بنابراین با توجه به دلایل ذکر شده این مدل نتوانست به خوبی عملکرد بیولوژیک را برآورد کند.

بیولوژیک مشاهده شده با یکدیگر مقایسه شده‌اند. ضرایب مدل رگرسیون $a=0/452$ و $b=0/392$ به دست آمد. علی‌رغم این که مقدار ضریب تبیین (R^2) ۹۶ درصد به دست آمد اما می‌توان بیان نمود که داده‌ها به خوبی حول خط ۱:۱ قرار ندارند و شیب خط رگرسیون ($b=0/392$) با شیب خط ۱:۱ مطابقت ندارد و نسبت به آن دارای اریب می‌باشد. به عبارتی هر چه قدر a به صفر و b به یک نزدیک‌تر گردند؛ مدل از کارایی بالاتری برخوردار است. اما پراکنش داده‌ها حول خط ۱:۱ نبوده و نسبت به خط ۱:۱ دارای اریب می‌باشد و به همین دلیل مدل نمی‌تواند برای عملکرد بیولوژیک سویا در مازندران پیش‌بینی مناسبی نماید؛ هر چند که از ضریب تبیین بالایی برخوردار است. شاید بتوان گفت که چون مدل برای شرایط استان گلستان تهیه شد و ما از آن برای شرق مازندران استفاده کردیم، و این دو منطقه از نظر پارامترهای جوی هماهنگی کاملی با هم ندارند. همچنین رسام و



شکل ۵- مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده عملکرد بیولوژیک. خط توپر، معرف خط ۱:۱ و خطوط چین بالا و پایین به ترتیب بیانگر خط: ۱:۱/۰۵ و ۱:۰/۸۵ می‌باشد

نتیجه گیری

می‌توان به خوبی و با دقت بالا در شرق مازندران پیش‌بینی نمود ولی این مدل نمی‌تواند عملکرد بیولوژیک را به خوبی پیش‌بینی نماید.

در این پژوهش نتایج حاصل از شبیه‌سازی عملکرد سویا با مدل *iLegume_Soybean* در شرق مازندران نشان داد که با استفاده از این مدل عملکرد دانه و شاخص برداشت سویا را

منابع

- باقری، و. و ترابی، ب. ۱۳۹۴. مدلی ساده برای شبیه‌سازی رشد، نمو و عملکرد گیاه باقلا در استان گلستان. نشریه تولید گیاهان زراعی. جلد هشتم. شماره ۲. صفحه ۱۳۳-۱۵۲.
- رسام، ق. و سلطانی، ا. ۱۳۹۳. ساخت و ارزیابی مدلی ساده برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد سویا. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی. جلد ۲۱. شماره ۲. صفحه ۸۷-۱۰۵.

- سزائی تبریزی، م.، م. پارسى نژاد، و بابازاده، ح. ۱۳۹۳. ارزیابی کارائی مدل CROPWAT 8.0 در پیش‌بینی و برآورد مصرف آب و میزان عمل کرد محصول سویا با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای در منطقه کرج. نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی). شماره ۱۰۲. صفحه ۱۶۱-۱۷۰.
- سلطانی، ا. ۱۳۸۸. مدلسازی گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۷۶ صفحه.
- فراهانی‌پاد، پ.، پاک‌نژاد، ف.، ایلکایی، م.، حبیبی، د.، و داوودی فرد، م. ۱۳۹۱. شبیه سازی عملکرد و اجزای عملکرد سویا (رقم ویلیامز) در چهار تاریخ کاشت با استفاده از مدل CROPGRO-Soybean در منطقه کرج. مجله زراعت و اصلاح نباتات. جلد ۸. شماره ۴. صفحه ۳۱-۴۱.
- نهبندانی، ع.، ا. سلطانی، ا.، زینلی، س.، رئیسی و رجبی. ر. ۱۳۹۴. پارامتریابی و ارزیابی مدل SSM-iLegume برای پیش‌بینی رشد و عملکرد سویا در شرایط گرگان. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی. جلد ۲۳ شماره ۳. صفحه ۱-۲۶.
- Angus, J.F., Cunningham, R.B., Moncur, M.W., and Mackenzie, D.H. 1980. Phasic development in field crops. I. Thermal response in the seedling phase *Field Crops Res.* 3: 365-78.
- Anonymus. 2018. www.FAO.org/faostat/en/data.
- Boote, K.J., and Pickering, N.B. 1994. Modeling photosynthesis of row crop canopies. *Hort. Sci.* 29: 1423-1434.
- Geoffrey, E.O., Wietse, H.P., Iwan, S., Omondi, P., and Ronald W.A. 2018. Probabilistic maize yield prediction over East Africa using dynamic ensemble seasonal climate forecasts. *Agricultural and Forest Meteorology* 250: 243-261.
- Goudriaan, J., and van Laar, H.H. 1994. Modelling potential crop growth processes. Kluwer Academic Pub. Dordrecht, 238p.
- Hammer, G.L., and Muchow, R.C. 1994. Assessing climatic risk to sorghum production in water-limited subtropical environments: I. Development and testing of a simulation model. *Field Crops Res.* 36: 221-234.
- Hunt, L.A., and Pararajasingham, S. 1995. CROPSIM-WHEAT: A model describing the growth and development of wheat. *Can. J. Plant Sci.* 75: 619-632.
- Kobayashi, K., and Salam, M.U. 2000. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. *Agron. J.* 92: 345-352.
- Liu, X., Jin, J., Herbert, S.J., Zhang, Q., and Wang, G. 2004. Yield components, dry matter, LAI and LAD of soybeans in Northeast China. *Field Crops Res.* 90: 125-140.
- Lizaso, J.I., Batchelor, W.D., Boote, K.J., and Westgate, M.E. 2005. Development of a leaf level canopy assimilation model for CERES-Maize. *Agron. J.* 97: 722-733.
- Mercau, J.L., Dardanelli, J.L., Collino, D.J., Andriani, J.M., Irigoyen, A., and Satorre, E.H. 2007. Predicting on-farm soybean yields in the pampas using CROPGRO-soybean. *Field Crops Res.* 100: 200-209.
- Muchow, R.C., and Davis, R. 1988. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment. II. Radiation interception and biomass accumulation. *Field Crops Res.* 18: 17-30.
- OECD/FAO 2015. Oilseeds and oilseed products. in *OECD-FAO Agricultural Outlook 2015*, OECD Publishing, Paris.
- O'Leary, G.J., and Connor, D.J. 1998. A simulation study of wheat crop response to water supply, nitrogen nutrition, stubble retention and tillage. *Aust J. Agric. Res.* 49: 11-19.
- Rafael B., Paulo C. S., and Kenneth J. B. 2017. Inter-comparison of performance of soybean crop simulation models and their ensemble in southern Brazil. *Field Crops Research.* 200: 28-37
- Soltani, A., Torabi, B., and Zarei, H. 2005. Modeling crop yield using a modified harvest index-based approach: Application in chickpea. *Field Crops Res.* 91: 273-285.
- Soltani, A., Hammer, G.L., Torabi, B., Robertson, M.J., and Zeinali, E. 2006. Modeling chickpea growth and development: Phenological development. *Field Crops Res.* 99: 1-13.
- Soltani, A., and Sinclair, T.R. 2011. A simple model for chickpea development, growth and yield. *Field Crops Res.* 124: 252-260.
- Steel, R.G.D., and Torrie, J.H. 1985. Principles and Procedures of Statistics –A Biometrical Approach. McGraw-Hill Book Co., Mexico, 622p.
- Stockle, C. O. 2007. The cropSyst model: A brief description. Biological systems engineering dep., Washington state University, Pullman, Wa, USA.

- Van Ittersum, M.K., Leffelaar, P.A., Van Keulen, H., Kropff, M.J., Bastiaans L., and Goudriaan, J. 2003. On approaches and applications of the Wageningen crop models. *Eur. J. Agro.* 18:3. 201-234.
- Villalobos, F.J., Hall, A.J., Ritchie, J.T., and Orgaz, F. 1996. OILCROP-SUN: A development, growth and yield model of the sunflower crop. *Agron. J.* 88: 403-415.
- Williams, J.R., Jones, C.A., Kiniry, J.R., and Spanel, D.A. 1989. The EPIC crop growth model. *Trans. ASAE.* 32: 497-510.
- Willmott, C.J., Akleson, G.S., Davis, R.E., Feddema, J.J., Klink, K.M., Legates, D.R., Odonnell, J., and Rowe, C.M. 1985. Statistics for the evaluation and comparison of models. *J. Geophys. Res.* 90: 8995-9005.
- Xiao, H., Guorui, H., Chaoqing, Y., Shaoqiang, N., and Le, Y. 2017. A multiple crop model ensemble for improving broad-scale yield prediction using Bayesian model averaging. *Field Crops Research* 211: 114–124.
- Xiao, G., Zhang, Q., Zhang, F., Ma, F., Wang, J., Huang, J., Luo, C., He, X., and Qiu, Z. 2016. Warming influences the yield and water use efficiency of winter wheat in the semiarid regions of Northwest China. *Field Crop Res.* 199, 129–135.
- Zheng, W., Paula, P., Yu, L., Wei, W., and Luis S. P. 2015. Modelling transpiration, soil evaporation and yield prediction of soybean in North China Plain. *Agricultural Water Management* 147: 43–53.

Simulation of soybean growth and yield using iLegume_Soybean model in Mazandaran

Ali Rahemi karizaki¹, Morteza Nouralizadeh Otaghsara²

received: 2018-5-20 Accepted: 2018-11-17

Abstract

Soybean is one of the most important oily plants in the world. More than 50 percent of the world's oilseed production is concentrated on soybean. The purpose of this study was to evaluate and apply a simple model of soybean growth and yield in eastern Mazandaran provinc. Different aspects of plant growth in the model are as follows including phonological development, leaf area changes, and the production and distribution of dry matter. Grain yield, biological yield and harvest index were simulated using different scenarios. The results showed that the regression coefficients of the observed grain yield and harvest index versus simulated values based on 95% confidence intervals were not significantly different with the coefficients of line 1: 1 ($a = 0$ and $b = 1$). The values of R^2 for grain yield and harvest index were 0.96 and 0.80 respectively. Despite R^2 of linear regressed line between observed yield biological versus predicted values was 0.96 but the slope of line 1: 1 did not accordance and was oblique. Therefore, it can be said that the model has the ability to predict grain yield and harvest index in the environmental conditions of Mazandaran, but it can not be suitable for soybean biological yield in Mazandaran.

Keywords: Grain yield, harvest index, modeling

1- Assistant Professor, Department of Plant Production, Gonbad University, Gonbad, Iran

2- PhD Student of Agronomy, Department of Plant Production, Gonbad University, Gonbad, Iran