

تعیین بهترین مدل پیش‌بینی عملکرد محصول سویا در مازندران

داود اکبری نودهی^{*۱}

۱-دانشگاه آزاد، واحد قائمشهر، گروه آبیاری، قائمشهر، ایران

تاریخ وصول: ۹۱/۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۳

چکیده

به منظور تعیین مناسب‌ترین تابع تولید جهت پیش‌بینی عملکرد سویا، چهار مدل مورد بررسی قرار گرفت. چهار معادله جنسن^(۱) (۱۹۶۸)، استوارت و همکاران^(۲) (۱۹۷۷)، رابطه مین هاس و همکاران^(۳) (۱۹۷۴) و براس و کوردوا^(۴) (۱۹۸۱) جهت بررسی انتخاب گردید. جهت بدست آوردن پارامترهای مورد نیاز معادلات، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و هفت تیمار و به مدت یک سال انجام گرفت. نتایج بدست آمده از داده‌های مزرعه‌ای حاصل از آزمایش با مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر فاکتور حساسیت برای مرحله رشد رویشی، گلدهی و پرشدن دانه به ترتیب برای معادله جنسن، ۰/۲۳، ۰/۸۲ و ۱/۱، مین هاس و همکاران ۲/۷۳، ۲/۷۲ و ۳/۴، استوارت و همکاران ۰/۲۵، ۰/۷۳ و ۱/۰۵ و براس و کوردوا ۰/۲۵، ۰/۷۳ و ۱/۰۵ بدست آمد. براساس داده‌های فاکتور حساسیت مشخص گردید که در تمام مدل‌ها این فاکتور برای مرحله پرشدن دانه دارای بیشترین مقدار و بعد از آن مرحله گلدهی و رویشی بوده است. بنابراین برای سویا حساس‌ترین مرحله رشد دوره پرشدن دانه می‌باشد. ارزیابی پیش‌بینی عملکرد مدل‌ها با شرایط مزرعه‌ای نشان داد که مدل‌ها برآورد خوبی داشته‌اند اما مدل براس و کوردوا اصلاح شده (۱۹۸۱) پیش‌بینی عملکرد بهتری داشته است.

واژه‌های کلیدی: تابع تولید، سویا، فاکتور حساسیت، مازندران

E-mail: dakbarin@yahoo.com

* نویسنده مسئول

1. Jensen
2. Stewart
3. Minhas
4. Bras and Corodova

مقدمه

ارتباط بین عملکرد محصول و آب بکار برده شده، تابع تولید نسبت به آب یا تابع تولید نامیده می‌شود. تابع تولید یک مفهوم کلی و کاربردی است. رابطه‌ای ریاضی بین میزان آب مصرفی و کل تولید ماده خشک می‌باشد. یا رابطه‌ای بین محصول قابل فروش در مقابل تبخیر و تعرق یا مقدار آب مصرفی در طی فصل آبیاری است. کیپ کوریر^۱ (۲۰۰۲) ارتباط بین عملکرد و آب بکار برده شده را با عنوان تابع تولید نسبت به آب (w_{pf}) معرفی نموده است. در صورتی که رابطه بین عملکرد محصول و تبخیر- تعرق را با عنوان تابع گیاه-آب- عملکرد (CWP_F) نشان داده است. وی بیان نمود که CWP_F در مدیریت کاربرد آب بسیار مفید است. CWP_F بسته به نوع گیاه و شرایط اقلیمی متفاوت می‌باشد (۱۱). آل جمال و همکاران^۲ (۲۰۰۰) حدود ۳۰۰ مدل CWP_F را جمع آوری و صحت آن‌ها را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها بیان نمودند که تمام مدل‌ها سال به سال و مزرعه به مزرعه و در مراحل مختلف رشد متفاوت می‌باشد (۴). رینالدز و براس^۳ (۱۹۸۱) توجه نمودند که هیچ مدل عمومی وجود ندارد که قابل کاربرد برای همه محصولات، همه فصول و اقلیم باشد. دلیل این امر را تاثیر متغیرهای وابسته و غیر وابسته مدل CWP_F بر روی پارامترهای گیاهی و محیطی دانستند (۱۵). اسمیت^۴ (۱۹۹۲) اظهار می‌دارد CWP_F ترکیبی از مدل‌های شبیه سازی آبیاری، خاک و گیاه می‌باشد که عملکرد محصول را تحت شرایط کمبود تبخیر و تعرق شبیه سازی می‌کند (۱۶). به منظور استفاده از چنین مدل‌های شبیه سازی خاک- گیاه در مدل‌های شبیه سازی عملکرد نسبی، شاخص‌های حساسیت تنش رطوبت برای مراحل مختلف رشد گیاه به صورت پارامترهای ورودی مورد نیاز می‌باشد. دو

شکل عمومی معادلات CWP_F وجود دارد. یک شکل از این معادلات نسبت عملکرد محصول را به تبخیر- تعرق فصلی ارتباط می‌دهد (۱۰، ۶) و شکل دیگری که کاهش عملکرد را به کم آبی در بعضی از مراحل رشد گیاه که معمولاً شامل مراحل فیزیولوژی رشد گیاه می‌باشد، ارتباط می‌دهد (۱۹ و ۱۲، ۱۰). معادلات CWP_F های که کاهش عملکرد محصول را به کم آبی در بعضی از مراحل رشد ارتباط می‌دهد، دو دسته می‌باشند: یک دسته به صورتی هستند که در آن‌ها فرض شده است که کم آبی در هر یک از مراحل رشد اثر جداگانه‌ای بر عملکرد دارد. در دسته دوم کم آبی در هر مرحله وابسته به مرحله دیگر می‌باشد. این دو نوع توابع در قالب نوع حاصل ضرب و نوع حاصل جمع می‌باشند (۲۱). در نوع حاصل ضربی کاهش آب مصرفی در دو یا مراحل بیشتر رشد، عملکرد محصول را به صورت حاصل ضرب هر یک از مراحل رشد نشان می‌دهد. در صورتیکه در نوع مجموع اثر کم آبی در دو یا مراحل بیشتری از رشد، ممکن است عملکرد را به صورت مجموع کاهش دهد. مثال نمونه از CWP_F های حاصل ضرب رابطه جنسن (۱۹۶۸)، معادله مین هاس و همکاران (۱۹۷۴) و نمونه مجموع، رابطه استوارت و همکاران (۱۹۷۷) و براس و کوردوا (۱۹۸۱) می‌باشد (۸، ۱۲، ۱۸ و ۵). سوینیت و کرامر^۵ (۱۹۷۷) بیان نمود کمبود آب در بسیاری از مراحل نمو سویا عملکرد محصول را کاهش داده اما اثرات منفی تنش در طی گل‌دهی و تشکیل بذر و پر شدن دانه خیلی مهم می‌باشد (۱۷). پالمر و همکاران^۶ (۱۹۹۵) اظهار داشتند چنانچه گیاه سویا در مرحله گل‌دهی، سه تا چهار هفته تحت شرایط خشکی قرار بگیرد، غلاف‌ها تشکیل نمی‌شوند و یا خیلی کم تشکیل می‌شوند (۱۴). دورنبوس و کاسام^۹ (۱۹۷۹) مقدار نیاز آبی سویا را بسته به آب و هوا و طول دوره رشد برای برداشت حداکثر تولید ۴۵۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر بیان نمودند.

⁷ - Siovnit and Kramer

⁸ - Palmer

⁹ - Doorenbos and Kassam

¹ - Kipkorir

² - Water production function

³ - Crop water production function

⁴ - Al-Jamal

⁵ - Rhenals and Bras

⁶ - Smith

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه در شمال شهر نکا در عرض ۳۶ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۴ متر از سطح دریا قرار دارد. متوسط بارندگی منطقه ۶۰۰ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت منطقه ۱۷ درجه سانتی‌گراد، متوسط رطوبت نسبی ۷۰٪ و متوسط تبخیر از تشتک ۱۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد (جدول ۱). خاک منطقه مورد آزمایش سیلتی‌رسی بوده که در جدول ۲ برخی از خصوصیات آن‌ها نشان داده شده است.

مرحله گلدهی را بحرانی‌ترین دوره رشد سویا به تنش آبی معرفی نمودند (۶). ویرا و همکاران^{۱۰} (۱۹۹۲) گزارش کردند که تنش خشکی در طی دوره پر شدن دانه در سویا کاهش معنی‌داری را (از ۳۲ درصد تا ۴۲ درصد) در عملکرد موجب می‌شود. آن‌ها اظهار داشتند که تنش خشکی در طی نمو بذر عملکرد را کاهش داده، دوره پر شدن دانه را کوتاه نموده و اندازه نهایی بذر را کم می‌کند. در تنش‌های شدید، بذر خیلی کوچک، چروکیده و بد شکل می‌شود. از طرفی رابطه میزان مصرف آب و تبخیر-تعرق با عملکرد محصول جهت مدیریت آب مناسب می‌باشد (۲۲). اورگاز و همکاران^{۱۱} (۱۹۹۲) رابطه میزان مصرف آب و عملکرد را غیرخطی و رابطه تبخیر-تعرق با عملکرد را خطی بیان نمودند (۱۳). کیپ کوریر و همکاران (۲۰۰۲) بیان نمودند که تابع تولید رابطه بین عملکرد محصول و آب بکار برده شده را نشان می‌دهد. ایشان اظهار داشتند به واسطه نفوذ عمقی تابع تولید به صورت غیرخطی می‌باشد (۱۱). بنابراین جهت تعیین معادلات حاصلضرب و مجموع، نیاز به تعیین مراحل بحرانی رشد گیاه مورد نظر و برآورد مقدار کم آبی و نیاز گیاه در هر یک از مراحل رشد می‌باشد. در این تحقیق هدف بررسی معادلات مختلف برآورد عملکرد نسبی محصول و تعیین بهترین زمان برای اعمال کم آبیاری با برآورد مقادیر ضریب واکنش عملکرد و ضریب حساسیت عملکرد و بررسی رابطه بین مقادیر آب مصرفی، تبخیر-تعرق با مقدار عملکرد و انتخاب بهترین رابطه حاکم بین مقادیر ذکر شده و عملکرد می‌باشد.

^{۱۰} - Vieira^{۱۱} - Orgaz

جدول ۱- پارامترهای اقلیمی منطقه مورد آزمایش (سال ۱۳۸۹)

ماه	درجه حرارت ماکزیمم (سانتی گراد)	درجه حرارت مینیمم (سانتی گراد)	بارندگی (میلی متر)	تبخیر از تشک (میلی متر در روز)	سرعت باد (متر در روز)	رطوبت نسبی (درصد)
خرداد	۲۶	۲۰/۶	۰/۳	۲۱۵/۳	۲/۳	۷۰
تیر	۲۹	۲۴	۲/۶	۲۲۷/۸	۲/۷	۷۱
مرداد	۲۹	۲۳	۳/۵	۲۳۶	۲/۷	۶۷
شهریور	۲۶	۲۰/۷	۲۳/۸	۱۷۰	۲/۳	۷۱

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق نمونه برداری (سانتی متر)	ظرفیت مزرعه (%)	نقطه پژمردگی دائم (%)	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	EC×10 ³ dS/m	pH	درصد مواد خشتی شد T.N.V %	کربن آلی O.C %	نیترژن (%)	فسفر قابل جذب (میکرو گرم در گرم)	پتاسیم قابل جذب (میکرو گرم در گرم)
۰-۳۰	۲۸/۷	۱۴/۱	۱/۳۱	۰/۶۶	۷/۶	۲۴	۱/۹	۰/۱۶	۳۷	۳۸۰
۳۰-۶۰	۲۷/۹	۱۳/۸	۱/۳۴	--	--	--	--	--	--	--

دانه (شکل گیری). تیمارهای آبیاری به صورت جوی و پشته‌ای در ابعاد ۵×۴ با فاصله ردیف‌های ۶۰ سانتی متر با ۵ ردیف کشت و فاصله گیاهان در روی ردیف‌های ۵ سانتی متر به مدت یک سال زراعی انجام گردید. مقدار آب آبیاری تیمارها به صورت شیاری و با استفاده از کنتور حجمی و بر مبنای رساندن رطوبت خاک در عمق ریشه (عمق ریشه بسته به مراحل رشد گیاه متفاوت در نظر گرفته شده است) به حد ظرفیت زراعی تعیین گردید. سطح آب زیرزمینی در طی انجام آزمایش بین ۵ تا ۱۰ متر نوسان داشته است. مقدار عمق آب آبیاری به صورت رابطه زیر محاسبه گردید:

$$d = \frac{(\theta_{fc} - \theta_w) \cdot Z \cdot \rho_b}{100} \quad (1)$$

آزمایش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و ۷ تیمار آبی بر روی محصول سویا رقم جی کی به صورت بهاره انجام شد. تیمارهای آبیاری در مراحل مختلف رشد بر اساس تقسیم بندی مراحل حساس رشد گیاه سویا توسط دورنبوس و کاسام (۱۹۷۹) به قرار زیر بوده‌اند:

TR₀: آبیاری در تمام مراحل رشد (شاهد)، TR₁: آبیاری با تنش رطوبتی در مرحله رشد رویشی، TR₂: آبیاری با تنش رطوبتی در مرحله رشد گل‌دهی، TR₃: آبیاری با تنش رطوبتی در مرحله پرشدن دانه (شکل گیری)، TR₄: آبیاری با تنش رطوبتی در مرحله رشد رویشی و گل‌دهی، TR₅: آبیاری با تنش رطوبتی در مرحله رشد رویشی و پر شدن دانه (شکل گیری)، TR₆: آبیاری با تنش رطوبتی در مرحله رشد گل‌دهی و پر شدن

که در آن δ فاکتور حساسیت نسبی گیاه به کمبود آب می‌باشد.

مدل حاصل جمع ارائه شده توسط براس و کوردوا^{۱۶} (۱۹۸۱) به صورت زیر می‌باشد (۵):

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \sum_{i=1}^N A_i \left(\frac{ETa}{ETm} \right)_i \quad (5)$$

که در آن A شاخص حساسیت به خشکی براس و کوردوا می‌باشد.

ارزیابی مقادیر عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده و عملکرد پیش‌بینی شده با مدل‌های مختلف پارامترهای آماری ضریب باقی‌مانده جرم (CRM)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، کارایی مدل سازی (EF) و انحراف معیار (CV) مورد بررسی قرار گرفت. حداقل مقدار (RMSE) صفر است. حداکثر EF برابر یک می‌باشد. EF و CRM می‌توانند مقادیر منفی داشته باشند. مقدار RMSE نشان می‌دهد که برآورد بیش از حد و یا کمتر از حد مدل در مقایسه با مشاهدات (اندازه‌گیری‌ها) چقدر است. مقدار شاخص EF، مقادیر پیش‌بینی‌ها را با میانگین اندازه‌گیری‌ها مقایسه می‌کند. مقدار منفی EF بیانگر آن است که میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده برآورد بهتری از مقادیر پیش‌بینی شده دارد. شاخص CRM نشانگر تمایل مدل برای برآورد بیش از حد و یا کمتر از حد و در مقایسه با اندازه‌گیری‌ها است. چنانچه تمامی مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده با هم برابر شوند، مقدار عددی شاخص‌ها CRM، RMSE برابر با صفر و مقدار EF برابر با ۱ خواهد بود (۹). در پایان اجرای این تحقیق، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری MSTAT-C انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۰.۰۵ انجام شد.

که در آن، Θ_{fc} رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی (%)، Θ_w رطوبت وزنی خاک در زمان آبیاری (%)، Z عمق ریشه (سانتی متر) و ρ_b وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم در سانتی متر مکعب) می‌باشد. اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک به صورت وزنی و تا عمق ۹۰ سانتی متری صورت گرفته است. ET برای تیمارهای جداگانه با استفاده از معادله بیلان آب بصورت $ET = P + I + \Delta S - D_p$ بدست آمد. در این معادله ΔS تغییرات ذخیره آب در ابتدا و انتهای فصل رشد (mm)، P بارندگی (mm)، I مقدار آب آبیاری (mm) و D_p آب زهکشی شده می‌باشد. از آنجا که مقدار آب آبیاری فقط به اندازه رساندن رطوبت خاک تا رطوبت ظرفیت مزرعه مورد استفاده قرار گرفته است، بنابراین از مقدار آب زهکشی شده صرف‌نظر گردیده است. جنسن (۱۹۶۸) یک مدل حاصلضرب را جهت برآورد عملکرد نسبی ارائه داد (۸):

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \prod_{i=1}^N \left[\left(\frac{ETa}{ETm} \right)^{\lambda_i} \right] \quad (2)$$

که در آن λ_i ضریب حساسیت گیاه به کم آبی، N تعداد مراحل رشد، ETa تبخیر-تعرق واقعی، ETm تبخیر-تعرق حداکثر، Y_a عملکرد واقعی و Y_m عملکرد حداکثر می‌باشد. استوارت و همکاران (۱۹۷۷) یک مدل مجموع جهت عملکرد فصلی ارائه نمودند (۱۸):

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - \sum_{i=1}^N \left[K_{y,i} \left(1 - \frac{ETa}{ETm} \right) \right] \quad (3)$$

مقدار K_y فاکتور حساسیت عملکرد محصول است که بسته به شرایط محلی، اقلیم، خاک، محصول، مدیریت زراعی و برنامه آبیاری متفاوت است. رابطه مین هاس و همکاران (۱۹۷۴) به صورت زیر می‌باشد (۱۲):

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \prod_{i=1}^N \left[1 - \left(1 - \frac{ETa}{ETm} \right)_i^{\delta_i} \right] \quad (4)$$

¹⁶ Bras and Corodova

نتایج و بحث

جدول تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های عملکرد کل بوته، عملکرد دانه و راندمان مصرف آب در جدول‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. بر اساس جدول ۳، اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد کل، عملکرد دانه و راندمان مصرف آب معنی‌دار بوده است. بر اساس داده‌های جدول ۴ بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار شاهد با آبیاری در تمام مراحل رشد و کمترین عملکرد دانه مربوط به تیمار TR₆ با تنش در مرحله رشد گل‌دهی و پر شدن دانه می‌باشد. تنش در مرحله گل‌دهی بر تعداد دانه و در مرحله پر شدن دانه در وزن دانه‌ها تاثیرگذار می‌باشد. بنابراین تنش در این مرحله، کاهش عملکرد را به همراه داشته است. با بررسی تیمارهای TR₁ تا TR₃ که تنش در هر یک از مراحل رشد را نشان می‌دهد، مشخص گردیده است که در تیمار TR₂ که تنش رطوبتی در مرحله رشد گل‌دهی است، کاهش شدید عملکرد مشاهده می‌شود. اگر چه به خاطر حجم بالای تیمارها، CV عملکرد دانه تا حدودی بالا بوده و از نظر آماری تیمارهای TR₁، TR₂ و TR₃ در یک گروه آماری قرار دارند. سوائینیت (۱۹۷۷)، پالمر و همکاران (۱۹۹۵)، دورنبوس و کاسام (۱۹۷۹) نیز گزارش نمودند، مرحله گل‌دهی حساس‌ترین مرحله رشد نسبت به کم آبی می‌باشد (۱۷، ۴ و ۶). دانشیان و همکاران (۱۳۷۸) اظهار نمودند که اعمال تنش رطوبتی در مرحله گل‌دهی باعث بیشترین کاهش عملکرد (۸۰٪) در سویا می‌شود (۲). این در حالی است که ویرا و همکاران (۱۹۹۲) گزارش کردند که تنش خشکی در طی دوره پر شدن دانه در سویا کاهش معنی‌داری (از ۳۲ درصد تا ۴۲ درصد) در عملکرد را موجب می‌شود (۲۲). بعد از مرحله گل‌دهی تیمار TR₃ (تنش در مرحله پر شدن دانه) نسبت به کم آبی حساسیت نشان داده و مرحله رشد رویشی حساسیت کمتری نسبت به دو مرحله دیگر

داشته است. مقدار آب مصرفی برای سویا در منطقه مورد مطالعه ۳۶۷ میلی‌متر بدست آمده است. البته باید به مقدار ذکر شده حدود ۷۰ میلی‌متر آب آبیاری اولیه برای جوانه زدن بذر را اضافه نمود. حداکثر کارایی مصرف آب (WUE) از نظر محصول دانه ۱/۶۱ کیلوگرم در مترمکعب مربوط به تیمار TR₁ (تنش در مرحله رشد رویشی) بود. کمترین کارایی مصرف آب مربوط به تیمار TR₆ با تنش در مرحله رشد گل‌دهی و پر شدن دانه بوده است (جدول ۴). نتایج نشان می‌دهد که با تنش آبی در مراحل حساس مثل گل‌دهی و پر شدن دانه راندمان مصرف آب کاهش داشته است و در مرحله رشد رویشی با کاهش آب مصرفی کاهش زیاد عملکرد مشاهده نگردیده و در نتیجه راندمان مصرف آب بالاترین مقدار را داشته است. گارسید و همکاران^{۱۳} (۱۹۹۲) نیز در حالت کلی افزایش راندمان مصرف آب در سویا را به ازای کاهش مصرف آب گزارش نمودند (۷). بر اساس داده‌های جدول ۴ بیشترین عملکرد کل مربوط به تیمار TR₀ و به میزان ۱۶۴۸۰ کیلوگرم در هکتار و حداقل آن در تیمار TR₆ و به میزان ۸۴۱۰ کیلوگرم اتفاق افتاد. بر این اساس تنش در مرحله رشد رویشی تاثیر زیادی بر میزان عملکرد کل داشته است. به طور کلی از نظر عملکرد کل بیولوژیک بیشترین مقدار در حالت آبیاری کامل و با اعمال تنش در مرحله رشد رویشی کاهش عملکرد کل مشاهده شد و حداقل در تیمار آبیاری در تمام مراحل رشد بدست آمد. یحیایی (۱۳۸۶) در مطالعه سویا به این نتیجه رسید که آبیاری کامل بیشترین میزان عملکرد کل را داشته و با افزایش تنش آبی این میزان در تیمارهای دیگر کاهش می‌یابد که در این تحقیق نیز همین نتیجه حاصل شد. (۳)

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس عملکرد و اجزا عملکرد سویا

WUE	میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییرات
	عملکرد دانه	عملکرد کل بوته		
۰/۰۷۴	۱۱۰۱۴۰	۴۲۳۴۸۳	۲	تکرار
۰/۱۵۷*	۱۸۴۳۶۰۹**	۲۲۶۳۶۰۳۸**	۶	تیمار
۰/۰۵۱	۳۶۳۳۳۰	۱۰۵۹۰۰۶	۱۲	خطا
۱۶/۸	۱۵	۱۰		(%) CV

مناسب صورت بگیرد و همچنین برای جوانه زنی یک آبیاری در ابتدای فصل انجام شود، می‌توان آبیاری در مرحله رشد رویشی را حذف نمود. همچنین حداکثر مقدار آب داده شده در سال زراعی ۹۰-۸۹ بر اساس داده های جدول ۴ مقدار ۳۵۰ میلی‌متر بدست آمده است. قاجار سپانلو و بهمنیار (۱۳۸۳) مقدار ۳۴۰ میلی‌متر را برای ارقام مختلف سویا در منطقه ارائه نمودند (۱).

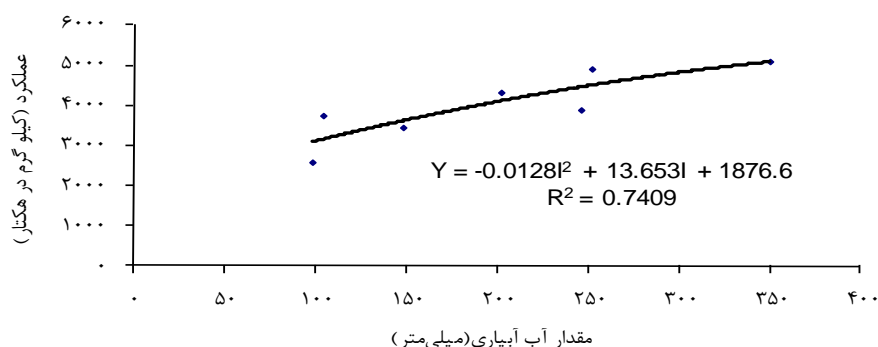
با توجه به داده‌های جدول ۴ کاهش ۲۸ درصدی آب آبیاری در تیمار TR₁ (تنش در مرحله رشد رویشی) نسبت به تیمار شاهد (TR₀) کاهش ۳/۶ درصد کاهش عملکرد مشاهده گردیده است. همچنین در تیمار TR₃ (تنش در مرحله پر شدن) با کاهش ۴۲ درصدی آب آبیاری تنها ۱۵ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد مشاهده گردیده است. با توجه به داده‌های جدول ۴ اگر در مراحل دیگر رشد آبیاری به مقدار مناسب و در زمان

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد و اجزا عملکرد سویا، مقدار آب آبیاری، مقدار آب مصرفی و نسبت عملکرد

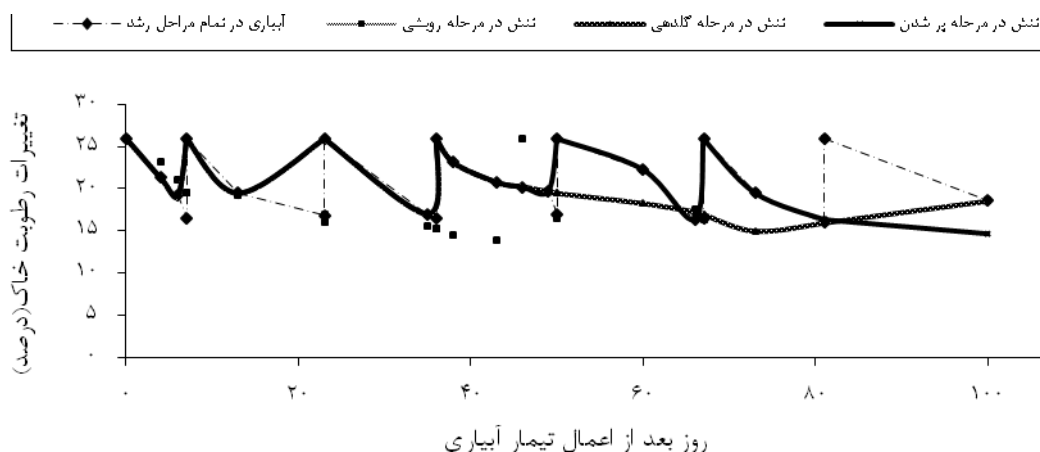
سطوح آبیاری	آب آبیاری (میلی‌متر)	عملکرد کل بوته (کیلو گرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلو گرم در هکتار)	آب مصرفی (میلی‌متر)	راندمان مصرف آب (دانه) (کیلو گرم بر متر مکعب)
TR ₀	۳۵۰	۱۶۴۸۰a	۵۱۰۰a	۳۶۷	۱/۳۹ ab
TR ₁	۲۵۲	۱۳۲۶۰abc	۴۹۱۴ab	۳۰۵	۱/۶۱ a
TR ₂	۲۴۶	۱۵۸۵۰ab	۳۸۹۲bcd	۳۲۴	۱/۲ b
TR ₃	۲۰۲	۱۵۴۱۰abc	۴۳۲۹abc	۳۴۱	۱/۲۷ b
TR ₄	۱۴۸	۱۲۵۰۰c	۳۴۵۵cd	۲۶۴	۱/۳ ab
TR ₅	۱۰۴	۱۲۹۷۰bc	۳۷۵۲bcd	۲۷۱	۱/۳۸ ab
TR ₆	۹۸	۸۴۱۰d	۲۵۹۰d	۲۲۵	۰/۸۴ B

افزایش مصرف آب، عملکرد به صورت غیر خطی افزایش می‌یابد. کیپ کوریر و همکاران (۲۰۰۲) و اورگاز و همکاران (۱۹۹۲) نیز رابطه غیر خطی بین آب آبیاری و عملکرد محصول را بیان نمودند (۱۱).

بر اساس نتایج بدست آمده تابع تولید سویا که بیانگر چگونگی ارتباط بین آب مصرفی سویا و تولید متناظر با آن می‌باشد، مطابق شکل ۱ استخراج گردید. تابع بدست آمده از نوع درجه دوم می‌باشد. بر اساس شکل مزبور با



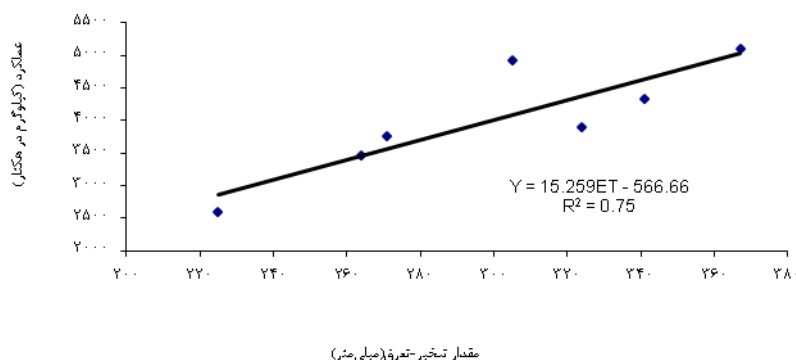
شکل ۱- رابطه بین میانگین مقدار آب مصرفی و عملکرد سویا



شکل ۲- تغییرات رطوبت خاک تیمارهای مختلف در طی آزمایش

می باشد. به عبارت دیگر هر کاهش در تبخیر- تعرق باعث کاهش عملکرد شده است. در شکل ۳ عرض از مبدا منفی است. به عبارت دیگر در عملکرد صفر تبخیر- تعرق برابر ۳۷/۱ میلی متر بدست آمده است. این مقدار تبخیر- تعرق را به عنوان برآوردی از تبخیر از سطح خاک در نظر می گیرند. بنابراین سهم تبخیر از تبخیر- تعرق در آزمایش حدوداً برابر ۳۷ میلی متر بوده است.

در شکل ۲ تغییرات رطوبت خاک برای تیمارهای مختلف آبیاری نشان داده شده است. مقدار تبخیر- تعرق با توجه به تغییرات رطوبت خاک برای تیمارهای مختلف بدست آمد
در شکل ۳ تغییرات مقدار محصول نسبت به تبخیر- تعرق رسم شده است. بر اساس شکل مزبور مشاهده گردیده است که تابع تولید نسبت به تبخیر- تعرق خطی



شکل ۳- رابطه میزان تبخیر و تعرق و عملکرد محصول سویا بهاره

(۱۹۸۱) و استوارت و همکاران (۱۹۷۷) ارائه شده است (۸، ۱۲، ۵ و ۱۸). مقدار ضریب حساسیت مرحله پرشدن دانه بیشتر از دیگر مراحل رشد سویا برای تمام مدل‌ها می‌باشد.

جدول ۵ مقادیر برآورد شده ضرایب حساسیت را برای معادلات مختلف نشان می‌دهد. بر اساس داده‌های جدول ۵ معادلات ۶ تا ۹ شامل معادلات جنسن (۱۹۶۸)، مین-هاس و همکاران (۱۹۷۴)، براس و کوردوای اصلاح شده

جدول ۵- فاکتورهای حساسیت برای مدل‌های مختلف

مرحله رشد	مدل			
	استوارت	جنسن	مین‌هاس	براس
مرحله رشد رویشی	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۷۳	۰/۲۵
مرحله رشد گلدهی	۰/۷۳	۰/۸۲	۲/۷۲	۰/۷۳
مرحله پر شدن دانه	۱/۰۵	۱/۱	۳/۴	۱/۰۵
ضریب ثابت	۰/۰۲	---	---	-۰/۴۷
ضریب (r^2)	۹۸	۹۹	۹۷	۹۸
SEE	۰/۰۶۲	۰/۰۸۳	۰/۰۷۱	۰/۰۵۱

اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده نسبت به عملکرد سویا در جدول ۷ مشخص گردیده است.

در جدول ۶ مقدار عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده با هر یک از مدل‌ها نشان داده شده است. بر اساس داده‌های جدول ۶، شاخص‌های ارزیابی مقادیر

جدول ۶- مقدار عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل‌های مختلف

تیمار	عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده	مدل‌های مختلف پیش‌بینی عملکرد		
		جنسن	استوارت	مین‌هاس
TR ₀	۱	۱	۱	۰/۹
TR ₁	۰/۸۴	۰/۸۹	۰/۹۱	۰/۸۷
TR ₂	۰/۷۱	۰/۷۳	۰/۷۷	۰/۷۲
TR ₃	۰/۷۳	۰/۸۵	۰/۸۷	۰/۸۲
TR ₄	۰/۵۴	۰/۶۹	۰/۷۴	۰/۶۹
TR ₅	۰/۶۲	۰/۷۱	۰/۷۴	۰/۶۹
TR ₆	۰/۵۳	۰/۶۴	۰/۶۶	۰/۶۲

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \left[\left(\frac{ET_a}{ET_m} \right)_1^{0.73} \right] \left[\left(\frac{ET_a}{ET_m} \right)_2^{0.82} \right] \left[\left(\frac{ET_a}{ET_m} \right)_3^{1/1} \right] \quad (6)$$

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \left[1 - \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right)_1^{0.73} \right] \left[1 - \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right)_2^{0.82} \right] \left[1 - \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right)_3^{1/1} \right] \quad (7)$$

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 0.725 \left(\frac{ET_a}{ET_m} \right)_1 + 0.773 \left(\frac{ET_a}{ET_m} \right)_2 + 1/0.5 \left(\frac{ET_a}{ET_m} \right)_3 - 0.47 \quad (8)$$

$$1 - \frac{Y_a}{Y_m} = 0.275 \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right)_1 + 0.773 \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right)_2 + 1/0.5 \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right)_3 + 0.2 \quad (9)$$

برای ارزیابی قابل اعتماد بودن نتایج حاصل از پیش‌بینی‌های مدل، از شاخص‌های آماری لازم برای مقایسه با مقادیر واقعی صحرایی استفاده شد. نتایج این آنالیزها در جدول ۷ آورده شده است. بر اساس داده‌های جدول ۷ کارایی مدل (EF) برای همه مدل‌ها بالا می‌باشد. این مطلب نشان می‌دهد که تمام مدل‌ها می‌توانند نسبت عملکرد را بخوبی پیش‌بینی نمایند. و برای مدل براس و کوردوا برابر با ۰/۹۳ بوده که دارای بیشترین مقدار می‌باشد. این نشان دهنده بهترین پیش‌بینی مدل برای این مدل نسبت به دیگر مدل‌ها است. ضریب تغییرات برای معادله جنسن و براس و کوردوا اصلاح شده کمتر از ۲۰ درصد است. در حالی که در مدل

استوارت و مین‌هاس کمتر از ۳۰ درصد می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که تقریباً بین ۷۰ تا ۸۰ درصد تغییرات بین مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده توسط مدل بدست آمده است. ضریب باقی‌مانده جرم (CRM) که مقادیر کمتر یا بیشتر پیش‌بینی شده نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد، برای همه مدل‌ها منفی بوده که نشانگر این مطلب است که مدل‌ها عملکرد را بیشتر از شرایط واقعی پیش‌بینی کرده‌اند. این مقادیر ۱۱ تا ۲۵ درصد بوده‌اند. که مدل اصلاح شده براس و کوردوا کمترین و مدل مین‌هاس و همکاران بالاترین را داشته است.

۱۰

جدول ۷- شاخص‌های ارزیابی مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده نسبت عملکرد سویا

مدل‌های مختلف پیش‌بینی عملکرد				شاخص ارزیابی
استوارت	جنسن	مین‌هاس	براس	
۰/۸۹	۰/۹۲	۰/۸۸	۰/۹۳	EF
-۰/۱۷	-۰/۱۴	-۰/۲۴۸	-۰/۱۱	CRM
۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۱	RMSE
۲۰/۳	۱۶/۶	۲۶/۸	۱۵/۲	CV(%)

نتیجه‌گیری

چهار مدل تابع تولید شامل، جنسن (۱۹۶۸)، استوارت و همکاران (۱۹۷۷)، رابطه مین‌هاس و همکاران (۱۹۷۴) و براس و کوردوا (۱۹۸۱) برای پیش‌بینی عملکرد سویا مورد ارزیابی قرار گرفتند. در بین مدل ذکر شده، مدل اصلاح شده براس و کوردوا (۱۹۸۱) بهترین برآورد عملکرد را داشته و معادله جنسن (۱۹۶۸) در رتبه بعدی قرار گرفته است. مقادیر فاکتور حساسیت برای هر ۴

معادله مشخص نموده است که مرحله پر شدن دارای بیشترین حساسیت نسبت به تنش خشکی می‌باشد. بنابراین با توجه به ارزیابی‌های انجام گرفته، مدل‌های جنسن (۱۹۶۸) و مدل اصلاح شده براس و کوردوا (۱۹۸۱) به عنوان معادله حاصل ضرب و مجموع جهت پیش‌بینی عملکرد محصول توصیه می‌شوند.

منابع

10. Hanks, R. J., 1983. Yield and water use relationships: an overview. In: Taylor, H. M., Jordan, W. R., Sinclair, T. R. (Eds.), *Limitation of Water Use in Crop Production*. ASA/CSSA/SSSA, Madison, WI, pp. 393-411.
 11. Kipkorir, E. C., Raes, D., Masaje, B., 2002. Seasonal water production functions and yield response factors for Maite and onion in Perkerra. *Kenya Agric. Water Manage*, 56: 229-240.
 12. Minhas, B. S., Parkhand, K. S., Srinivasan, T. N., 1974. Towards the structure of a production function for wheat yields with dated input of irrigation water. *Water Resour. Res.* 10: 383-386.
 13. Orgaz, F., Mateas, L. and Fereres, E. 1992. season length and cultivar determine the optimum evapotranspiration deficit in cotton. *Agro J.* 65:464-467.
 14. Palmer, J. E. J. Dunphy, and P. Reese. 1995. Managing drought-stressed soybeans in the southeast. <http://www.ces.ncsu.edu/drought/dro-24.html>.
 15. Rhenals, A. E., Bras, R. L., 1981. The irrigation scheduling problem and evapotranspiration uncertainty. *Water Resour. Res.*, 17 (5): 1328-1339.
 16. Smith, M., 1992. CROPWAT: a computer program for irrigation planning and management. *FAO Irrigation and Drainage Paper* 46. FAO, Rome, 89 pp.
 17. Siovnit, N., and P. J. Kramer. 1977. Effect of water stress during different stages of growth of soybean. *Agron. J.*, 69:274-277.
 18. Stewart, J. I., Hagan, R. M., 1973. Functions to predict effects of crop water deficits. *J. Irrig. Drain. Div. ASCE*, 99 (IR4): 421-439.
 19. Sunder, R.A., Saxton, K. E., Spomer, R. G., 1981. A predictive model of water stress in corn and soybeans. *Trans. ASAE*, 24 (1): 421-439.
 20. Stewart, J. I., R. H. Cuenca, W. O. Pruitt, R. M. Hagan and J. Tosso. 1977. Determination and Utilization of water production functions for principal California crops, W-67 Calif. Contrib. Proj. Rep. Univeristy of California, Davis.
۱. قاجار سپانلو، م و بهمنیار، م. ع. ۱۳۸۳. اثر قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد بر عملکرد، کارایی مصرف آب و شاخص برداشت ارقام سویا در مازندران. پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر، سال دوم، شماره دوم. صفحه ۷۹-۸۹.
 ۲. دانشیان، ج، مجیدی، ا، هاشمی دزفولی س. ا. و نور محمدی، ق. ۱۳۷۸. بررسی اثر تنش خشکی بر خصوصیات کمی و کیفی دو رقم سویا. مجله علوم زراعی ایران، جلد ۱ شماره ۳.
 ۳. یحیایی، غ. ۱۳۸۶. اثر رژیم‌های آبیاری بر عملکرد دانه ارقام رشد محدود و رشد نامحدود سویا. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی (ویژه نامه زراعت و اصلاح نباتات)، (۵): ۱۳۴-۱۲۴.
 4. Al-Jamal, M. S., Sammis, T. W., Ball, S., Smeal, D., 2000. Computing the crop water production function for onion. *Agric. Water Manage*, 46: 29-41.
 5. Bras, R.L., Corodova, J. R., 1981. Intra-seasonal water allocation in deficit irrigation. *Water Resour. Res.*, 17 (4): 886-874.
 6. Doorenbos, J., Kassam, A. H., 1979. Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Paper* No. 33, FAO, Rome, Italy, 193 pp.
 7. Garside, A. L., R. J. Lawn., R. C. Muchow and D. E. Byth. 1992. Irrigation management of soybean in a semi-arid tropical environment. *Australian journal of Agriculture Research*, 43(5):1019-1032.
 8. Jensen, M. E., 1968. Water consumption by agricultural plants. In: Kozlowski, T.T. (Ed.), *Water Deficits in Plant Growth*, 1. Academic Press, New York, pp. 1-22.
 9. Homaei, M., C. Dirksen and R. A. Feddes. 2002. Simulation of root water uptake. I. Nonuniform transient salinity stress using different macroscopic reduction functions. *Agr. Water Management*, 57(2): 89-109.

defoliation stress in the field on soybean seed germination and vigor. *Crop Sci.*, 32:471-475.

21. Tsakiris, G. P., 1982. A method of applying crop sensitivity factor in irrigation scheduling. *Agric. Water Manage*, 5: 335–345.
22. Vieira, R. D., D. M. Tekrony, and D. B. Egli. 1992. Effect of drought and

Determination of the best model to predict soybean yield in Mazandaran, Iran

Davood Akbari Nodehi ^{1*}

1-Department of Irrigation, Qaemshahr branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran

Received: 2012/4/17

Accepted: 2013/2/21

Abstract

In order to determine the best water production function (CWPF) for predicting grain yield of soybean crop, four models were evaluated. The four evaluated functions were including Jensen (1968), Minhas et al. (1974) and modified Stewart et al. (1977) and modified Bras and Corodova (1981) model. Field experiments were carried out for evaluation of the models. The grain yields simulated by the crop water production function were compared with the field measured data. The base moisture stress sensitivity indices obtained for the vegetative, flowering and grain filling growth stages of the soybean crop were 0.23, 0.82, and 1.1, respectively for Jensen (1968) and 0.73, 2.72 and 3.4, respectively for Minhas et al. (1974) model. The moisture stress sensitivity indices for the same stages for the modified Bras and Corodova (1981) model were 0.25, 0.73, and 1.05, respectively and 0.25, 0.73 and 1.05, respectively for modified Stewart et al. (1977) model. The indices of the grain filling stage were noticed to be higher than the other growth stages, followed by the flowering stage and then the vegetative, for all models. The trend of the indices therefore implies that the grain filling growth stage was more critical to moisture deficit.

In conclusion, results of this study showed that the models give good estimates for soybean grain yield with modified Bras and Corodova (1981) model performing slightly better than the other three models.

Key words: production function, soybean, sensitivity factor, Mazandaran, Iran

* Corresponding author

E-mail:dakbarin@yahoo.com