

برنامه‌ریزی بهینه آبیاری بر اساس رابطه آب- عملکرد در چند رقم سویا

علیرضا کیانی*

* نگارنده مسئول، استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، نشانی:

گرگان، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، ص.پ. ۳۶۳-۴۹۱۶۵، تلفن: ۰۶۳۰۰۳۳۵۰۰۱۷۱؛ پیام نگار:

akiani71@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۸۸/۳/۹؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۲/۴

چکیده

بزرگترین چالش کنونی برای تولید غذا در کشور کمبود منابع آب است. در چنین شرایطی، استفاده مؤثرتر از آب یکی از ضروری‌ترین گزینه‌ها برای افزایش تولید محصولات کشاورزی است. شناخت رابطه آب-عملکرد گیاه در این زمینه مفید خواهد بود. پژوهش حاضر با هدف بررسی رابطه آب-عملکرد در سه رقم سویا، مقدار بهینه آب آبیاری در شرایط کمبود آب، مقایسه دو راهبرد کم‌آبیاری و آبیاری کامل از نظر تولید و ضریب واکنش ارقام به آب (K_p) اجرا شده است. این پژوهش با استفاده از روش آبیاری بارانی با چهار تیمار مختلف آبیاری بر اساس فاصله از خط فرعی به همراه سه رقم سویا (سحر، G_3 ، و DPX) با چهار تکرار در سال‌های زراعی ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ در خاک لوم رسی-سیلتی تا لوم سیلتی در مزرعه‌ای به وسعت ۳۰۰۰ متر مربع در گرگان به اجرا در آمد. نوع آزمایش کرت‌های خرد شده بود که در آن مقدار آب به عنوان کرت اصلی و ثابت و سه رقم سویا به صورت کرت‌های فرعی و تصادفی در داخل کرت اصلی توزیع شدند. نتایج نشان می‌دهد که عملکرد هر سه رقم تحت تأثیر تیمارهای آبیاری قرار گرفتند. بیشترین عملکرد ارقام سویا مربوط به نزدیکترین فاصله از خط لوله آبیاری بارانی (W_1) با میانگین ۳۳۰۶ کیلوگرم در هکتار و در بین ارقام نیز بالاترین عملکرد مربوط به رقم DPX با میانگین ۲۹۰۵ کیلوگرم در هکتار است. نتایج نشان می‌دهد که در صورتی که بارندگی مؤثر رخ ندهد، مقدار بهینه آب آبیاری در شرایط کم‌آبیاری برای سه رقم سحر، G_3 ، و DPX تقریباً یکسان و به ترتیب برابر با ۴۲۴، ۴۳۳، و ۴۳۵ میلی‌متر است. در شرایط آبیاری کامل برای حصول به حداکثر عملکرد، ارقام سحر، G_3 و DPX به ترتیب به مقدار ۴۳۷، ۴۶۷، و ۵۲۳ میلی‌متر آب آبیاری و یا به مقدار ۵۵۰، ۵۸۰ و ۶۴۰ میلی‌متر آب کاربردی (مجموع باران مؤثر و آب آبیاری) نیاز دارند. جهت افزایش تولید کل، مقایسه کمی دو راهبرد کم‌آبیاری و آبیاری کامل حکایت از برتری روش کم‌آبیاری دارد. واکنش عملکرد ارقام نسبت به مقادیر مختلف آب و برآورد ضریب واکنش به آب آنها (K_p) نشان می‌دهد که رقم DPX به منظور افزایش تولید و استفاده بهینه از منابع محدود آب نسبت به ارقام دیگر در الویت است. در این پژوهش، K_p برای ارقام سحر، G_3 ، و DPX به ترتیب برابر با ۱/۱، ۱/۰۶، و ۰/۹۲ برآورد شده است.

واژه‌های کلیدی

آبیاری بارانی، سویا، ضریب واکنش گیاه، کم‌آبیاری، گرگان

مقدمه

اما سرعت رشد آن در دمای بالاتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد و کمتر از ۱۸ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد (Anon, 2001). سویا به دلیل دارا بودن غلظت بالای پروتئین (۳۶ درصد)، روغن (۱۸ درصد)، و کربوهیدرات (۲۰ درصد) تقریباً در تمام نقاط دنیا برای مصرف انسان، دام، و

سویا یکی از مهمترین گیاهان برای تولید روغن و پروتئین در جهان محسوب می‌شود؛ تولید سالانه سویا ۱۷۶/۶ میلیون تن و سطح زیر کشت آن ۷۵/۵ میلیون هکتار است. سویا در شرایط اقلیمی گرم و نیمه گرم رشد می‌کند و به دماهای پایین و خیلی بالا نسبتاً مقاوم است.

کارخانه‌های صنایع غذایی کاشته می‌شود (Boydak et al., 2002) در مناطقی که آب به اندازه کافی برای آبیاری اراضی کشاورزی وجود ندارد، تولید بهینه در مقابل مصرف آب کمتر گزینه‌ای مطلوب در مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری است. در چنین شرایطی از آب صرفه‌جویی شده می‌توان اراضی جدید را زیر کشت برد و بدین طریق تولید و درآمد کل را افزایش داد. برای حصول به این هدف باید رابطه آب- عملکرد (تابع تولید آب) برای مناطق و گیاهان مختلف مشخص شود. مدل‌های متعددی در خصوص واکنش گیاه به آب ارائه شده است ولی بیشترین کاربرد را مدل زیر دارد که عملکرد نسبی (Y_a/Y_m) را به تبخیر- تعرق نسبی (ET_c/ET_m) مرتبط می‌سازد (Doorenbos & Kassam, 1979).

اسپخت و همکاران (Specht et al., 1989) عملکرد شش رقم سویا را با سه تیمار آبیاری بارانی برنامه‌ریزی شده بر مبنای تخلیه ۵۰ تا ۸۰ درصد رطوبت خاک مقایسه کردند. سه تیمار آبیاری عبارت بودند از (۱) آبیاری از ابتدای فصل (۲) آبیاری از مرحله گلدهی، و (۳) آبیاری از اواسط غلاف‌بندی. تحلیل آماری این پژوهش نشان داد از نظر عملکرد، بین ارقام اختلاف معنی‌دار ولی بین تیمارهای آبیاری غیر معنی‌دار است. این محققان نتیجه گرفتند که در خاک‌های عمیق با ظرفیت نگهداری متوسط به بالا، آبیاری سویا با استفاده از آبیاری بارانی می‌تواند تا مرحله غلاف‌بندی به تعویق افتد و سپس بر اساس ۵۰ تا ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک برنامه‌ریزی شود. استگمن و همکاران (Stegman et al., 1990) نشان دادند که اگر در مراحل اولیه گلدهی سویا تنش آبی کوتاه‌مدت روی دهد، باعث محدودیت گلدهی و غلاف‌بندی در قسمت‌های پایین گیاه می‌شود، ولی با آبیاری بعدی تعداد غلاف در گره‌های بالاتر افزایش می‌یابد.

$$1 - \frac{Y_a}{Y_m} = K_y \left[1 - \frac{ET_c}{ET_m} \right] \quad (1)$$

که در آن، Y_a = عملکرد واقعی گیاه؛ Y_m = حداکثر عملکرد؛ ET_c و ET_m به ترتیب تبخیر و تعرق واقعی و بالقوه؛ و K_y ضریب واکنش گیاه به آب است.

هرگاه K_y بزرگ‌تر از یک باشد گیاه به خشکی مقاومت کمتری دارد و در مقابل آب واکنش شدیدی نشان می‌دهد. K_y به شاخص سطح برگ و در نتیجه به مرحله رشد گیاه حساس است (Katerji et al., 1991). مرحله‌ای از رشد گیاه که به خشکی مقاومتر است مقدار K_y کمتری نسبت به مرحله حساس به آب دارد. مقدار K_y بستگی به اقلیم، نوع خاک، و شیوه آبیاری دارد (Touk & Howell, 2003). ارزیابی آب مورد نیاز گیاه برای رسیدن به حداکثر عملکرد، بستگی به تعرق یا تبخیر - تعرق گیاه دارد. مطالعات متعدد نشان داده است که عملکرد گیاه با مقدار ET در فصل رشد رابطه خطی دارد (Kiani et al., 2005).

(زودرس، متوسط‌رس و دیررس) قرار داشتند، با استفاده از روش آبیاری بارانی تک شاخه‌ای بررسی کردند. رابطه بین عملکرد دانه سویا در ارقام مختلف نشان می‌دهد که عرض از مبدأ در ارقام زودرس نسبت به ارقام دیررس بزرگتر ولی شیب تابع کمتر است. نتیجه فوق حکایت از این دارد که عملکرد دانه سویا در ارقام زودرس در شرایط کم‌آبی نسبت به ارقام دیررس کاهش بیشتری دارد.

از آنجا که در زمینه واکنش ارقام سویا به آب اطلاعات کافی وجود ندارد، این پژوهش با هدف بررسی واکنش چند رقم سویا به آب، تعیین رابطه آب- عملکرد، مقدار بهینه آبیاری در شرایط کمبود آب، و مقایسه دو راهبرد کم‌آبیاری و آبیاری کامل از نظر تولید به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در ایستگاه تحقیقاتی گرگان در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ به اجرا درآمد. متوسط بارندگی سالانه در این منطقه ۵۵۰ میلی‌متر است که حدود ۳۰ درصد آن در دوره رشد سویا (خرداد تا آبان) نازل می‌شود؛ و متوسط دما از ۸/۵ درجه سانتی‌گراد در دی‌ماه تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد در مرداد ماه و متوسط رطوبت نسبی هوا از ۷۰ درصد در مرداد ماه تا ۸۳ درصد در آذرماه متغیر است. در این طرح، سه رقم سویا شامل سحر (S)، گرگان ۳ (G₃)، و DPX با روش آبیاری بارانی تک‌شاخه‌ای^۱ از نظر واکنش ارقام نسبت به مقادیر مختلف آب آبیاری ارزیابی شدند. فواصل آبپاش‌ها روی لوله فرعی آبیاری از همدیگر ۶ متر و ۱۰ آبپاش به طور همزمان با فشار ۳/۲ اتمسفر کار می‌کردند. آبپاش‌ها از نوع نلسون F₃₃ با دو نازل به قطر ۱۱/۶۴×۳/۳۲ اینچ انتخاب شده بودند. یک لوله فرعی آلومینیومی به قطر سه اینچ جهت آبیاری مزرعه به لوله اصلی زیرزمینی متصل شد. لوله فرعی در وسط مزرعه مستقر شد به طوری که در هر طرف آن ۲۴ کرت فرعی آزمایشی قرار داشتند (شکل ۱). چهار مقدار

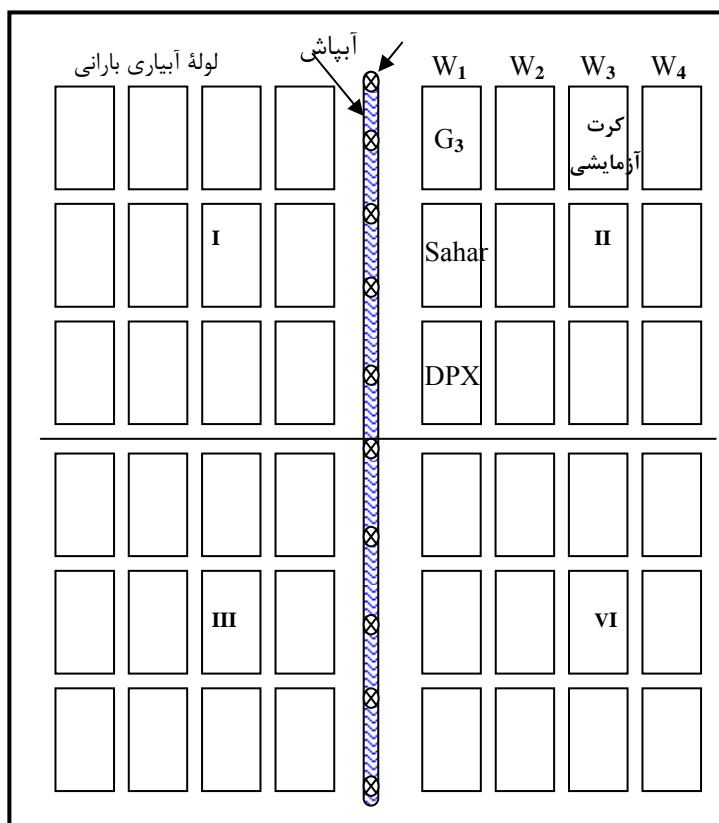
و کمبود تعداد غلاف جبران می‌شود. آنها همچنین واکنش عملکرد دانه سویا را نسبت به ET به صورت رابطه خطی و شیب معادله رگرسیون را ۱/۰۱ کیلوگرم در هر متر مکعب به دست آوردند. رابطه عملکرد نسبی در مقابل تبخیر- تعرق نسبی نشان داده است که به ازای هر یک درصد کاهش ET واقعی از حداکثر ET عملکرد حدود ۱/۲۶ درصد کاهش می‌یابد. کردا و همکاران (Kirda *et al.*, 1999) نشان دادند اگر کمبود آب در مرحله گلدهی و توسعه غلاف‌بندی سویا بروز یابد نسبت به مرحله سبزینه‌ای، عملکرد آن بیشتر کاهش می‌یابد. این محققان ضریب واکنش سویا (K_y) را در مراحل سبزینه‌ای، گلدهی و غلاف‌بندی به ترتیب ۰/۵۸، ۱/۱۳ و ۱/۷۶ به دست آوردند. نتایج بررسی دوگان و همکاران (Dogan *et al.*, 2007) در خصوص عملکرد سویا وقتی مقدار آب آبیاری متفاوت است نشان داد که با کاربرد ۷۵، ۵۰، ۲۵ و صفر درصد تبخیر- تعرق گیاه به عنوان آب آبیاری، عملکرد سویا به ترتیب ۲۵، ۵۰، ۷۶ و ۹۲ درصد کاهش می‌یابد. این محققان رابطه بین عملکرد (Y) را با مقادیر تبخیر- تعرق (ET) در سال اول به صورت $Y=7.23ET-439$ و در سال دوم به صورت $Y=6.83ET-417$ برآورد کردند (Specht *et al.*, 1986). اسپخت و همکاران (ET=I+P±ΔS)، رابطه عملکرد دانه سویا (Y) را با آب کاربردی (X) برای رقم ویلیامز به صورت $Y=49.9X+328$ و برای رقم A₃₁₂₇ به صورت $Y=88.9X-1352$ برآورد کردند. روسادی و همکاران (Rosadi *et al.*, 2007) اثر پنج تیمار آبیاری ۱۰۰، ۸۰، ۶۰، ۴۰، و ۲۰ درصد تبخیر- تعرق گیاه را روی عملکرد سویا بررسی و نشان دادند که بهترین تیمار آبیاری برای کسب بالاترین بهره‌وری از آب، تیمار ۸۰ درصد تبخیر- تعرق گیاه است. با کاهش ۸۰ و ۶۰ درصد تبخیر- تعرق گیاه، عملکرد دانه سویا به ترتیب ۸۸ و ۵۱ درصد کاهش می‌یابد. هو (Hu, 2009) چند رقم سویا را که در تیپ‌های مختلف رشدی

در سال دوم ۲۵ میلی‌متر آب دریافت کردند. برای کاهش اثر باد روی تیمارها، آبیاری در صبحگاهان اجرا شد که امکان وقوع باد در منطقه کمتر است. بعضی از خواص فیزیکی خاک در جدول ۱ ارائه شده است. در خلال آزمایش در همه تیمارها نمونه‌های خاک تا عمق ۸۰ سانتی‌متری به ازای هر ۲۰ سانتی‌متر از سطح خاک در زمان کاشت، قبل، و بعد از هر آبیاری و در زمان برداشت تهیه و رطوبت آنها اندازه‌گیری شد. آبیاری پس از تخلیه رطوبت خاک در حدود ۴۵ تا ۵۵ درصد رطوبت قابل استفاده گیاه (بسته به دوره رشد گیاه) در تیمار W_1 انجام شد. تخلیه رطوبتی خاک با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج تراپیم (TRIME) در دو نقطه و در دو طرف لوله آبیاری بارانی کنترل می‌شد.

آب (W_4, W_3, W_2, W_1) بر اساس فاصله از خط لوله فرعی آبیاری (W_1 نزدیکترین و W_4 دورترین) به عنوان کرت اصلی ثابت و سه رقم سویا به صورت کرت‌های فرعی تصادفی در داخل هر تیمار آبیاری با استفاده از طرح کرت‌های نواری با چهار تکرار به اجرا درآمد. میزان بذر مصرفی بر مبنای ۶۰ کیلوگرم در هر هکتار، فاصله خطوط ۵۰ سانتی‌متر، و فاصله بوته‌ها روی خطوط ۱۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. ابعاد کرت‌های فرعی آزمایش ۲ در ۸ متر و ابعاد زمین مورد آزمایش ۶۰×۵۰ متر بود. ارقام سویا در سال اول در تاریخ ۸۴/۳/۲۹ و در سال دوم در تاریخ ۸۵/۳/۱۷ کاشته و در تاریخ ۸۴/۹/۲۰ برداشت شدند. همه تیمارها در زمان کاشت با استفاده از روش بارانی دو شاخه‌ای برای سبز یکنواخت در سال اول ۳۵ و

جدول ۱- بعضی از خصوصیات فیزیکی خاک تحت آزمایش

عمق خاک (سانتی‌متر)	بافت خاک	رطوبت خاک (درصد وزنی) در ظرفیت زراعی	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
۰-۳۰	سیلتی کلی لوم	۲۵	۱/۳
۳۰-۶۰	سیلتی لوم	۲۶	۱/۴
۶۰-۹۰	سیلتی لوم	۲۶	۱/۴



شکل ۱- نقشه اجرایی طرح

اندازه‌گیری است. اساساً تلفات نفوذ عمقی در این پژوهش (آبیاری بارانی تک شاخه‌ای) قابل صرفه‌نظر کردن است. به دلیل اینکه برنامه‌ریزی آبیاری بر مبنای برآورد کمبود رطوبت خاک و پر کردن ظرفیت نگهداری آب در خاک تا عمق توسعه ریشه در تیمار W_1 انجام شد. به طور طبیعی رطوبت بیش از ظرفیت زراعی (FC) نفوذ عمقی خواهد داشت، ضمن اینکه در بقیه تیمارها به دلیل کم‌آبیاری تلفات نفوذ عمقی بسیار بعید است. عمق ریشه در هر آبیاری با مرطوب ساختن خاک و خروج ریشه از نیمرخ خاک، اندازه‌گیری شد. از مقدار صعود آب به سمت منطقه ریشه به دلیل پایین بودن سفره آب زیرزمینی (بیش از ۸ متر) و مقدار رواناب با بستن انتهای کرت‌ها صرفه‌نظر شد. ΔS از تفاوت رطوبت خاک به روش وزنی در زمان‌های قبل از هر آبیاری در دو بازه آبیاری تا عمق توسعه ریشه برآورد شد. برای برآورد K_y با استفاده از رابطه ۱ افت نسبی

آب مصرفی گیاه (ET_a) با استفاده از روش بیلان حجمی خاک به شرح زیر برآورد شد:

$$ET_a = I + P - (D.P + Cr + Ro) \pm \Delta S \quad (2)$$

که در آن، I ، P ، $D.P$ ، Cr ، Ro و ΔS به ترتیب مقدار آب آبیاری، باران مؤثر، نفوذ عمقی، صعود آب از لایه زیرین، رواناب و تغییرات رطوبت خاک، همه بر حسب میلی‌متر است.

مقدار آب آبیاری در هر تیمار با استقرار قوطی‌های جمع‌آوری آب در داخل هر کرت فرعی در زمان آبیاری و اندازه‌گیری حجم آب جمع شده در داخل آنها اندازه‌گیری شد. باران مؤثر از مدل CROPWAT (Smith, 1992)، تلفات نفوذ عمقی در هر آبیاری از تفاوت رطوبت خاک در بعد و قبل از هر آبیاری در پایین‌تر از عمق ریشه قابل

که در آن PC قیمت هر واحد تولید است. در شرایط واقعی استان گلستان، بارندگی واقعی است انکار ناپذیر و لازم است تا در محاسبات منظور شود. هرگاه در معادلات ارائه شده در بالا به جای مقدار آب آبیاری (I) از مقدار آب کاربردی (مجموع آب آبیاری و باران فصلی، $I+P$) استفاده شود، تابع تولید در این شرایط عبارت است از:

$$Y = a'_0 + a'_1(I + P) + a'_2(I + P)^2 \quad (7)$$

در نتیجه، در این شرایط مقدار بهینه برای آبیاری تکمیلی کامل برابر است با:

$$I_f = -\frac{a'_1}{2a'_2} \quad (8)$$

با بسط رابطه ۷ و ادامه روندی که منتج به رابطه ۶ شده است، معادله نهایی مقدار بهینه آب آبیاری به صورت تابعی از مقدار باران فصلی به شرح زیر خلاصه می شود (Sepaskhah & Akbari, 2005):

$$Y = a'_0 + a'_1P + a'_2P^2 + (a'_1 + 2a'_2P)I + a'_2I^2 \quad (9)$$

$$I_d = \left[\frac{P_C(a'_0 + a'_1P + a'_2P^2) - b_0}{P_C a'_2} \right]^{0.5} \quad (10)$$

عملکرد گیاه در هر کرت فرعی از دو ردیف وسط و پس از حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر ردیف (در سطح ۷ متر مربع) اندازه گیری شد. پس از جمع آوری داده های مورد نیاز تأثیر مقادیر مختلف آب آبیاری بر عملکرد، توابع تولید، مقدار بهینه آب آبیاری در شرایط کم آبیاری به عنوان تابعی از میزان بارش و آبیاری کامل، مقایسه دو

عملکرد ($1 - Y_a/Y_m$) را در مقابل افت نسبی تبخیر- تعرق ($1 - ET_a/ET_m$) در یک محور مختصات رسم کرد. شیب خط حاصل با عرض از مبدا صفر برابر با K_y خواهد بود (Doorenbos & Kassam, 1979; Kiziloglu *et al.*, 2008). برای برنامه ریزی آبیاری و تعیین مقادیر آب آبیاری در شرایط مختلف، نیاز است تا رابطه آب- عملکرد (تابع تولید) مشخص شود. با تعیین ضرایب تابع تولید آب و تابع هزینه می توان در شرایط کمبود یا زیاد بود آب مقادیر بهینه آب آبیاری را برآورد کرد. تابع تولید به تفکیک هر رقم بر اساس مقادیر متفاوت آب آبیاری و عملکرد دانه هر رقم به صورت معادله زیر برآورد شد:

$$Y = a_0 + a_1I + a_2I^2 \quad (3)$$

که در آن، Y = عملکرد دانه (تن در هکتار)؛ I = مقدار آب آبیاری (میلی متر)، و a_0 ، a_1 و a_2 ضرایب تابع هستند. معادله هزینه نیز از رابطه زیر به دست آمد:

$$C = b_0 + b_1I \quad (4)$$

که در آن، C = هزینه های تولید (ریال) و b_0 و b_1 ضرایب تابع هستند.

مقدار بهینه آب آبیاری در شرایط آبیاری کامل (حصول به حداکثر عملکرد، I_f) و کم آبیاری (محدودیت آب، I_d) با استفاده از معادله زیر قابل حصول است (English, 1990):

$$I_f = -\frac{a_1}{2a_2} \quad (5)$$

$$I_d = \left(\frac{P_C \cdot a_0 - b_0}{P_C \cdot a_2} \right)^{0.5} \quad (6)$$

۱۱۵ و ۱۱۶ میلی‌متر بارش مؤثر، و توزیع بارش در فصل رشد سویا در شکل ۲ به تفکیک دو سال ارائه شده است. که عملکرد دانه در سال ۱۳۸۵ (با میانگین ۲۸۶۷ کیلوگرم در هکتار) حدود ۳۵ درصد نسبت به سال ۱۳۸۴ (میانگین عملکرد ۲۱۱۶ کیلوگرم در هکتار) بیشتر بود. شرایط آب و هوایی برای رشد و تولید سویا در سال دوم مناسب‌تر بود. بررسی ارتفاع بوته نشان می‌دهد (داده‌های ارتفاع ارائه نشد) در سال اول به طور میانگین حدود ۹ سانتی‌متر نسبت به سال دوم بلندتر بود. با توجه به عملکردهای به دست آمده، افزایش ارتفاع بوته حکایت از افزایش رشد رویشی در سال اول و کاهش رشد زایشی در این سال نسبت به سال دوم است. در ۱۵ روز اول دوران گلدهی (حدود ۴۲ تا ۵۷ روز پس از کاشت در سال اول و ۴۵ تا ۶۰ روز پس از کاشت در سال دوم) دما در سال ۸۴ به طور میانگین بالاتر از دوران گلدهی سال ۸۵ بود (شکل ۲).

راهبرد کم‌آبیاری و آبیاری کامل و ضریب واکنش عملکرد (K_y) ارقام مختلف سویا مورد تحلیل قرار گرفت. تحلیل واریانس از روش GLM^۱ در محیط SPSS (برای شرایطی که نوع آزمایش کرت های خرد شده با کرت اصلی ثابت و کرت فرعی تصادفی) انجام گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد و آب مصرفی

جدول ۲، نتایج مربوط به عملکرد دانه، مقادیر آب تجمعی دریافت شده، و آب مصرفی تجمعی (ET_a) را به تفکیک تیمارهای مختلف آبیاری در ارقام سویا در دو سال آزمایش نشان می‌دهد. در فصل رویش سویا در سال اول ۶ بار و در سال دوم ۸ بار آبیاری با فواصل ۱۰ تا ۲۰ روز بسته به مراحل رشد انجام شد. مقدار کل بارش در سال ۸۴ و ۸۵ طی فصل رشد به ترتیب برابر ۱۹۸ و ۱۶۸ میلی‌متر، معادل

جدول ۲- عملکرد، آب آبیاری تجمعی، و مصرفی (ET_a) ارقام مختلف در تیمارهای مختلف آبیاری به تفکیک هر سال

عوامل	تیمار آبیاری	۱۳۸۴			۱۳۸۵		
		S	G ₃	DPX	S	G ₃	DPX
عملکرد (تن در هکتار)	W ₁	۲۰۰۰	۲۴۲۹	۳۵۸۱	۳۱۶۹	۴۲۵۹	۴۳۸۷
	W ₂	۲۳۲۶	۱۸۰۵	۳۴۷۰	۳۶۳۹	۴۰۷۰	۳۲۲۰
	W ₃	۱۶۷۲	۱۶۸۱	۲۶۲۶	۱۶۹۲	۲۶۳۱	۲۶۵۳
	W ₄	۱۰۸۲	۱۰۲۸	۱۶۸۲	۱۳۱۷	۱۷۵۰	۱۶۱۵
میانگین ارقام		۱۷۷۰b	۱۷۳۹b	۲۸۴۰a	۲۴۵۴b	۳۱۷۸a	۲۹۶۹a
آب آبیاری تجمعی (میلی‌متر)	W ₁	۳۴۳	۳۶۶	۳۷۲	۳۴۶	۳۱۸	۳۶۲
	W ₂	۲۹۱	۲۶۰	۲۷۵	۲۸۴	۳۱۰	۲۷۲
	W ₃	۱۸۳	۱۵۴	۱۵۶	۱۶۸	۱۸۷	۱۸۸
	W ₄	۵۷	۶۹	۹۲	۸۵	۹۲	۸۷
آب آبیاری مصرفی ET_a (میلی‌متر)	W ₁	۵۰۸	۵۰۰	۵۲۰	۴۷۴	۴۸۰	۴۹۸
	W ₂	۴۳۴	۴۳۳	۴۳۵	۴۱۳	۴۲۷	۴۰۴
	W ₃	۳۵۶	۳۱۹	۳۰۹	۲۹۳	۳۲۲	۳۲۴
	W ₄	۲۲۵	۲۳۹	۲۲۶	۲۰۲	۲۱۵	۲۱۵

S=سحر، G₃=گرگان ۳

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

خسارتبار عوامل اقلیمی بر عملکرد را با ادامه رشد زایشی تعدیل کند.

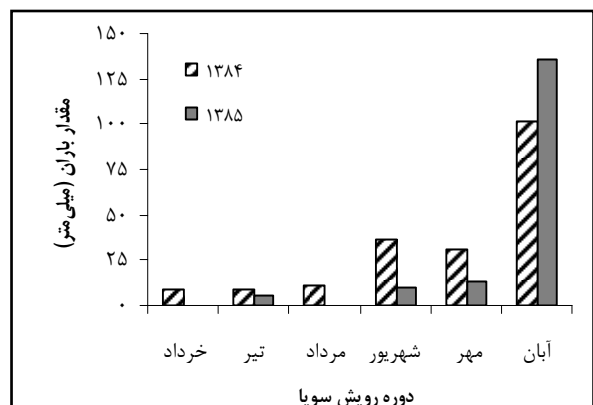
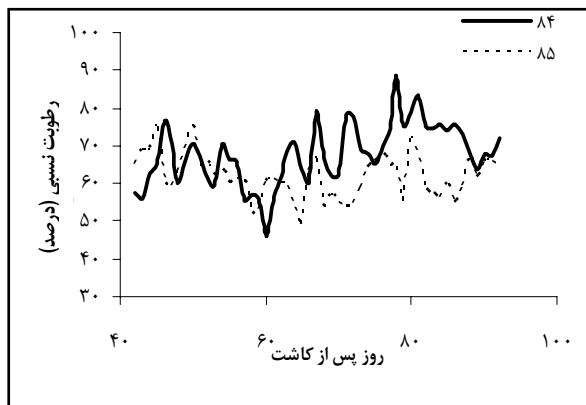
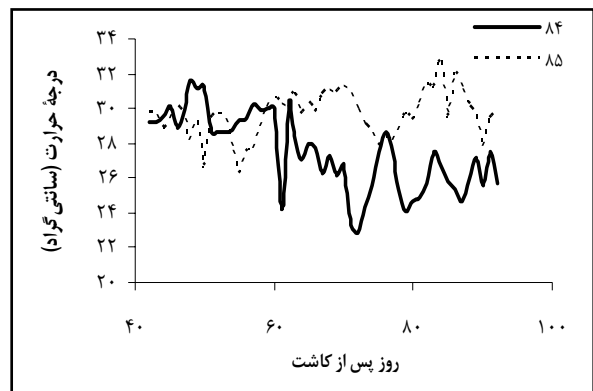
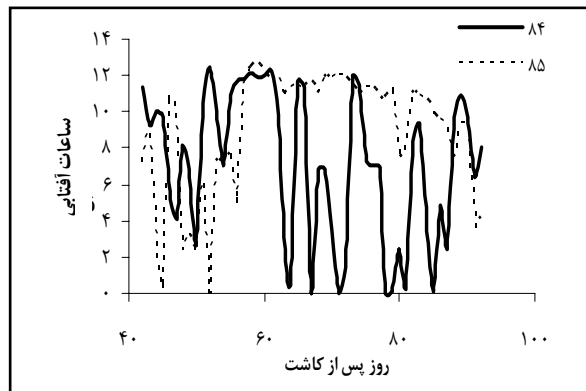
بیشترین عملکرد سویا مربوط است به تیماری که بیشترین آب را دریافت کرده است (W_1). در این تیمار، عملکرد دانه در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ به ترتیب ۲۶۷۳ و ۳۹۳۹ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. کمترین عملکرد نیز مربوط است به تیماری که کمترین آب را دریافت نموده است (W_4). در این تیمار، عملکرد سویا در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ به ترتیب ۴۷ و ۴۰ درصد نسبت به تیمار بدون تنش (W_1) کاهش دارد. ارقام نیز تفاوت‌های معنی‌داری از نظر عملکرد دانه نشان دادند. به‌طور کلی در شرایط آبیاری کامل (تیمار W_1) در هر دو سال، رقم DPX دارای عملکرد بیشتری نسبت به ارقام دیگر بود. میانگین دو ساله عملکرد نیز نشان می‌دهد که این رقم دارای بیشترین عملکرد (۲۹۰۵ کیلوگرم در هکتار) است؛ بعد از آن رقم G_3 با عملکردی معادل ۲۴۵۸ کیلوگرم در هکتار است، این رقم با رقم DPX در یک کلاس هستند. میانگین عملکرد دانه در رقم سحر در دو سال کمترین و برابر ۲۱۱۲ کیلوگرم در هکتار و با ارقام دیگر دارای تفاوت معنی‌دار است و در کلاس متفاوت با آنها قرار دارد. در رقم سحر مشاهده می‌شود که در هر دو سال بیشترین عملکرد در تیمار W_2 (۲۳۲۶ کیلوگرم در هکتار در سال اول و ۳۶۳۹ کیلوگرم در هکتار در سال دوم) حاصل شده است، در حالی که در تیمار W_1 که آب بیشتری نسبت به تیمار W_2 دریافت کرده است، عملکرد کمتری (۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در سال اول و ۳۱۶۹ کیلوگرم در هکتار در سال دوم) به دست داده است. در نتیجه در تیمار W_1 بیش از نیاز آبی رقم سحر آب مصرف شده است و نیاز واقعی این رقم در محدوده تیمار W_2 است. به‌طور کلی مقادیر آب آبیاری و ET_a در هر دو سال با فاصله از خط لوله آبیاری بارانی برای هر سه رقم کاهش

به طور میانگین، در ۱۵ روز اول گلدهی در سال ۸۴ دمای روزانه و شبانه به ترتیب برابر ۳۴/۵ و ۲۴/۹ درجه سانتی‌گراد و در سال ۸۵ در همین دوره حدود ۳۲/۶ و ۲۴/۸ درجه سانتی‌گراد بود. بالاتر بودن دما در دوران حساس رشد گیاه در سال ۸۴ نسبت به سال ۸۵ باعث شده است تا گل‌های کمتری مرحله زایشی خود را تکمیل کنند و در نتیجه تعداد غلاف کمتری حاصل شده است. تعداد غلاف در هر بوته در سال ۸۴ و ۸۵ به ترتیب برابر ۵۳ و ۹۷ عدد بود. به طور میانگین، سال ۸۴ نسبت به سال ۸۵ تا رسیدن محصول حدود ۲۶ روز تأخیر وجود داشت، به طوری که در زمان برداشت در سال ۸۴ بوته‌ها هنوز سبز بودند. روند تغییرات دما در دوران پر کردن غلاف‌ها و پس از آن (حدود ۷۰ روز پس از کاشت یعنی اوایل شهریور در سال ۸۴ و اواخر مرداد در سال ۸۵) در سال ۸۴ نسبت به سال ۸۵ کاهش نسبی را نشان می‌دهد. بررسی رطوبت نسبی هوا همراه با بارش در همین دوره (شهریورماه) نشان می‌دهد در سال ۸۴ رطوبت نسبی هوا بالاتر از سال ۸۵ و میزان بارش نیز حدود ۲۶ میلی‌متر بیشتر بود (شکل ۲). روند تغییرات ساعات آفتابی در طی دو سال نشان می‌دهد که در دوران غلاف‌دهی و پر کردن آن در سال ۸۴ نوسانات شدیدتر و از نظر کمی به مراتب پایین‌تر از ساعات آفتابی سال ۸۵ است که تقریباً روندی ثابت داشت (شکل ۲). افزایش دما، کاهش رطوبت نسبی هوا، و افزایش ساعات آفتابی در دوران غلاف‌دهی و پر کردن دانه از عوامل مؤثر در کاهش تعداد روز تا رسیدن گیاه در سال ۸۵ نسبت به سال ۸۴ هستند. شرایط اقلیمی اگرچه بر هر سه رقم اثر داشته است، ولی رقم DPX کمتر از دو رقم دیگر تحت تأثیر شرایط فوق قرار گرفته است. از نظر ژنتیکی، رقم DPX جزء ارقام رشد نیمه محدود و دو رقم دیگر جزء ارقام رشد محدود هستند. این خاصیت کمک می‌کند تا رقم DPX بخشی از آثار

برنامه‌ریزی بهینه آبیاری بر اساس رابطه آب- عملکرد...

دریافت شده در هر تیمار است. در هر دو سال، قبل و در زمان کاشت باران نباریده است و رطوبت خاک در زمان کاشت در سال اول در حدود ۲۳ و در سال دوم در حدود ۲۵ درصد وزنی بود. رطوبت خاک در زمان برداشت در سال ۸۴ از ۱۷ درصد وزنی در تیمار W_4 تا ۲۲ درصد در تیمار W_1 و در سال ۸۵ از ۱۵ درصد وزنی در تیمار W_4 تا ۲۲ درصد در تیمار W_1 در نوسان بود.

داشت. مثلاً در سال اول ارقام سحر، G_3 و DPX در تیمار W_4 نسبت به تیمار W_1 به ترتیب به میزان ۱۷، ۱۹ و ۲۴ درصد آب دریافت کرده‌اند. اما نسبت ET_a در همان تیمارها و در همان سال به ترتیب معادل ۳۶، ۴۰ و ۳۵ درصد است (روند مشابه در سال دوم نیز وجود دارد). مشاهده می‌شود که در همه موارد مقدار آب مصرف شده (ET_a) هم به دلیل بارش فصلی (شکل ۲) و هم به دلیل استفاده از رطوبت موجود خاک، بیشتر از مقدار آب



شکل ۲- متوسط روزانه دما، ساعات آفتابی، و رطوبت نسبی در دوره پس از گلدهی سویا و توزیع بارش

برآورد شده (رابطه آب کاربردی با عملکرد) برای هر سه رقم دارای ضریب تبیین بالاتر از ۸۴ درصد است و در همه موارد نیز اثر مقدار آب روی عملکرد با استفاده از معادله درجه ۲ معنی‌دار شده است. مطالعات متعدد نشان داده است که رابطه آب کاربردی با عملکرد

رابطه آب- عملکرد (تابع تولید) ارقام مختلف سویا جدول ۳ ضرایب تابع مورد استفاده (رابطه ۷) و تحلیل آماری آن به صورت میانگین هر رقم به تفکیک هر سال و همچنین متوسط دو سال را نشان می‌دهد. نتایج در هر دو سال نشان می‌دهد که معادله درجه ۲

گیاهان از نوع رابطه درجه ۲ است اما به دلیل واکنش متفاوت گیاهان و ارقام نسبت به آب، ضرایب معادلات نیز متفاوت خواهند بود (Stewart & Hagan, 1973; Zhang & Oweis, 1999; Sepaskhah & Akbari, 2005) با استفاده از معادله‌های برآورد شده (متوسط دو سال) تغییرات عملکرد دانه سویا به عنوان تابعی از مقادیر آب کاربردی به تفکیک هر رقم در شکل ۳ ارائه شده است. روند تغییرات در هر سه رقم نشان می‌دهد که در ابتدا با افزایش مقدار آب کاربردی عملکرد با شیب مثبت و کاهش آبیاری افزایش می‌یابد و سپس در یک نقطه از آب کاربردی عملکرد بالاتری دارد.

که عملکرد به بیشینه می‌رسد با افزایش مقدار آب، عملکرد با شیب منفی کاهش می‌یابد. اما همان‌طور که مشاهده می‌شود، شیب تابع برای سه رقم متفاوت و نشان دهنده واکنش متفاوت عملکرد ارقام نسبت به تغییرات آب است. به عنوان مثال، عملکرد در رقم‌های سحر، G_3 و DPX به ترتیب در مقابل ۴۹۰، ۴۹۰ و ۵۱۰ میلی‌متر آب کاربردی به بیشینه یعنی ۲/۵، ۳ و ۳/۷ تن در هکتار می‌رسد. مشاهده می‌شود که رقم DPX نسبت به دو رقم دیگر در مقابل آب واکنش بهتری نشان می‌دهد و پتانسیل عملکرد بالاتری دارد.

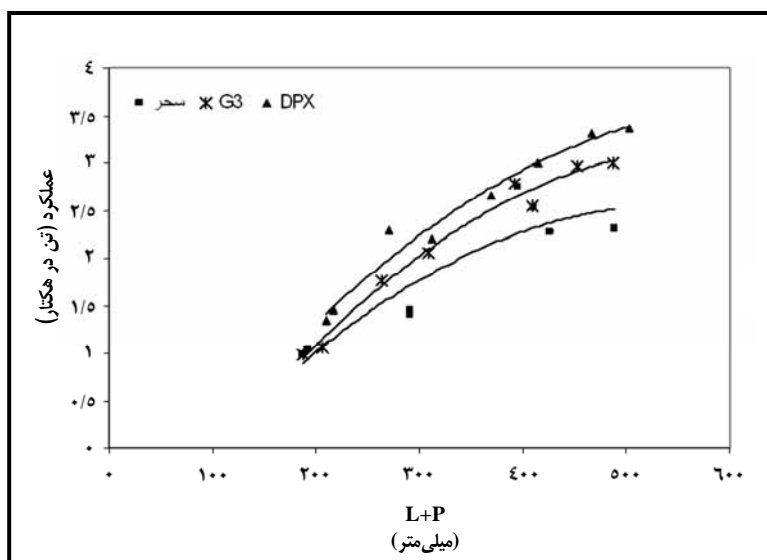
جدول ۳- ضرایب و تحلیل آماری * رابطه آب کاربردی- عملکرد (رابطه ۷) در ارقام مختلف سویا

عوامل	۱۳۸۴			۱۳۸۵		
	S	G_3	DPX	S	G_3	DPX
a_0	-۰/۴۸۷	۰/۰۲۶۴	-۱/۲۰۴	-۲/۵۰۲	-۳/۲۶۱	-۰/۴۳۹
a_1	۰/۰۰۸۵	۰/۰۰۴۱	۰/۰۱۵۲	۰/۰۲۲	۰/۰۲۶۷	۰/۰۰۹۸
a_2	-۹/۱۹۹E-۶	-۱/۳۹E-۶	-۱/۵۳E-۵	-۱/۹۶E-۵	-۲/۲۶E-۵	-۵/۸۹E-۷
R^2	۰/۸۴	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۸۵	۰/۹۷	۰/۹۸
SE	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۴۷	۰/۲۴	۰/۱۶
F	۱۲	۲۶	۲۵	۱۵	۹۲	۱۲۸
SigF	۰/۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
متوسط دو سال						
	S	G_3	DPX	S	G_3	DPX
a_0	-۰/۲۴۲	-۱/۶۶۹	-۱/۲۲۹	-۱/۶۶۹	-۱/۲۲۹	-۱/۲۲۹
a_1	۰/۰۱۳۸	۰/۰۱۶۶	۰/۰۱۵۱	۰/۰۱۶۶	۰/۰۱۵۱	۰/۰۱۵۱
a_2	-۱/۲۴۷E-۵	-۱/۴۲۴E-۵	-۱/۱۷۶E-۵	-۱/۴۲۴E-۵	-۱/۱۷۶E-۵	-۱/۱۷۶E-۵
R^2	۰/۸۵	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۷
SE	۰/۳۱	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۱۵
F	۱۴	۱۸۴	۸۲	۱۸۴	۸۲	۸۲
SigF	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲

R^2 = ضریب تبیین، SE = خطای استاندارد، F = آماره توابع نامیده می‌شود و بیان کننده معنی‌داری کلی تابع است. زمانی یک تابع معنی‌دار است که F محاسبه شده بزرگتر از F جدول باشد. SigF = معنی‌داری آماره مورد نظر است.

مؤثر در فصل رشد سویا مقدار بهینه آب آبیاری در شرایط کم‌آبیاری برای رسیدن به کارایی اقتصادی آب کاهش می‌یابد. در شرایط آبیاری کامل برای حصول به حداکثر عملکرد ارقام سحر، G₃، و DPX به ترتیب به ۴۶۷، ۴۳۷ و ۵۲۳ میلی‌متر آب آبیاری و به ۵۵۰، ۵۸۰ و ۶۴۰ میلی‌متر آب کاربردی (I+P) نیاز خواهد بود. مقدار آب مورد نیاز سویا برای تولید بیشینه، از ۴۵۰ میلی‌متر تا ۸۰۰ میلی‌متر بسته به شرایط اقلیمی و طول دوره رشد گیاه متفاوت است (Anon, 2002). اما در شرایط کم‌آبیاری در صورتی که باران نبارد ارقام سحر، G₃، و DPX به ترتیب به ۴۲۴، ۴۳۳ و ۴۳۵ میلی‌متر و اگر ۲۰۰ میلی‌متر باران مؤثر ببارد، هیچ‌یک نیازی به آب ندارد. در شرایط بدون آبیاری و با باران مؤثر حدود ۲۰۰ میلی‌متر، عملکرد ارقام سحر، G₃، و DPX به ترتیب معادل ۱، ۱/۲ و ۱/۵ تن در هکتار خواهد بود.

در این پژوهش، باران به عنوان یک متغیر و تابعی از مقدار آب آبیاری جداگانه بررسی شد. بر اساس معادله‌های استخراج شده و رابطه‌های ۴ و ۱۰ بهترین مقدار آب آبیاری به عنوان تابعی از باران در شرایط کم‌آبیاری محاسبه و نتایج در جدول ۴ ارائه شده است. حال با داشتن رابطه باران مؤثر- آب آبیاری می‌توان گرفت که در صورت بارش مؤثر به مقدار معین چه مقدار آب آبیاری نیاز است تا عملکرد بهینه حاصل شود. برای محاسبه بهترین مقدار آب آبیاری، از متوسط دوساله (سال‌های ۸۴ و ۸۵) قیمت هر کیلوگرم سویا معادل ۳۵۰۰ ریال و هزینه تولید در هر هکتار بدون هزینه‌های آبیاری شامل: آماده‌سازی زمین (۳۵۰۰۰۰ ریال)، کاشت (۵۰۰۰۰۰ ریال)، داشت (۷۵۰۰۰۰ ریال)، برداشت (۵۵۰۰۰۰ ریال) و اجاره زمین (۱۳۵۰۰۰۰ ریال) و در مجموع ۳۵۰۰۰۰۰ ریال استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش مقدار باران



شکل ۳- رابطه آب - عملکرد ارقام مختلف سویا

با افزایش مقدار آب کاربردی از مقدار محاسبه شده، محدودیتی ندارد ولی آب عامل محدود کننده است دو عملکرد افزایش می یابد ولی این راهبرد برای مناطقی که مواجه با کمبود آب هستند، مناسب نیست. به استناد داده های این پژوهش، در مناطقی که زمین برای آبیاری محدودیتی ندارد ولی آب عامل محدود کننده است دو راهبرد کم آبیاری و آبیاری کامل از نظر تولید کل مقایسه شدند که خلاصه نتایج در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۴- مقدار بهینه آب آبیاری به صورت تابعی از باران مؤثر به تفکیک هر رقم سویا

رقم	مقدار باران مؤثر (میلی متر)							
	۰	۳۰	۶۰	۹۰	۱۲۰	۱۵۰	۱۸۰	۲۰۰
سحر	424	384	342	297	248	191	115	0
G ₃	433	391	348	301	249	188	101	0
DPX	435	385	331	269	192	58	0	0

ارقام واکنش نامطلوب تری نسبت به آب دارد، به جای آبیاری کامل (کاربرد ۳۴۵۰ متر مکعب در هکتار) بهتر است مساحت زمین تحت آبیاری به ۴/۸۵ هکتار افزایش داده شود ولی در هر هکتار ۷۱۰ متر مکعب آب مصرف گردد. در حالت اول تولید کل در مساحت ۴/۸۵ هکتار معادل ۴/۵۰۸ تن و در شرایط دوم تولید کل در همان مساحت به ۵/۸۲ تن افزایش می یابد. این روند با نتایج مطلوب تری برای ارقام G₃ و DPX وجود دارد (جدول ۵). نتایج دو ساله نشان می دهد در بین ارقام مورد بررسی رقم DPX نسبت به بقیه ارقام واکنش مطلوب تری نسبت به آب برای تولید سویا نشان می دهد.

کشاورزان در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند ولی زمین زراعی کافی دارند، دو گزینه پیش رو دارند، یکی اینکه تمام آب در اختیار را برای آبیاری بخشی از مزرعه به صورت آبیاری کامل در نظر بگیرند و بقیه زمین را یا کشت نکنند یا تحت شرایط دیم قرار دهند. دوم اینکه با استفاده از روش کم آبیاری و کاربرد آب صرفه جویی شده برای زمین های دیگر مساحت زمین تحت آبیاری را افزایش دهند. در جدول ۵ این دو راهبرد را به صورت کمی مقایسه شده اند. به طور کلی، برای همه ارقام روش کم آبیاری تولید کل را در منطقه افزایش می دهد. به طور مثال در رقم سحر که نسبت به بقیه

جدول ۵ - مقایسه دو راهبرد کم آبیاری (W₄) و آبیاری کامل (W₁) برای تولید کل در ارقام مختلف سویا (متوسط دو سال)

رقم	تیمار آبیاری	مقدار آب (میلی متر)	عملکرد (تن)		مساحت (هکتار)		عملکرد (تن)
			عملکرد (تن)	عملکرد (تن)	آبیاری شده	آبیاری نشده	
سحر	W ₁	۳۴۵	۲/۵۸۵	۱	۳/۸۵	۴/۸۵	۲/۵۸۵
	W ₄	۷۱	۱/۲	۴/۸۵	۰	۴/۸۵	۵/۸۲
G ₃	W ₁	۳۴۲	۳/۳۴۹	۱	۳/۲۲	۴/۲۲	۳/۳۴۹
	W ₄	۸۱	۱/۳۸۹	۴/۲۲	۰	۴/۲۲	۵/۸۶
DPX	W ₁	۳۶۷	۳/۹۸۴	۱	۳/۰۸	۴/۰۸	۳/۹۸۴
	W ₄	۹۰	۱/۶۴۸	۴/۰۸	۰	۴/۰۸	۶/۷۲۴

ضریب واکنش عملکرد ارقام مختلف سویا (K_y)

برنامه‌ریزی بهینه آبیاری بر اساس رابطه آب- عملکرد...

نسبی عملکرد (1-Ya/Ym) و افت نسبی تبخیر- تعرق (1-ETc/ETm) ایجاد و پس از آن مقادیر ثابت هر تابع (عرض از مبدأ) با صفر مقایسه آماری شده و نتایج آماری آن در جدول ۶ ارائه شده است.

واکنش عملکرد گیاه نسبت به کمبود آب در گیاهان مختلف برای برنامه‌ریزی آبیاری و تولید اهمیت زیادی دارد. برای بررسی ضریب واکنش (K_y) ارقام مختلف سویا نسبت به تبخیر- تعرق، ابتدا رابطه خطی بین مقادیر افت

جدول ۶- ارزیابی آماری تفاوت عرض از مبدأ با صفر در توابع ایجاد شده بین افت نسبی عملکرد و افت نسبی تبخیر- تعرق در سطح احتمال ۵ درصد

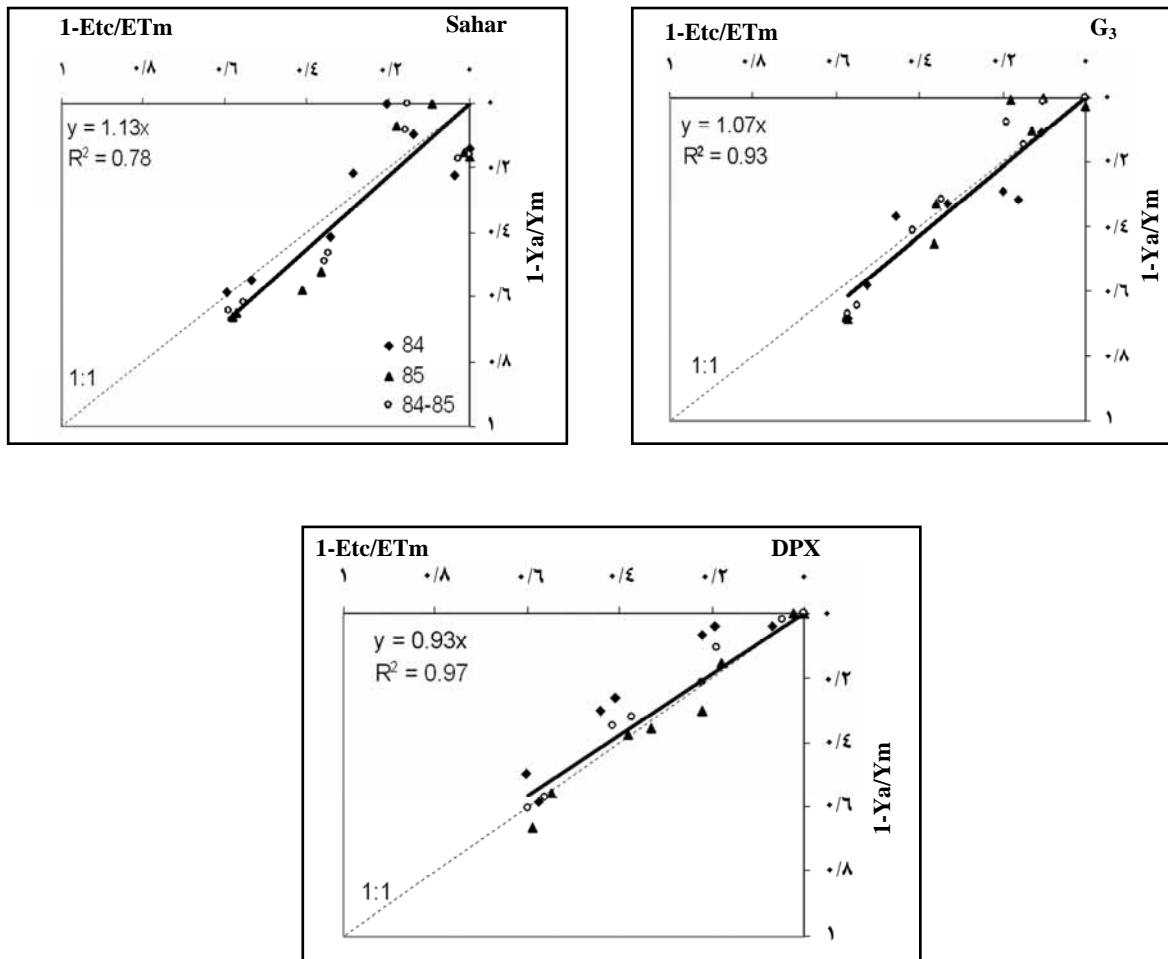
سال	ارقام	مقدار ثابت	t^*	$Sigt$
۱۳۸۴	سحر	۰/۰۰۵۸۷	۰/۷۹	۰/۷۹
	G ₃	۰/۰۰۴۰۸	۰/۷۵	۰/۴۸
	DPX	-۰/۰۰۷۲۵	-۱/۴۸	۰/۱۹
۱۳۸۵	سحر	۰/۰۰۵۲۶	۰/۷۷	۰/۴۷
	G ₃	-۰/۰۰۸۵۹	-۱/۷	۰/۱۴
	DPX	-۰/۰۰۰۸۰	-۰/۳۲	۰/۷۶
متوسط دو سال	سحر	۰/۰۰۵۴۹	۰/۷۷	۰/۴۷
	G ₃	-۰/۰۰۷۶۴	-۲/۰۶	۰/۰۹
	DPX	-۰/۰۰۲۵۹	-۱/۵۹	۰/۱۶

* t = آماره مقدار ثابت و $Sigt$ = معنی‌دار بودن آماره مورد نظر است. زمانی معنی‌دار است که مقدار $Sigt$ کوچکتر از سطح احتمال ۵ درصد باشد.

جدول ۶ نشان می‌دهد که در همه موارد عرض از مبدأ به دست آمده با صفر اختلاف معنی‌داری ندارد. در نتیجه توابع خطی برآورد شده با عرض از مبدأ صفر ترسیم و نتیجه آنها در شکل ۴ به تفکیک هر رقم و برای دو سال ارائه شده است. مشاهده می‌شود که ضریب واکنش عملکرد در رقم DPX نسبت به ارقام دیگر کمتر و برای تمام دوره رشد کمتر از واحد است. این نتیجه نشان می‌دهد که به ازای کاهش مقدار مشخصی از تبخیر- تعرق، عملکرد در رقم DPX به نسبت کمتری کاهش می‌یابد و در نتیجه این رقم نسبت به دو رقم دیگر در مقابل خشکی مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد. متوسط دو ساله ضریب K_y برای ارقام سحر، G₃، و DPX به ترتیب برابر با ۱/۱، ۱/۰۶، و ۰/۹۲ است (شکل ۴). به طور مثال، اگر در رقم سحر مقدار تبخیر- تعرق به اندازه ۶۰ درصد کاهش یابد، عملکرد نسبی به اندازه ۶۶ درصد

کاهش می‌یابد، در حالی که در رقم DPX اگر مقدار تبخیر- تعرق به همان اندازه کاهش یابد، عملکرد نسبی به اندازه ۵۵ درصد (۰/۶۶ = ۰/۶ × ۱/۱) کاهش می‌یابد، در حالی که در رقم K_y خواهد یافت. در نتیجه، از برآیند مباحث فوق و K_y به دست آمده می‌توان گفت که رقم DPX در شرایط کمبود آب واکنش مناسب‌تری از خود بروز می‌دهد. برای مناطقی که قرار است چند نوع گیاه کاشته شود، اگر هدف حصول حداکثر تولید به ازای واحد حجم آب باشد، رقم K_y بالاتر برای ذخیره آب ترجیح داده می‌شود و هرگاه فقط حداکثر تولید مد نظر باشد (زمین عامل محدودکننده نباشد) مقدار آب قابل دسترس باید مستقیماً برای آبیاری کامل رقم K_y بالا استفاده شود و رقم دارای K_y پایین‌تر لازم است کم‌آبیاری شود، ولی سطح زیر کشت آن به‌منظور تولید کل افزایش یابد. مطالعات جامع‌تر نیاز است تا حساسیت

مراحل مختلف رشد گیاه نسبت به آب نیز بررسی شود. به این معنی که K_y گیاه در تمام مراحل رشد یکسان نیست. دورنباس و کسام (Doorenbos & Kassam, 1979) مقدار K_y سویا را برای کل دوره رشد معادل ۰/۸۵ و روسادی و همکاران (Rosadi *et al.*, 2007) در دو نوع خاک آلتی سول (Ultisol) و لاتوسول (Latosol) به ترتیب برابر ۰/۸ و ۱/۷۴ برآورد کردند. مشاهده می‌شود که K_y رقم DPX کمتر از واحد (۰/۹۲) و نسبت به رقم‌های دیگر نزدیک‌تر به K_y به دست آمده در تحقیقات دورنباس و کسام (Doorenbos & Kassam, 1979) برای کل دوره رشد سویاست.



شکل ۴- تغییرات افت نسبی عملکرد در مقابل تغییرات افت نسبی تبخیر و تعرق ارقام مختلف سویا

نتیجه‌گیری

نتیجه این رقم نسبت به دو رقم دیگر در مقابل خشکی مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد. مقایسه کمی دو راهبرد آبیاری کامل و کم‌آبیاری نشان می‌دهد اگر تولید کننده به جای آبیاری کامل بخشی از مزرعه، سطح زیر کشت را با استفاده از روش کم‌آبیاری افزایش دهد، تولید کل و مجموع درآمد او افزایش خواهد یافت. به استناد روابط آب - عملکرد مشتق شده، اگر بارندگی مؤثر روی ندهد، مقدار بهینه آب آبیاری در شرایط کم‌آبیاری برای سه رقم تقریباً یکسان و برابر با ۴۳۰ میلی‌متر خواهد بود. در شرایط آبیاری کامل، برای حصول به حداکثر عملکرد ارقام سحر، G₃، و DPX به ترتیب به مقدار ۵۵۰، ۵۸۰ و ۶۴۰ میلی‌متر آب کاربردی (مجموع باران مؤثر و آب آبیاری) نیاز خواهد بود.

نتایج مقایسه‌ای عملکرد سه رقم سویا تحت تأثیر مقدار مختلف آب طی دو سال بررسی نشان می‌دهد که ارقام سویا واکنش متفاوتی نسبت به آب دارند و می‌توان رقم مناسب را برای بهبود تولید، ضمن بهره‌وری مناسب‌تر از آب، انتخاب کرد. به‌طور کلی مقایسه واکنش عملکرد ارقام نسبت به مقادیر مختلف آب و برآورد ضریب واکنش به آب آنها (K_y) حاکی است که به منظور افزایش تولید و استفاده بهینه از منابع محدود آب رقم DPX نسبت به ارقام دیگر برتری دارد. در این پژوهش برای ارقام سحر، G₃، و DPX به ترتیب برابر با ۱/۱، ۱/۰۶، و ۰/۹۲ برآورد شد. برتری که نشان می‌دهد کاهش عملکرد رقم DPX متناسب با میزان کاهش تبخیر- تعرق نیست و در

مراجع

- Anon. 2001. *FAOSTAT Statistical Database*. FAO. <http://www.fao.org/>
- Anon. 2002. *Crop Water Management: Soybean*. <http://www.fao.org/AG/AGL/aglw/cropwater/soybean.stm> (verified 1 Feb.2008). FAO, Rome. Italy.
- Boydak, E., Alpaslan, M., Hayta, M., Gercek, S. and Simsek, M. 2002. Seed composition of soybeans grown in the Harran region of Turkey as affected by row spacing and irrigation. *J. Agric. Food Chem.* 50, 4718–4720.
- Dogan, E., Kirnak, H. and Copur, O. 2007. Effect of seasonal water stress on soybean and site specific evaluation of CROPGRO-Soybean model under semi-arid climatic conditions. *Agric. Water Manage.* 90, 56-62.
- Doorenbos, J. and Kassam, A. H. 1979. Yield response to water. FAO, Roma. Paper No: 33, 1-57.
- Elmore, R. W., Eisenhauer D. E., Specht J. E. and Williams J. H. 1988. Soybean response to limited capacity sprinkler irrigation systems. *J. Prod. Agric.* 1:196.
- English, M. J. 1990. Deficit irrigation-I: analytical framework. *J. Irrig. Drain. Eng.* 116,399-412.
- Grimes, D. W., Yamada, H. and Dickens, W. L. 1961. Functions for cotton production from irrigation and nitrogen fertilizer variable, I: Yield and evapotranspiration. *Agron. J.* 61(5): 769-773.

- Hu, X. 2009. Comparative response of early-maturing and late-maturing soybean cultivars to an irrigation gradient. M.Sc. Thesis. University of Arkansas. USA. Division of Agriculture. P133.
- Jones, J. W. and Smajstrla, A.G. 1980. Application of modeling to irrigation management of soybean. In: Corbin, FT. (Ed) Proceedings of the 2nd World Soybean Research Conference. Mar. 26-29 1979. Raleigh, NC. Westview Press. Boulder. P 571.
- Karama, F., Masaad, R., Sfeir, T., Mounzer, O. and Roupael, Y. 2005. Evapotranspiration and seed yield of field grown soybean under deficit irrigation conditions. *Agric. Water Manage.* 75, 226-244.
- Katerji, N., Hamdy, A., Raad, A. and Mastrorilli, M. 1991. Consequence d'une contrainte hydrique appliquée a différentes stades phenologiques sur le rendement des plantes de pois. *Agronomie* 11, 679-687.
- Khanjani, M. J. and Busch, J. R., 1982. Optimal irrigation water use from probability and cost benefit analysis. *Trans. ASAE.* 25(4): 961-965.
- Kiani, A. R., Mirlatifi, M., Homaei, M. and Cheraghi, A. M. 2005. Water use efficiency of wheat under salinity and water stress conditions. *J. Agric. Eng. Res.* 24, 47-64. (in Farsi).
- Kipkorir, E. C., Raes, D. and Masaje, B. 2002. Seasonal water production functions and yield response factors for maize and onion in Perkerra. Kenya. *Agric. Water Manage.* 56(3):229-240.
- Kirda, C., Kanber, R. and Tulucu, K. 1999. Yield response of cotton, maize, soybean, sugar beet, sun flower and wheat to deficit irrigation: Inc. Kirda, P. Moutonnet, Hera, C. and Nielsen, D. R. (Eds.) *Crop yield response to deficit irrigation.* Dordrecht, The Netherlands. Kluwer Academic Publishers.
- Kiziloglu, F., Sahin, U., Kuslu, Y. and Tunc, T. 2008. Determining water-yield relationships, water use efficiency, and crop and pan coefficients for silage maize in a semiarid region. *Irrig. Sci.* 10.1007/s00271-008-0127-y (in Press).
- Korte, L. L., Williams J. H., Specht, J. E., and Sorenson, R.C. 1983a. Irrigation of soybean genotypes during reproductive ontogeny. I. *Agron. Resp. Crop Sci.* 23, 521-527.
- Korte, L. L., Specht, J. E., Williams, J. H. and Sorenson, R. C. 1983b. Irrigation of soybean genotypes during reproductive ontogeny. II. *Yield Comp. Res. Crop Sci.* 23,528-538.
- Payero, J. O., Melvin, S. R., Irmak, S. and Tarkalson, D. 2006. Yield response of corn to deficit irrigation in a semi arid climate. *Agric. Water Manage.* 84, 101-112.
- Rosadi, R. A. B., Afandi, M., Senge, M., ITO, K. and Adomako, J. T. 2007. The effect of water deficit in typical soil types on the yield and water requirement of soybean in Indonesia. *JARQ.* 41(1): 47-52.

- Smith, M. 1992. Cropwat: A computer program for irrigation planning and management. FAO Irrig. and Drain. Paper No. 46, 126.
- Sepaskhah, A. R. and Akbari, D. 2005. Deficit irrigation planning under variable seasonal rainfall. Biosys. Eng. 92(1): 97-106.
- Specht, J. E., Williams, J. H. and Weidenbenner, C. J. 1986. Differential responses of soybean genotypes subjected to a seasonal soil water gradient. Crop Sci. 26, 922-934.
- Specht, J. E., Elmore, R. W., Eisenhauer, D. E. and Klocke, N. W. 1989. Growth stage scheduling criteria for sprinkler irrigated soybean. Irrig. Sci. 10, 99-111.
- Stegman, E. C., Schatz, B. G. And Gardner, J. C. 1990. Yield sensitivities of short season soybeans to irrigation management. Irrig. Sci. 11, 111-119.
- Stewart, J. I. and Hagan, R. M. 1973. Functions to predict effects of crop water deficits. J. Irrig. Drain. Eng. 99(IR4):421-439.
- Touk, J. A., and Howell, T. A. 2003. Water use efficiency of grain sorghum grown in three USA southern great plains soils. Agric. Water Manage. 59(2): 97-111.
- Zhang, H. and Oweis, T. 1999. Water- yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. Agric. Water Manage. 38, 195-211.



Optimal Irrigation Scheduling Based on Water-Yield Relations in Soybean Cultivars

A. R. Kiani*

* Corresponding Author: Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Agriculture and Natural Resources Research Center, P. O. Box: 49165-363, Golestan, Iran. Email: akiani71@yahoo.com

Water shortage in the agricultural sector is currently a major challenge in crop production. The more efficient water usage is that which increases yield without increasing water use. Thus, a determination of the water-yield relationship is essential. A field study was conducted to examine water-yield relations in three genotypes of soybeans, including optimum irrigation depth, a comparison of deficit and full irrigation, and the yield response factor (K_y) at Gorgan Research Station in the 2005 and 2006 growing seasons. Four irrigation treatments (W1, W2, W3 and W4) were identified according to their decline in irrigation caused by increased distance from the line source. Testing was based on a strip plot design and examined the effect of fixed irrigation rates on three cultivar treatments (SAHAR, G3, DPX) with four replications. Each irrigation treatment of each strip was divided into three cultivar treatments along the length of the laterals. Results indicated that the grain yield was affected by irrigation treatment and cultivars. The highest grain yield was obtained by treatment W1 (3306 Kg/ha) with the DPX cultivar (2905 Kg/ha). Under deficit irrigation scheduling, when effective rainfall (P) during the growing season is negligible, the optimum values for irrigation water (I) showed little difference between cultivars and were obtained at 430 mm. Under full irrigation, the SAHAR, G3 and DPX cultivars required 437, 467 and 523 mm of irrigation water and 550, 580 and 640 mm of applied water ($I+P$), respectively. K_y for SAHAR, G3 and DPX for the total growing season were 1.1, 1.06 and 0.92, respectively. The DPX cultivar had the lowest K_y (0.92) and, therefore, is a more suitable response to water deficit than were the other cultivars.

Key Words: Gorgan, Production Function, Soybean, Sprinkler Irrigation, Yield Response Factor