



دانشگاه گوارز، دانش کشاورزی و منابع طبیعی گوارز

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و یکم، شماره دوم، ۱۳۹۳
<http://jopp.gau.ac.ir>

ساخت و ارزیابی مدلی ساده برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد سویا

*قربانعلی رسام^۱ و افشین سلطانی^۲

^۱استادیار گروه تولیدات گیاهی، مجتمع آموزش عالی شیروان، شیروان،

^۲آستاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۲/۵/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۱۴

چکیده

سویا یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی در ایران به‌شمار می‌رود. هدف از این مطالعه ساخت و ارزیابی یک مدل ساده رشد و عملکرد سویا (رقم هابیت) برای استفاده در تجزیه و تحلیل اثرات عوامل آب و هوایی، خاک، مدیریت زراعی و ویژگی‌های رقم زراعی بر عملکرد سویا در شرایط شمال خراسان بود. جنبه‌های مختلف رشد گیاه در مدل به‌صورت زیر برنامه‌هایی شامل نمو فنولوژیک، تغییرات سطح برگ، تولید و توزیع ماده خشک سازمان‌دهی شده‌اند. زیر برنامه موازنه آب خاک نیز برای شبیه‌سازی تغییرات آب خاک و تعیین شدت تنش در مدل گنجانده شده است. مدل شبیه‌سازی را روزانه انجام می‌دهد و به اطلاعات مربوط به هوا، خاک و مدیریت زراعی نیاز دارد. مدل برای شرایط شمال خراسان آزمون شد. عملکرد دانه مشاهده شده از ۴۸۰۰-۲۶۰۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۳۶۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. دامنه عملکرد شبیه‌سازی شده نیز بین ۴۱۰۰-۳۰۶۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۳۶۴۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. ضرایب رگرسیون عملکرد دانه مشاهده شده در مقابل مقادیر شبیه‌سازی شده آن ($a=1799\pm 759$ و $b=0.51\pm 0.25$) بر مبنای حدود اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری با ضرایب خط ۱:۱ ($a=0$ و $b=1$) نداشتند. مقدار ضریب تبیین (R^2) و شاخص تطابق (d) به ترتیب ۰/۶۷ و ۰/۸۵ به‌دست آمد. جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برابر ۴۵۸/۳ کیلوگرم در هکتار و ضریب تغییرات ۱۲/۶ درصد برآورد گردید. به‌طورکلی نتایج به‌دست آمده نشان داد از این مدل می‌توان برای پیش‌بینی عملکرد سویا با دقتی مناسب در شرایط شمال خراسان استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: سویا، مدل‌سازی، عملکرد

*مسئول مکاتبه: rassammf@yahoo.com

مقدمه

سویا از منابع عمده تولید روغن و پروتئین گیاهی به‌شمار می‌رود. بیش از ۵۰ درصد تولید دانه‌های روغنی جهان به سویا اختصاص دارد (وئیس، ۲۰۰۰). 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 به‌طور متوسط ۳۰ کیلوگرم در هکتار بوده است (لیو و همکاران، ۲۰۰۴).

به‌رغم پیشرفت‌های ژنتیکی، بروز عوامل محدودکننده‌ای هم‌چون اقلیم، خاک و مدیریت زراعی باعث گردیده است در بسیاری از مناطق کاشت فاصله قابل توجهی (خلا) بین عملکرد برداشتی زارعین و پتانسیل عملکرد ژنتیکی ایجاد گردد. شناخت عوامل محدودکننده 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 به‌دلیل وجود اثرات متقابل بین اقلیم، خاک و گیاه آزمایش‌های مزرعه‌ای کوتاه‌مدت 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؛ ویلاوبوس و همکاران، ۱۹۹۶؛ سلطانی و سینکлер، ۲۰۱۱). مدل‌ها از نظر پیچیدگی، طیفی از مدل‌های بسیار پیچیده (جونز و کینیری، ۱۹۸۶؛ بوت و همکاران، ۱۹۹۸؛ مک‌کوئن و همکاران، ۱۹۹۶) تا ساده (سینکлер، ۱۹۸۶؛ استوکل و همکاران، ۲۰۰۳؛ سلطانی و سینکлер، ۲۰۱۱) را شامل می‌شوند. پیچیدگی موجود در تعیین ورودی‌های مورد نیاز مدل‌های پیچیده و تفسیر چگونگی کارکرد این مدل‌ها سبب گردیده است تا استفاده از آن‌ها در تعیین پتانسیل عملکرد محدود باشد. این در حالی است که مدل‌های ساده به‌واسطه دارا بودن برتری‌هایی مانند تسهیل در ساخت، آزمون، کاربرد، درک و تفسیر نتایج و همچنین نیاز به حداقل ورودی‌ها در تجزیه و تحلیل پتانسیل عملکرد و عوامل محدودکننده کارایی بیش‌تری دارند (سینکлер، ۱۹۸۶؛ پاسیورا، ۱۹۹۶). نمونه‌هایی از مدل‌های ساده توسط سینکлер برای سویا ساخته شد (سینکлер، ۱۹۸۶). سپس این مدل به‌عنوان چارچوبی استفاده شده و مدل‌هایی برای سایر گیاهان زراعی مانند گندم (امیر و سینکлер، ۱۹۹۱)، جو (وهابی و سینکлер، ۲۰۰۵) و نخود (سلطانی و همکاران، ۱۹۹۹) ساخته شد.

هدف از این مطالعه، ساخت یک مدل ساده برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد سویا بود تا به‌عنوان ابزاری کارگشا برای تجزیه و تحلیل عوامل محدودکننده عملکرد، بهینه‌سازی مدیریت زراعی و شناسایی صفات مؤثر در افزایش عملکرد در شرایط معین محیطی به‌کار گرفته شود.

مواد و روش‌ها

این مدل تقریباً مشابه مدل سلطانی و همکاران (۲۰۰۵) و سلطانی و سینکلر (۲۰۱۱) می‌باشد. برای ایجاد مدل سویا، فرمول‌بندی در ساده‌ترین سطح ممکن موردنظر انجام گرفت 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.

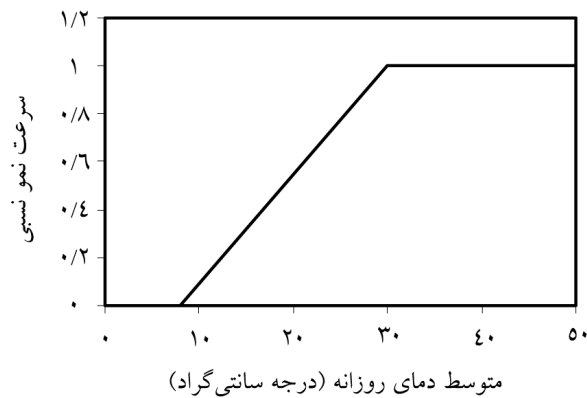
جدول ۱- ورودی‌های مورد نیاز مدل سویا.

متغیر (مخفف)	واحد
داده‌های هواشناسی	
حداکثر دمای روزانه (TMAX)	درجه سانتی‌گراد
حداقل دمای روزانه (TMIN)	درجه سانتی‌گراد
تشعشع خورشیدی روزانه (SRAD)	مگاژول بر مترمربع در روز
بارندگی روزانه (RAIN)	میلی‌متر
ویژگی‌های خاک	
آلبدوی خاک (SLAB)	-
ضریب زهکشی عمق خاک (DRAINF)	میلی‌متر بر میلی‌متر
کسر حجمی رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم (IDUL)	سانتی‌متر آب بر سانتی‌متر خاک
کسر حجمی رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی (ILL)	سانتی‌متر آب بر سانتی‌متر خاک
کسر حجمی رطوبت در نقطه اشباع (ISAT)	سانتی‌متر آب بر سانتی‌متر خاک
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)	میلی‌متر
کسر آب قابل تعرق خاک برای انجام آبیاری (IRGLVL)	-

فنولوژی: پیش‌بینی دقیق فنولوژی گیاهان زراعی از ویژگی‌های ضروری مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی به‌شمار می‌رود. تولید و تسهیم ماده خشک در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی تا حد زیادی به‌وسیله زمان‌بندی مراحل نمو تنظیم می‌شود (سینکلر و همکاران، ۱۹۹۱؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۵؛ سلطانی و سینکلر، ۲۰۱۱). از مفهوم درجه روز رشد (GDD) یا زمان حرارتی (TT) برای کمی‌کردن نمو فنولوژیک در بسیاری از مدل‌ها استفاده شده است (سلطانی و همکاران، ۱۹۹۹؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶). این رهیافت در دامنه محدودی از تاریخ‌های کاشت و عرض‌های جغرافیایی پیش‌بینی‌های قابل‌قبولی را ارائه می‌دهد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶). در این مطالعه با توجه با این‌که متوسط دمای هوا در منطقه مورد مطالعه (شمال خراسان) اصولاً از ۳۰ درجه سانتی‌گراد بیش‌تر نمی‌شود و با توجه به این‌که دمای پایه و مطلوب برای سویا به‌ترتیب ۸ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (انگوس و همکاران، ۱۹۸۰) بنابراین، از یک مدل مسطح برای توصیف مراحل مختلف نمو و محاسبه GDD به‌صورت زیر استفاده شد:

$$\begin{aligned} \text{GDD} &= 0 & \text{اگر} & T \leq T_b & (1) \\ \text{GDD} &= T - T_b & \text{اگر} & T_b < T < T_o \\ \text{GDD} &= T_o - T_b & \text{اگر} & T > T_o \end{aligned}$$

که در آن، T ، T_b و T_o به‌ترتیب 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 به‌طور خطی افزایش می‌یابد و افزایش دما در بیش‌تر از دمای مطلوب موجب افزایش سرعت نمو نمی‌شود (شکل ۱). زمان حرارتی برای مراحل مختلف نمو به‌صورت تجمعی بیان شد. به این ترتیب که درجه روز رشد که از رابطه ۱ برای هر روز به‌دست می‌آید به زمان حرارتی تجمعی از روزهای قبل افزوده می‌شود.



شکل ۱- واکنش سرعت نمو نسبی سویا به دما.

در این مطالعه، برای پیش‌بینی مدت زمان کاشت تا مراحل مختلف نمو (با استفاده از رابطه ۱) از داده‌های مربوط به رقم هایبیت سویا تحت شرایط شمال خراسان استفاده شد (جدول ۲). زمان حرارتی برای مراحل نمو مورد پیش‌بینی شامل کاشت تا مراحل سبزشدن، 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. سپس مرحله نمو نرمالیزه شده (NGS) که یک متغیر بدون بعد است و مقدار آن در کاشت صفر و در رسیدگی برداشت ۱ می‌باشد با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$NGS = CGDD / GDDM \quad (2)$$

که در آن، GDDM: زمان حرارتی مورد نیاز از کاشت تا رسیدگی برداشت (۲۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) و CGDD: زمان حرارتی تجمعی برای مرحله نمو مورد نظر می‌باشد.

جدول ۲- متغیرهای مدل سویا و تخمین آن‌ها.

تخمین	واحد	متغیر (مخفف)
۸	درجه سانتی‌گراد	دمای پایه نمو (T_b)
۳۰	درجه سانتی‌گراد	دمای مطلوب نمو (T_0)
۱۰۰	درجه سانتی‌گراد روز	زمان حرارتی از کاشت تا سبز شدن (TTEMR)
۱۱۰۰	درجه سانتی‌گراد روز	زمان حرارتی از کاشت تا پایان رشد برگ (TTTLG)
۱۳۰۰	درجه سانتی‌گراد روز	زمان حرارتی از کاشت تا شروع رشد دانه (TTBSG)
۱۷۵۰	درجه سانتی‌گراد روز	زمان حرارتی از کاشت تا پایان رشد دانه (TTTSG)
۱۱۰۰	درجه سانتی‌گراد روز	زمان حرارتی از کاشت تا رسیدگی برداشت (TTTHAR)
(۳۰، ۰/۴۳)	(ندارد، بوته در مترمربع)	نقطه ۱ روی منحنی شاخص سطح برگ نسبی در مقابل تراکم (P_1)
(۹۰، ۰/۹۵)	(ندارد، بوته در مترمربع)	نقطه ۲ روی منحنی شاخص سطح برگ نسبی در مقابل تراکم (P_2)
(۰/۱۵، ۰/۰۱)	(ندارد، ندارد)	نقطه ۱ روی منحنی شاخص سطح برگ نسبی در مقابل مرحله نمو نرمالیزه شده (D_1)
(۰/۵، ۰/۹۵)	(ندارد، ندارد)	نقطه ۲ روی منحنی شاخص سطح برگ نسبی در مرحله نمو نرمالیزه شده (D_2)
۶	ندارد	حداکثر شاخص سطح برگ مشاهده شده در منطقه (LAIMAX)
۱۰	درجه سانتی‌گراد	دمای پایه برای کارایی استفاده از تشعشع (TBRUE)
۲۰	درجه سانتی‌گراد	دمای مطلوب تختانی برای کارایی استفاده از تشعشع (TOIRUE)
۳۰	درجه سانتی‌گراد	دمای مطلوب فوقانی برای کارایی استفاده از تشعشع (TO2RUE)
۴۰	درجه سانتی‌گراد	دمای سقف برای کارایی استفاده از تشعشع (TCRUE)
۱/۸	گرم بر مگاژول	کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی در شرایط مطلوب قبل از شروع پرشدن دانه‌ها (IRUE)
۰/۷۷	ندارد	نسبت کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی در بعد از پر شدن دانه به قبل از پر شدن دانه (RRUE)
۰/۷	ندارد	ضریب خاموشی تشعشع فعال فتوسنتزی (KPAR)
۰/۰۱	ندارد	ضریب افزایش خطی در شاخص برداشت (DHI)
۰/۲	ندارد	کسری از ماده خشک در شروع پر شدن دانه که قابل انتقال دوباره به دانه‌ها است (FRTRL)
۰/۴	ندارد	کسر آب قابل دسترس خاک در زمان شروع کاهش تولید سطح برگ (WSSL)
۰/۳	ندارد	کسر آب قابل دسترس خاک در زمان شروع کاهش تولید ماده خشک (WSSG)
۰/۵	ندارد	ضریب خاموشی برای کل تشعشع خورشیدی در محاسبه درصد پوشش زمین و تقسیم تبخیر و تعرق (KET)
۰/۲۳	ندارد	ضریب آلیبدوی گیاه (CALB)
۱۰۰۰	میلی‌متر	عمق مؤثر استخراج آب خاک (SOLDEP)

سطح برگ: محاسبه‌های مربوط به سطح برگ با روشی مشابه آنچه با مدل EPIC (ویلیامز و همکاران، ۱۹۸۹) که در مدل SBEET (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۵؛ سلطانی، ۲۰۰۹) 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:

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

که در آن، LAI: شاخص سطح برگ، LAIMAX: حداکثر شاخص سطح برگ برای تراکم موردنظر و RLAI: نسبت LAI موجود به حداکثر LAI قابل حصول توسط محصول می‌باشد. LAIMAX با استفاده از رابطه زیر به دست آمد:

$$LAIMAX = (PDEN / PDEN + EXP (A_1 - B_1 \times PDEN)) \quad (۴)$$

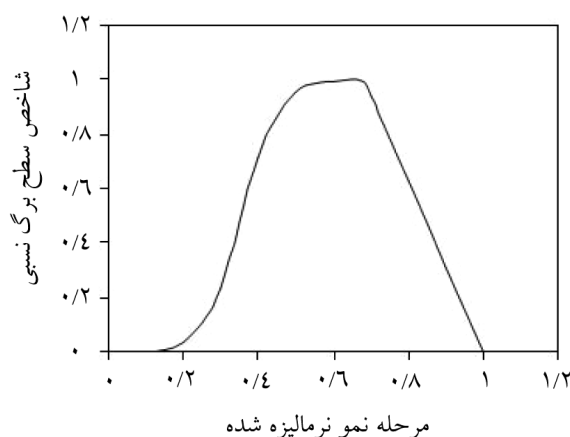
که در آن، PDEN: تراکم گیاه سویا در مترمربع است که به عنوان یک ورودی باید به مدل داده شود. A_1 و B_1 : ضرایب معادله هستند که با در دست بودن دو نقطه (P_1) و (P_2) و از طریق حل هم‌زمان رابطه بالا برای آن دو نقطه به دست می‌آیند. در این مطالعه مقدار $P_1 = (۳۰, ۰/۴۳)$ و مقدار $P_2 = (۹۰, ۰/۹۵)$ منظور گردید (جدول ۲). باید توجه داشت که P_1 و P_2 دارای مفهوم هستند؛ P_1 نشان می‌دهد که در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع، شاخص سطح برگ نسبی برابر ۰/۴۳ است و P_2 نشان می‌دهد که در تراکم ۹۰ بوته در مترمربع شاخص سطح برگ نسبی ۰/۹۵ می‌باشد. مقدار RLAI از طریق رابطه‌های زیر به دست می‌آید:

$$RLAI = NGS / (NGA + EXP(a + b \times NGS)) \quad \text{اگر} \quad NGS < BLS \quad (۵)$$

$$RLAI = BSLGAI \times ((1 - NGS) / (1 - BLS)) \quad \text{اگر} \quad NGS \geq BLS$$

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 (سلطانی، ۲۰۰۹). a و b ضرایب معادله هستند و با در دست بودن دو نقطه D_1 و D_2 و از طریق حل هم‌زمان رابطه بالا برای آن دو نقطه به دست می‌آید. در این مدل مقدار D_1 و D_2 به ترتیب معادل $(۰/۱۵, ۰/۰۱)$ و $(۰/۵, ۰/۹۵)$ منظور گردید (سلطانی،

(۲۰۰۹). مقدار D_1 به این مفهوم است که پس از طی شدن ۱۵ درصد زمان حرارتی از کاشت تا برداشت LAI به ۱ درصد حداکثر خود می‌رسد و D_2 نشان می‌دهد که LAI با سپری شدن ۵۰ درصد زمان حرارتی به ۹۵ درصد حداکثر خود می‌رسد.



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

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 ون‌لار، ۱۹۹۴؛ لیزاسو و همکاران، ۲۰۰۵). مدل‌های بسیار ساده‌ای نیز ابداع شده‌اند که پیش‌بینی تولید ماده خشک را بر پایه مفهوم کارایی استفاده از تشعشع انجام می‌دهند (سینکلر، ۱۹۸۶؛ جونز و کینیری، ۱۹۸۶؛ سلطانی و سینکلر، ۲۰۱۱). در این مدل نیز از این مفهوم برای برآورد تولید ماده خشک استفاده گردید. بر این اساس ماده خشک تولیدی روزانه (DBP، گرم بر مترمربع در روز) به صورت حاصل ضرب کل تشعشع خورشیدی روزانه (SRAD، مگاژول بر مترمربع 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:

$$DBP = SRAD \times 0.5 \times FINT \times RUE \quad (6)$$

مقدار ۰/۵ به عنوان ضریبی برای تبدیل کل تشعشع خورشیدی به تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) در رابطه بالا منظور شده است (مانتیث، ۱۹۷۲).

کسر تشعشع دریافت شده (FINT) به صورت تابع نمایی از LAI و ضریب استهلاک نور (K_{PAR}) مطابق رابطه زیر به دست می آید (مانسی و سایکی به نقل از راسل و همکاران، ۱۹۸۹):

$$FINT = 1 - \exp(-K_{PAR} \times LAI) \quad (7)$$

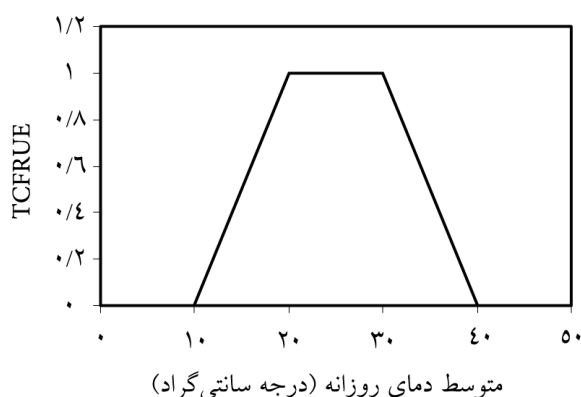
مقدار K_{PAR} برای سویا بین ۰/۶-۰/۸۵ گزارش شده است (موکاو، ۱۹۸۵؛ اسپات و همکاران، ۱۹۸۵). در این مطالعه مقدار K_{PAR} برابر ۰/۷ تخمین زده شد (سینکلر و هوری، ۱۹۸۹). مقدار LAI در رابطه بالا خود توسط رابطه ۳ به دست می آید.

اگرچه در برخی مدل‌ها کارایی استفاده از تشعشع را در طول دوره رشد ثابت فرض می‌نمایند (لیندکوئیست و همکاران، ۲۰۰۵) ولی باید در نظر داشت مقدار آن می‌تواند تحت تأثیر دما و سن گیاه تغییر نماید (اسکویر، ۱۹۹۰؛ استیر و همکاران، ۱۹۹۳؛ جو فروی و نی، ۱۹۹۷). سینگلر و دویت (۱۹۷۹) و پنینگ‌دوریس و همکاران (۱۹۸۳) بیان داشتند کارایی استفاده از تشعشع در قبل از پرشدن دانه و بعد از پرشدن دانه یکسان نمی‌باشد. این اختلاف به دلیل ترکیب بیوشیمیایی متفاوت بافت دانه از اجزای رویشی گیاه (همر و همکاران، ۱۹۹۵)، انتقال نیتروژن برگ‌ها به دانه‌های در حال رشد و هدررفت زیست توده به واسطه پیری برگ‌ها (موکاو و همکاران، ۱۹۹۳) است. از طرفی دیگر مشخص شده است در دماهای نامطلوب به دلیل کاهش در فعالیت آنزیم‌های دخیل در تولید ماده خشک از مقدار کارایی استفاده از تشعشع کاسته می‌شود (سلطانی، ۲۰۰۹).

با توجه توضیحات بالا، در هر روز قبل از محاسبه میزان ماده خشک تولیدی براساس رابطه ۶، باید کارایی استفاده از تشعشع مطابق رابطه زیر برای سن گیاه و میانگین دمای روزانه اصلاح گردد:

$$RUE = IRUE \times DVRUE \times TCFRUE \quad (8)$$

که در آن، RUE: مقدار کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی برای روز موردنظر پس از انجام اصلاح برای شرایط دمایی آن روز و سن گیاه، IRUE: مقدار کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی در شرایط مطلوب رشد قبل از شروع پرشدن دانه، DVRUE: ضریب اصلاحی کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی برای سن گیاه و TCFRUE: ضریب اصلاحی کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی برای دما (شکل ۳) می‌باشد.



شکل ۳- واکنش ضریب تصحیح کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی به دما در سویا.

مقدار IRUE باید به‌عنوان یک ورودی به مدل داده شود. انورس و همکاران (۱۹۸۴) IRUE سویا را $2/4$ گرم بر مگاژول و موکائو و همکاران (۱۹۹۳) نیز $0/88$ گرم بر مگاژول گزارش کردند. در مطالعه‌ای دیگر مقدار IRUE برای سویا بین $1/3-2/5$ گرم بر مگاژول گزارش شده است (سینکلر و موکاو، ۱۹۹۹). در این مدل مقدار IRUE برابر $1/8$ گرم بر مگاژول در نظر گرفته شد. مقدار DVRUE قبل از شروع رشد دانه سویا برابر ۱ و بعد از پرشدن برابر RRUE است. مقدار RRUE برابر با نسبت کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی در بعد از پرشدن دانه به قبل از پرشدن دانه است. در این مدل مقدار RRUE معادل $0/77$ در نظر گرفته شد (سلطانی، ۲۰۰۹). مقدار $0/77$ به این معنی است 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 برابر ۱۰ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد و دمای مطلوب بین ۲۰-۳۰ درجه سانتی‌گراد منظور گردید (شیبلیس و همکاران، ۱۹۸۷؛ جیپسون و مولن، ۱۹۹۰). با شروع رشد دانه، ماده خشکی که در آن تجمع می‌یابد به‌طور عمده ناشی از تولید روزانه ماده خشک می‌باشد. با این وجود ممکن است بخشی از نیازهای دانه به ماده خشک از طریق انتقال دوباره از اندام‌های رویشی مانند ساقه نیز تامین گردد.

برای پیش‌بینی سرعت رشد دانه‌ها و تشکیل عملکرد ناشی از تولید روزانه ماده خشک از مفهوم افزایش خطی شاخص برداشت (بیندی و همکاران، ۱۹۹۹؛ اسپات و سینکلر، ۱۹۸۵) اصلاح شده توسط سلطانی و همکاران (۲۰۰۵) استفاده شد. مطابق این رهیافت شاخص برداشت سویا به‌طور خطی در طول دوره پرشدن دانه افزایش می‌یابد. اسپات و سینکلر (۱۹۸۵) در آزمایش بر روی ۱۸ رقم سویا مقدار ضریب افزایش خطی در شاخص برداشت (DHI) را بین ۰/۰۱-۰/۱۳ در روز برآورد کردند. در پژوهشی دیگر سینکلر و همکاران (۲۰۰۳) مقدار DHI را ۰/۱۲ تخمین زدند. در این مدل این ضریب معادل ۰/۰۱ در روز در نظر گرفته شد. شاخص برداشت نسبت وزن دانه به کل ماده خشک است بنابراین افزایش در شاخص برداشت تا زمانی ادامه می‌یابد که حداکثر وزن دانه به‌دست آید و بعد از آن منحنی شاخص برداشت در مقابل زمان حرارتی یک حالت مسطح پیدا می‌کند (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۵).

ماده خشک فراهمی برای رشد دانه ناشی از انتقال دوباره در هر روز نیز با رابطه‌های زیر محاسبه گردید (گودریان و ون‌لار، ۱۹۹۴):

$$\text{TRLDM} = \text{BSGDM} \times \text{FRTRL} \quad (9)$$

$$\text{TRANSL} = \text{DTT} / (\text{TTSG} - \text{TTBSG}) \times \text{TRLDM} \quad (10)$$

که در آن، TRLDM : کل ماده خشک قابل انتقال دوباره (گرم در مترمربع)، BSGDM : ماده خشک کل در شروع پرشدن دانه‌ها، FRTRL : کسری از ماده خشک در شروع پرشدن دانه که قابل انتقال دوباره به دانه‌ها است، DTT : زمان حرارتی بر حسب درجه سانتی‌گراد روز، TTSG : زمان حرارتی از کاشت تا پایان پرشدن دانه‌ها بر حسب درجه سانتی‌گراد روز و TTBSG : زمان حرارتی از کاشت تا شروع پرشدن دانه‌ها بر حسب درجه سانتی‌گراد روز هستند. مقدار FRTRL یک متغیر ورودی است که در این مدل برابر ۰/۲ تخمین زده شد (سلطانی، ۲۰۰۹).

موازنه آب خاک: برای پیش‌بینی واکنش رشد، نمو و عملکرد گیاه به تغییرات آب خاک باید موازنه آب در عمق خاک شبیه‌سازی شود. در شبیه‌سازی موازنه آب خاک لازم است مقدار آب موجود در خاک به شکل روزانه محاسبه گردد (سلطانی، ۲۰۰۹). برای این منظور باید آب‌های ورودی به خاک از آب‌های خروجی از خاک کسر گردد:

$$SWC_i = SWC_{i-1} + ERAIN + IRGW_i - DRAIN_i - SEVP_i - Tr_i \quad (11)$$

که در آن، SWC_i : مقدار آب موجود در خاک در روز i ام، SWC_{i-1} : مقدار آب موجود در خاک در روز $i-1$ ام، $ERAIN$: مقدار بارندگی مؤثر، $IRGW_i$: مقدار آب ورودی در اثر آبیاری در روز i ام، $DRAIN_i$: میزان زهکشی عمقی که در روز i ام از محل ریشه خارج شده است، $SEVP_i$: مقدار تبخیر از سطح خاک و Tr_i : مقدار تعرق روزانه گیاه است. محاسبه‌های مربوط به تبخیر و تعرق و زهکشی مطابق روش سلطانی (۲۰۰۹) انجام شد. در جدول ۲ متغیرهای ورودی برای شبیه‌سازی موارنه آب به همراه مقادیر آن‌ها ارائه شده است.

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 جمع‌آوری شدند. به این ترتیب که آمار هواشناسی منطقه مورد نظر در سال‌های انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای به صورت یک فایل در اختیار مدل قرار گرفت. ورودی‌های مدیریت زراعی نیز مطابق گزارش آزمایش‌ها وارد گردید. برای مقایسه انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مشاهده شده از معادله خط رگرسیون (ضرایب a و b)، ضریب تبیین بین عملکرد مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و خط $1:1$ 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 (کوبایشی و سلام، ۲۰۰۰؛ ویلموت و همکاران، ۱۹۸۵):

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (12)$$

که در آن، P_i ، O_i و \bar{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.

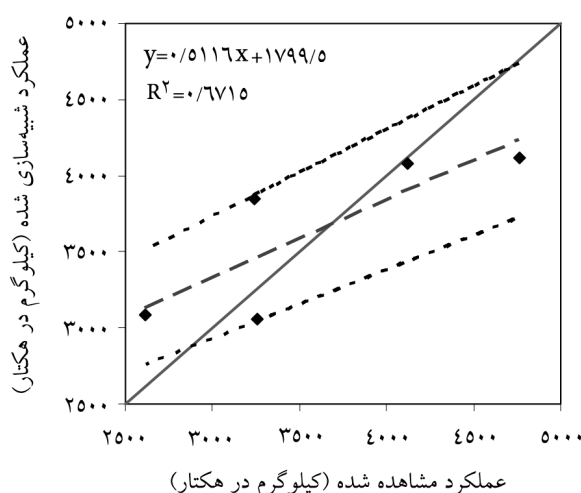
محل و سال آزمایش	عرض جغرافیایی	تیمار	منبع
مشهد، ۱۳۷۵-۷۶	۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه	مصرف کود و رژیم آبیاری	عزیزی، ۱۹۹۸
مشهد، ۱۳۷۴	۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه	تراکم و آرایش کاشت	احمدوند و کوچکی، ۱۹۹۶
مشهد، ۱۳۷۲	۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه	تراکم و تاریخ کاشت	نظامی و راشد، ۱۹۹۵
مشهد، ۱۳۶۹	۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه	تراکم و ارقام	پارسا و راشد، ۱۹۹۴
بجنورد، ۱۳۸۶	۳۷ درجه و ۲۰ دقیقه	کود و ارقام	حاتمی، ۲۰۰۹
شیروان، ۱۳۸۵	۳۷ درجه و ۹ دقیقه	تاریخ کاشت و ارقام	قربان‌زاده و همکاران، ۲۰۰۸

نتایج و بحث

دامنه داده‌های عملکرد دانه مشاهده شده بین ۴۸۰۰-۲۶۰۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۳۶۰۰ کیلوگرم در هکتار بود و عملکرد شبیه‌سازی شده دامنه‌ای بین ۴۱۰۰-۳۰۶۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۳۶۴۰ کیلوگرم در هکتار دارا بود. انحراف معیار عملکرد مشاهده شده و شبیه‌سازی شده به ترتیب ۷۵۳/۷۳ و ۴۷۰/۵۳ کیلوگرم در هکتار می‌باشد که بیانگر پراکندگی بیش‌تر داده‌های مشاهده شده می‌باشد. جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ۴۵۸/۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که ۱۲/۶ درصد هر دو میانگین عملکرد مشاهده شده و شبیه‌سازی شده بود. این در حالی است که ضریب تغییرات (CV) در آزمایش‌های مزرعه‌ای بین ۳۰-۲۰ درصد است. 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 ۴ عملکرد شبیه‌سازی شده دانه توسط مدل 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 (وان‌ایتروسوم 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 ($a=1799 \pm 759$ و $b=0/51 \pm 0/25$) بر مبنای حدود اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری با ضرایب خط ۱:۱ ($a=0$ و $b=1$) نشان ندادند. بنابراین می‌توان بیان نمود که داده‌ها به خوبی حول خط ۱:۱ قرار دارند. مقدار ضریب تبیین (R^2) ۶۷ درصد به دست آمد. در به‌کارگیری 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. شاخص تطابق برابر $0/85$ به دست آمد که در حد قابل قبولی می‌باشد (ویلموت و همکاران، ۱۹۸۵).



شکل ۴- مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده عملکرد دانه. خط راست میانی، خط چین و خطوط نقطه‌چین به ترتیب خط ۱:۱، خط رگرسیون و حدود اطمینان خط رگرسیون هستند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که امکان توصیف فرآیند نمو، رشد و تشکیل عملکرد با استفاده از توابع ساده که به تعداد محدودی متغیر وابسته هستند، وجود دارد. به‌طورکلی این مدل می‌تواند برای پیش‌بینی عملکرد سویا در محدوده تاریخ کاشت‌های رایج شمال خراسان به‌کار گرفته شود. 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 فنولوژیک نیز سنجیده شود.

منابع

1. Amir, J., and Sinclair, T.R. 1991. A model of water limitation on spring wheat growth and yield. *Field Crops Res.* 29: 59-69.
2. 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.
3. Bindi, M., Sinclair, T.R., and Harrison, J. 1999. Analysis of seed growth by linear increase in harvest index. *Crop Sci.* 39: 486-493.
4. Boote, K.J., and Pickering, N.B. 1994. Modeling photosynthesis of row crop canopies. *Hort. Sci.* 29: 1423-1434.
5. Boote, K.J., Jones, J.W., Hoogenboom, G., and Pickering, N.B. 1998. The CROPGRO model for grain legumes. In: Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G., Thornton, P.K. (Eds), *Understanding options for agricultural production.* Kluwer Academic Pub. Dordrecht, Pp: 99-128.
6. Ghorbanzadeh, M. 2008. The effect of planting date on soybean quality and quantity in Shirvan. Research Report. Agricultural College of Shirvan. 70Pp. (In Persian)
7. Gipson, L.R., and Mullen, R.E. 1990. Influence of day and night temperature on soybean seed yield. *Crop Sci.* 39: 98-104.
8. Goudriaan, J., and van Laar, H.H. 1994. *Modelling potential crop growth processes.* Kluwer Academic Pub. Dordrecht, 238p.
9. 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.
10. Hammer, G.L., Sinclair, T.R., Boote, K.J., Wright, G.C., Meinke, H., and Bell, M.J. 1995. A peanut simulation model: I. Model development and testing. *Agron. J.* 87: 1085-1093.
11. 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.
12. Jeuffroy, M.H., and Ney, B. 1997. Crop physiology and productivity. *Field Crop Res.* 53: 3-16.
13. Jones, C.A., and Kiniry, J.R. 1986. CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development. Texas A & M University. Press, College Station.
14. Kobayashi, K., and Salam, M.U. 2000. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. *Agron. J.* 92: 345-352.
15. Lindquist, J.L., Arkebauer, T.J., Walters, D.T., Cassman, K.G., and Dobermann, A. 2005. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. *Agron. J.* 97: 72-78.
16. 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.

17. 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.
18. McCown, R.L., Hammer, G.L., Hargreaves, J.N.G., Holzworth, D., 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.
19. 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.
20. Muchow, R.C. 1985. An analysis of the effects of water deficits on grain legumes grown in a semi-arid tropical environment in terms of radiation interception and its efficiency of use. *Field Crops Res.* 11: 309-323.
21. 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.
22. Muchow, R.C., Robertson M.J., and Pengelly B.C. 1993. Radiation-use efficiency of soybean, mungbean and cowpea under different environmental conditions. *Field Crops Res.* 32: 1-16.
23. Nezami, A., and Rashed, M. 1995. The study effects of planting date and density on soybean yield and yield components. *J. Agric. Sci. Technol.* 9: 22-37. (In Persian)
24. 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.
25. Passioura, J.B. 1996. Simulation models: science, snake oil, education, or engineering? *Agron. J.* 88: 690-716.
26. Penning de Vries, F.W.T., Van laar, H.H., and Chardon, M.C.M. 1983. Bioenergetics of growth of seeds, fruits and storage organs. In: proceeding of the symposium on potential productivity of field crops under different Environment. IRRI, Los Banos, Philippines, Pp: 37-59.
27. Rucell, G., Jarvis, P.G., and Monteith, J.L. 1989. Absorption of radiation by canopies and stand growth. P 21-39 In: Russell. G., Marshall, B., and Jarvis, P.G. (eds), *Plant Canopies: Their Growth, Form and Function*. Cambridge University Press.
28. Shibles, R., Secor, J., and Ford, D.M. 1987. Carbon assimilation and metabolism. In: Wilcox JR (ed) *soybean: improvement, production and use*. 2nd edn. 16 Agron Ser. ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wisconsin, Pp: 479-588.
29. Sinclair, T.R., and de WIT, C.T. 1979. Analysis of carbon and nitrogen limitations to soybean yield. *Agron. J.* 68: 319-324.

30. Sinclair, T.R. 1986. Water and nitrogen limitations in soybean grain production: I. Model development. *Field Crops Res.* 15: 125-141.
31. Sinclair, T.R., and Horie, T. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: A review. *Crop Sci.* 29: 90-98.
32. Sinclair, T.R., Kitani, S., Hinson, K., Bruniard, J., and Horie, T. 1991. Soybean flowering date: linear and logistic models based on temperature and photoperiod. *Crop Sci.* 31: 786-790.
33. Sinclair, T.R., and Muchow, R.C. 1999. Radiation use efficiency. *Adv. Agron.* 35: 215-265.
34. Sinclair, T.R., Farias, J.R., Neumaier, N., and Nepomuceno, A.L. 2003. Modeling nitrogen accumulation and use by soybean. *Field Crop Res.* 81: 149-158.
35. Soltani, A., Ghassemi-Golezani, K., Rahimzadeh-Khooie, F., and Moghaddam, M. 1999. A simple model for chickpea growth and yield. *Field Crops Res.* 62: 213-224.
36. Soltani, A., Gholipoor, M., and Hajizadeh, H. 2005. SBEET: A simple model to simulate growth and yield of sugar beet. *J. Agric. Sci. Technol.* 19: 11-26.
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.
38. Soltani, A., Hammer, G.L., Torabi, B., Robertson, M.J., and Zeinali, E. 2006. Modeling chickpea growth and development: Phonological development. *Field Crops Res.* 99: 1-13.
39. Soltani, A. 2009. *Mathematical Modeling in Field Crops.* JDM Press. (In Persian)
40. Soltani, A., and Sinclair, T.R. 2011. A simple model for chickpea development, growth and yield. *Field Crops Res.* 124: 252-260.
41. Speath, S.C., and Sinclair, T.R. 1985. Linear increase in soybean harvest index during seed-filling. *Agron. J.* 77: 207-211.
42. Squire, G.R. 1990. *The Physiology of Tropical Crop Production.* CAB International, Wallingford, UK, 236p.
43. Steel, R.G.D., and Torrie, J.H. 1985. *Principles and Procedures of Statistics –A Biometrical Approach.* McGraw-Hill Book Co., Mexico, 622p.
44. Steer, B.T., Milory, S.P., and Kamona, R.M. 1993. A model to stimulate the development growth and yield of irrigated sunflower. *Field Crops Res.* 32: 83-99.
45. 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. Agron.* 18: 201-234.
46. 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.

47. Wahabi, A., and Sinclair, T.R. 2005. Simulation analysis of relative yield advantage of barley and wheat in an eastern Mediterranean climate. *Field Crops Res.* 91: 287-296.
48. Weiss, E.A. 2000. Oil seed crops. Blackwell Sci. Ltd. Pp: 165-205.
49. Williams, J.R., Jones, C.A., Kiniry, J.R., and Spanel, D.A. 1989. The EPIC crop growth model. *Trans. ASAE.* 32: 497-510.
50. 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.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. Plant Prod. Res. Vol. 21 (2), 2014
<http://jopp.gau.ac.ir>

A simple model to simulate growth and yield of soybean

***Gh.A. Rassam¹ and A. Soltani²**

¹Assistant Prof., Dept. Plant Production, Shirvan Higher Education Complex,
Shirvan, ²Professor, Dept. Agronomy, Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

Received: 08/16/2013; Accepted: 07/05/2014

Abstract

Soybean is one of the most important oil crops in Iran. The objective of this study was to develop a soybean growth and yield simulation model for the use in analyzing the effects of climate, soil, crop management and cultivar characteristic (habit cultivar) on soybean yield under north Khorasan conditions. Crop growth aspects were arranged in sub-models including phenological development, leaf area variations, dry matter production and partitioning. A soil water balance sub-model was included to simulated soil water dynamics and severity of water stress. The model uses a daily time step and readily available weather, soil and crop management. The model was tested for north Khorasan conditions. The observed grain yield varied from 2600 to 4800 kg⁻¹ha with mean 3600 kg⁻¹ha. Also, range for simulated grain yield was between 3060 to 4100 kg⁻¹ha with mean 3640 kg⁻¹ha. The regression coefficients of observed grain yield against simulated grain yield ($a=1799\pm 759$, $b=0.51\pm 0.25$) on based confidence limits 95% hadn't significant difference with 1:1 line coefficients ($a=0$, $b=1$). The coefficient of determination (R^2) and index of agreement (d) was 0.67 and 0.85, respectively. Root mean square error (RMSE) and coefficient of variations were estimated 458.3 kg⁻¹ha and 12.6%, respectively. It was concluded that this model could be used for estimation of grain yield against with proper precision under north Khorasan conditions.

Keywords: Soybean, Modeling, Yield

* Corresponding Author; Email: rassammf@yahoo.com

