

شبیه‌سازی برنامه‌ریزی آبیاری گیاه سویا با استفاده از مدل BUDGET

مهدی سرائی تبریزی*

(*) دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مهندسی آب، تهران، ایران، نویسنده مسئول مکاتبات: m.sarai@srbiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۲/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۱/۳/۱۰

چکیده

پیش‌بینی و برنامه‌ریزی دقیق آبیاری گیاهان می‌تواند ضمن جلوگیری از تنش‌های احتمالی دوره‌ای، کارایی مصرف آب را نیز افزایش دهد. در این پژوهش، عملکرد مدل BUDGET در برنامه‌ریزی آبیاری در مقابل داده‌های تحت مدیریت کم آبیاری سویا برای دو سال زراعی متوالی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸ مورد ارزیابی قرار گرفت. این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تیمار آبیاری سطحی شیاری شامل تیمار آبیاری کامل (تیمار شاهد)، تیمار کم آبیاری سستی در حد ۷۵ و ۵۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک و تیمار آبیاری بخشی منطقه ریشه در حد ۵۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک انجام شد. هر تیمار دارای سه تکرار بود. نتایج نشان داد که شاخص‌های ارزیابی مدل RMSE و CRM در سال ۱۳۸۷ به ترتیب برابر ۳/۹۱ و ۰/۱۸- و در سال ۱۳۸۸ به ترتیب ۴/۷۶ و ۰/۱۱- بود. شاخص EF در سال زراعی ۸۷ و ۸۸ به ترتیب برابر ۰/۶۹ و ۰/۷۸ به دست آمد که نشان دهنده کارایی قابل قبول مدل در پیش‌بینی عملکرد می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که کاربرد مدل BUDGET با اصلاح ضرایب گیاهی در مراحل مختلف رشد گیاه و ویژگی‌های خاک و گیاه می‌تواند نتایج دقیق‌تری ارائه کند. همچنین، نتایج حاصل از تحلیل حساسیت مدل نشان داد که مدل BUDGET نسبت به عمق آب آبیاری و رطوبت اولیه خاک در تیمار آبیاری کامل حساسیت کمی دارد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی آبیاری؛ سویا؛ کم آبیاری؛ مدل BUDGET

مقدمه

مرزی وارد کشور می‌شود. بنابراین کل پتانسیل آبی کشور حدوداً ۱۳۰ میلیارد مترمکعب است. از این مقدار، در حال حاضر حدود ۵/۸۸ میلیارد مترمکعب به مصرف می‌رسد که ۸۲/۵ میلیارد مترمکعب (۹۳ درصد) آن به بخش کشاورزی، ۴/۵ میلیارد مترمکعب به بخش شرب (۵/۱ درصد) و ۱/۵ میلیارد مترمکعب به مصارف متفرقه (۱/۷ درصد) اختصاص یافته است (بابازاده و همکاران، ۱۳۸۶).

مطالعه واکنش گیاه نسبت به شرایط تنش آبی و تعیین پارامترهای مرتبط برای تدوین یک برنامه

بیان منابع آب در ایران نشان می‌دهد که از مجموع حدود ۴۱۳ میلیارد مترمکعب آب ناشی از متوسط بارش سالیانه ۲۵۲ میلی‌متر، ۲۹۶ میلیارد مترمکعب آن حدود (۷۱/۷ درصد) از طریق تبخیر و تعرق به اتمسفر بر می‌گردد. از ۱۱۷ میلیارد مترمکعب باقی‌مانده، ۲۵ میلیارد مترمکعب آن به صورت تغذیه منابع آب زیرزمینی به اعماق زمین راه پیدا می‌کند و ۹۲ میلیارد مترمکعب را جریان‌های سطحی تشکیل می‌دهد. سالانه حدود ۱۳ میلیارد مترمکعب آب از طریق رودخانه‌های

- ✓ تعیین میزان تنش در اعمال کم آبیاری و کشت دیم
- ✓ طراحی و ارائه یک برنامه ریزی آبیاری
- ✓ شبیه سازی و بررسی توازن املاح موجود در خاک
- ✓ شبیه سازی و ارزیابی استراتژی های مختلف آبیاری جهت افزایش بهره وری آب آبیاری

$$\frac{\Delta \theta_i}{\Delta t} = \tau(\theta_{sat} - \theta_{fc}) \frac{e^{(\theta_i - \theta_{fc})} - 1}{e^{(\theta_{sat} - \theta_{fc})} - 1} \quad (1)$$

که در آن $\Delta \theta_i$ تغییرات درصد رطوبت حجمی خاک در عمق i و Δt گام زمانی است. که نسبت این دو پارامتر نشان دهنده مقدار کاهش درصد رطوبت حجمی خاک در گام زمانی Δt است. ضریب τ مشخصه زهکشی است. این ضریب نشان دهنده آب موجود در هر لایه خاک اشباع در انتهای اولین روز زهکشی است. این ضریب نشان دهنده قسمتی از کل آب قابل زهکشی بین نقطه اشباع و نقطه ظرفیت زراعی قرار گرفته است. مقدار این ضریب عددی بین صفر و یک است که هر چه مقدار آن بیشتر باشد نشان دهنده قابلیت زهکشی بالاتر می باشد.

رابطه (۲) به عنوان تابع زهکشی در این مدل در نظر گرفته شده و مقدار آب از دست رفته به وسیله زهکشی آزاد را به عنوان یک تابع زمانی برای هر خاک بین نقاط پتانسیلی اشباع و ظرفیت زراعی را محاسبه می کند. همچنین مقدار عمق آب که از خاک خارج می شود (D) در آخر هر روز به وسیله رابطه (۲) در مدل محاسبه می شود (Raes, 2002 and Raes et al., 2006).

$$D = 1000 \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \Delta z \Delta t \quad (2)$$

آبیاری اثربخش جهت دستیابی به یک مدیریت قابل قبول در سطح مزرعه امری ضروری است (ایزانلو و همکاران، ۱۳۸۴). یکی از ابزارهایی که این گونه مطالعات را امکان پذیر می کند مدل های کامپیوتری می باشند. جهت انجام محاسبات مربوط به برنامه ریزی آبیاری، تاکنون مدل های کامپیوتری متعددی تهیه شده که از آن جمله می توان به مدل کامپیوتری BUDGET اشاره نمود. الگوریتم و پیکربندی اصلی این مدل توسط Raes (2002) در دانشگاه لوون بلژیک ارائه شد. در این مدل روش های محاسبات مربوط به نیاز آبی محصولات مختلف و نیازمندی های آبیاری بر مبنای روش های ارائه شده در نشریات فائو (نشریه ۵۶ و ۳۳) پی ریزی شده است (Doorenbos and Pruitt, 1977; Doorenbos and Kasam, 1979; Allen et al, 1998). روش توازن یا بیلان آب در خاک بر پایه محاسبات جبری بین پارامترهای معادله بیلان آب و بررسی جریان آب های ورودی و خروجی به حجم کنترل مورد مطالعه و بررسی مداوم رطوبت موجود در خاک در دوره کشت استوار است. مدل BUDGET در سال ۲۰۰۲ در دانشکده کشاورزی و علوم بیولوژیک کاربردی و مؤسسه زمین و مدیریت آب در بلژیک تهیه و ارائه شد (Raes, 2002).

مدل BUDGET از روش بیلان آب در خاک که نیاز به داده های کمی دارد، با استفاده از روش محاسبه تفاضل محدود در جهت نشان دادن وضعیت پروفیل رطوبتی خاک (میزان رطوبت موجود در خاک در طول فصل کشت) و در نهایت ارائه برنامه ریزی آبیاری استفاده می نماید (Raes et al., 2006). مدل BUDGET از شبیه سازی توازن آب در خاک چهار هدف اصلی زیر را مد نظر دارد:

کنترل توسط آبیاری و بارندگی که در پروفیل خاک نفوذ خواهد کرد، به راحتی قابل محاسبه می‌باشد (Raes et al., 2006).

مدل BUDGET ترکیبی از مجموعه‌ای از زیر برنامه‌های ارزیابی شده است که فرآیندهای جذب آب توسط ریشه‌های گیاه و حرکت آب در پروفیل خاک را طبق قانون سرنگشتی ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ در بر می‌گیرد. در مراحل وقوع تنش آبی به گیاه، کاهش عملکرد محصول به وسیله تعیین ضریب حساسیت گیاه به کم آبی (K_y) (نشریه ۳۳ فائو) برآورد می‌شود (معادله ۵) (Doorenbos and Kassam, 1979; Doorenbos and Raes, 2002).

$$K_y = \left[1 - \frac{Y_a}{Y_{\max}} \right] \times \left[1 - \frac{ET_a}{ET_{\max}} \right]^{-1} \quad (5)$$

در این برنامه داده‌های هواشناسی به صورت روزانه، دوره‌های ۱۰ روزه و یا به صورت ماهانه می‌تواند به عنوان داده ورودی مدل استفاده شود. شبیه‌سازی هم به همین صورت متغیر می‌تواند باشد. این مدل توانایی دارد ارزیابی تنش آبی را تحت شرایط دیم و آبی، برآورد ضریب حساسیت گیاه به کم آبی (K_y)، طراحی و ارائه برنامه آبیاری، مطالعه ساختمان و وضعیت نمک در منطقه توسعه ریشه و ارزیابی استراتژی‌ها مختلف آبیاری می‌باشد. این مدل نیاز به پارامترهای خاک (بافت خاک، عمق لایه‌های مختلف و متوسط کل عمق خاک)، پارامترهای گیاهی و اقلیمی دارد. در مدل ساده شده منطقه توسعه ریشه به عنوان یک مخزن منفرد در نظر گرفته شده است (شکل ۱).

که در آن عمق خاک با ΔZ نشان داده می‌شود. در زیرمدل رواناب میزان بارش از دست رفته بر اساس روش شماره منحنی^۱ که توسط سازمان حفاظت از منابع طبیعی آمریکا^۲ ارائه شده است، محاسبه می‌شود. بعد از اشباع شدن سطح خاک بارندگی به شکل رواناب جاری می‌شود و زمانی که فرض می‌شود آبیاری کاملاً کنترل شده است زیر مجموعه رواناب، مقدار آب نفوذ کرده به خاک را محاسبه می‌کند. بیشترین مقدار آبی که توسط بارندگی و یا آبیاری به خاک نفوذ می‌کند وقتی بزرگتر از شدت نفوذ نهایی خاک باشد به عنوان رواناب فرض می‌شود که بر خلاف علم هیدرولوژی در علوم و مهندسی آبیاری به عنوان تلفات آب آبیاری در مدل محسوب می‌شود. در این زیر مدل میزان رواناب سطحی^۳ و حداکثر پتانسیل ذخیره^۴ با استفاده از روابط ۳ و ۴ محاسبه می‌شوند.

$$RO = \frac{[P - 0.2S]^2}{P + S - 0.2S} \quad (3)$$

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (4)$$

که در آن RO رواناب بر حسب میلی‌متر، P میزان بارندگی بر حسب میلی‌متر، CN شماره منحنی نفوذ خاک مورد مطالعه و S حداکثر پتانسیل ذخیره بر حسب میلی‌متر است.

آخرین زیر برنامه این مدل، زیر برنامه نفوذ می‌باشد. میزان رواناب سطحی، عمق آب زهکشی و تعیین میزان تبخیر و تعرق توسط مدل محاسبه شده و همچنین باقی‌مانده آب تغذیه‌کننده حجم

¹ Curve Number method

² Natural Resources Conservation Service (NRCS)

³ Surface Run off (RO)

⁴ Potential Maximum Storage (S)

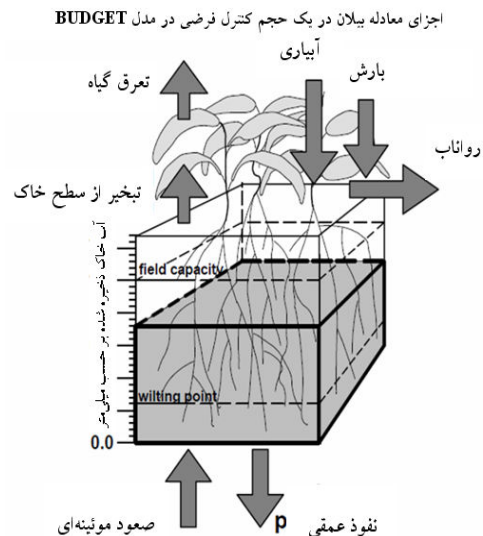
ظهوره‌وند و همکاران (۱۳۸۸) مدل BUDGET را فقط به صورت تئوری مورد ارزیابی قرار دادند. بررسی پارامترهای پیش فرض مدل و مثال‌های نمونه آن نشان داد که این مدل بر اساس معادله بیلان آب در خاک که نیاز به داده‌های کم و در دسترس دارد قادر است در حد قابل قبول عملکرد محصول را برآورد نماید.

Misra et al. (2010) رقم ۲۰ گندم تحت سه رژیم آبیاری شامل: آبیاری کامل و دو تیمار کم آبیاری سستی در دو سال زراعی با استفاده از مدل BUDGET را مطالعه کردند. نتایج نشان داد که مدل عملکرد و کارایی مصرف آب محصول را می‌تواند به خوبی در هر سه رژیم آبیاری شبیه‌سازی نماید و بهترین برآورد عملکرد محصول در تیمار آبیاری کامل حاصل شد.

ویژگی این تحقیق جایگزینی مقادیر واقعی پارامترهای گیاهی مرتبط با برنامه‌ریزی آبیاری شامل: ضرایب گیاهی، متوسط ارتفاع گیاه، طول دوره رشد محصول در مراحل مختلف، تاریخ کاشت گیاه سویا رقم ویلیامز و همچنین استفاده از مدل BUDGET برای شبیه‌سازی عملکرد محصول در تیمارهای مختلف بود. هدف ثانویه این تحقیق ارزیابی قابلیت مدل BUDGET در برآورد عملکرد محصول سویا تحت اعمال چهار تیمار مختلف آبیاری بود.

مواد و روش‌ها

برای ارزیابی توانایی مدل BUDGET در شبیه‌سازی عملکرد محصول و کارایی مصرف آب و همچنین تحلیل حساسیت آن از آزمایشی که در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی کرج در دو سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸ انجام گرفته بود استفاده شد. منطقه مورد مطالعه در موقعیت طول جغرافیایی ۵۱ درجه شمالی و عرض جغرافیایی ۳۶



شکل ۱- شماتیک پروفیل خاک در منطقه ریشه به عنوان یک مخزن در مدل BUDGET

Kipkorir et al., (2002) در منطقه نیمه خشک در کنیا توابع تولید محصول- آب و ضرایب واکنش عملکرد محصول را برای دو گیاه ذرت و پیاز با استفاده از مدل BUDGET برآورد و مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که این مدل در برآورد عملکرد محصول، درصد کاهش عملکرد محصول به ویژه در تیمارهای با تنش کم و یا بدون تنش آبی نتایج رضایت بخشی را به همراه دارد.

Raes et al., (2006) در شمال تونس در کشت گندم زمستانه و در غرب برکینافاسو در کشت ذرت طی یک مطالعه چند ساله ضریب واکنش عملکرد محصول را با استفاده از مدل BUDGET مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد محصول شبیه‌سازی شده با مدل با عملکرد محصول مشاهده شده کاملاً در هر دو موقعیت مکانی قابل قبول بود به نحوی که مقدار ضریب همبستگی بین عملکرد محصول مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در دامنه ۰/۸۷ تا ۰/۹۴ با شاخص کارایی مدل‌سازی بسیار بالا به دست آمد. مجذور میانگین مربعات خطا نسبتاً کوچک بوده و دامنه آن بین ۷ تا ۹ درصد به دست آمد.

$$CRM = \left\{ \sum_{i=1}^n Q_i - \sum_{i=1}^n P_i \right\} / \sum_{i=1}^n Q_i \quad (9)$$

$$SD = \left\{ \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_i)^2 / n \right\} \quad (10)$$

$$CD = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_i)^2} \right] \quad (11)$$

که در روابط فوق P_i مقادیر پیش‌بینی شده، Q_i مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده‌ای)، n تعداد نمونه‌های به کار رفته، $\bar{Q}_i$ مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده می‌باشد. حداقل مقدار ME ، $RMSE$ و CD صفر است. حداکثر مقدار EF برابر یک می‌باشد. EF و CRM می‌توانند مقادیری منفی داشته باشند. مقدار زیاد ME نشانگر بدترین حالت کارکرد مدل است در حالی که $RMSE$ نشان می‌دهد که برآورد بیش از حد و یا کمتر از حد مدل در مقایسه با مشاهدات (اندازه‌گیری‌ها) چقدر است. شاخص CD نسبت پراکندگی^۷ را بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. مقدار شاخص EF ، مقادیر پیش‌بینی‌ها را با میانگین اندازه‌گیری‌ها مقایسه می‌کند. مقدار منفی EF بیانگر آن است که میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، برآورد بهتر از مقادیر پیش‌بینی شده دارد. شاخص CRM نشانگر تمایل مدل برای برآورد بیش از حد و یا کمتر از حد در مقایسه با اندازه‌گیری‌ها می‌باشد. چنانچه تمام مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده با هم برابر شوند، مقدار عددی شاخص‌های $RMSE$ ، ME و CRM برابر صفر و مقدار شاخص CD و

درجه شرقی و ارتفاع ۱۳۱۲ متر از سطح دریا قرار گرفته است. بافت خاک مزرعه لوم و با متوسط ظرفیت زراعی (θ_{fc}) ۳۲/۲٪ حجمی و جرم مخصوص ظاهری خاک ۱/۵۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب برای عمق تا ۶۰ سانتی‌متری خاک بود. تیمارهای آبیاری شیاری اعمال شده عبارت بودند از: تیمار آبیاری بخشی منطقه ریشه (Partial Root Drying) در حد ۵۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک ($PRD_{50\%}$)، تیمار آبیاری کامل (در حد ۱۰۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک) ($FI_{100\%}$)، تیمار کم آبیاری سنتی در حد ۵۰ و ۷۵ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک ($DI_{50\%}$ و $DI_{75\%}$) (Sarai Tabrizi et al., 2012).

برای ارزیابی مدل از ضریب کارایی مدل‌سازی (EF)^۱، ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$)^۲، میانگین خطای مطلق (MAE)^۳، ضریب مقدار باقیمانده (CRM)^۴، شاخص انحراف معیار (SD)^۵ و ضریب تبیین (CD)^۶ که در روابط ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ ارائه شده‌اند، استفاده شد.

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_i)^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_i)^2} \quad (6)$$

$$RMSE = \left\{ \sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2 / n \right\} \quad (7)$$

$$MAE = \left\{ \sum_{i=1}^n |Q_i - P_i| \right\} / n \quad (8)$$

¹ Modeling Efficiency

² Root Mean Square Error

³ Mean Absolute Error

⁴ Coefficient Residual Mass

⁵ Standard Division

⁶ Correlation Coefficient

⁷ -Scatter Ratio

مدل دارند به خوبی تعیین شده و مدل تحلیل حساسیت شده است.

$$Sc = \frac{\frac{\Delta W}{\bar{W}}}{\frac{\Delta P}{\bar{P}}} \quad (12)$$

که در آن S_c ضریب حساسیت بدون بعد، ΔW اختلاف مقدار پارامتر خروجی قبل و بعد از تغییر پارامتر ورودی، $\bar{W}$ متوسط پارامتر خروجی قبل و بعد از تغییر پارامتر ورودی، ΔP اختلاف مقادیر پارامتر ورودی و $\bar{P}$ متوسط مقادیر ورودی یک پارامتر به مدل می‌باشد. برای استفاده از رابطه ۸ برای تحلیل حساسیت مدل دامنه تغییرات ضریب حساسیت توسط Liu et al., (2007) پیشنهاد شده است (جدول ۱).

مقادیر آبیاری تیمارهای مختلف طی دو سال زراعی در جدول ۲ ارائه شده است.

EF برابر یک می‌شوند. SD شاخص انحراف معیار است. اگر $RMSE$ کمتر از SD باشد، نشان‌دهنده کارکرد مطلوب مدل است. هرگاه CRM منفی شود به معنی آن است که مدل تمایل به برآورد بالاتر از مقادیر اندازه‌گیری شده دارد. در صورتی که همه مقادیر پیش‌بینی شده برابر مقادیر اندازه‌گیری شده باشند، شاخص MAE ، $RMSE$ ، SD و CRM برابر با صفر خواهند شد (Loague and Green, 1991; Homaei et al., 2002).

برای تحلیل حساسیت مدل BUDGET، ابتدا با استفاده از رابطه ضریب حساسیت (رابطه ۱۲)، این مدل تحلیل حساسیت شده و پارامترهایی که بیشترین تأثیر را روی نتایج (داده‌های خروجی) حاصل از شبیه‌سازی مدل دارند مشخص شده و بر اساس این داده‌ها و تغییر آن و مقایسه خروجی مدل با داده‌های واقعی حاصل از مطالعه میدانی در سطح مزرعه، تا حدی که نتایج شبیه‌سازی مدل نسبت به مقادیر واقعی اختلاف ناچیزی نشان‌دهند که اصطلاحاً بتوان گفت پارامترهای که بیشترین تأثیر را روی نتایج خروجی

جدول ۱- طبقه‌بندی پیشنهاد شده برای دامنه تغییرات ضریب حساسیت

دامنه تغییرات	$S_c = 0$	$0 < S_c < 0.3$	$0.3 < S_c < 1/5$	$S_c > 1/5$
شدت حساسیت	بدون حساسیت	حساسیت کم	حساسیت متوسط	حساسیت زیاد

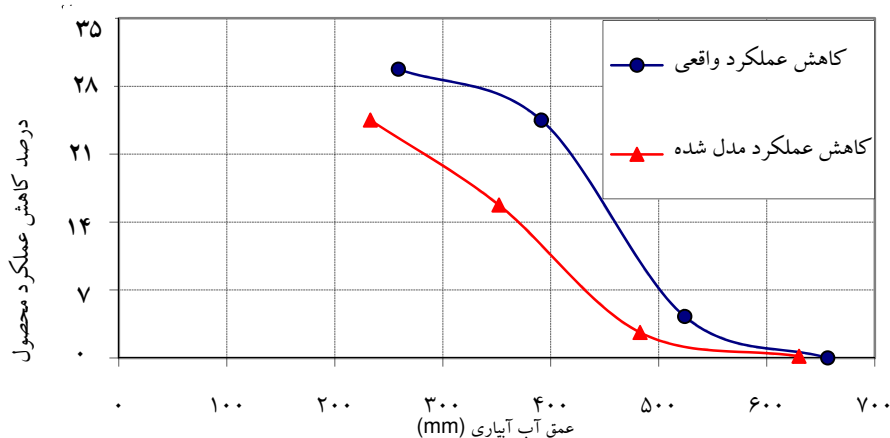
جدول ۲- طبقه‌بندی پیشنهاد شده برای دامنه تغییرات ضریب حساسیت

سال ۱۳۸۸-۸۹					سال ۱۳۸۷-۸۸				
PRD _{50%} (mm)	DI _{50%} (mm)	DI _{75%} (mm)	FI (mm)	زمان آبیاری	PRD _{50%} (mm)	DI _{50%} (mm)	DI _{75%} (mm)	FI (mm)	زمان آبیاری
۲۱	۲۱	۲۱	۲۱	۱۰ خرداد	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۱۳ خرداد
۱۹/۵	۱۹/۵	۱۹/۵	۱۹/۵	۱۷ خرداد	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۲۰ خرداد
۲۲/۷	۲۲/۷	۲۲/۷	۲۲/۷	۲۴ خرداد	۲۱/۵	۲۱/۵	۲۱/۵	۲۱/۵	۲۷ خرداد
۳۱	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱ خرداد	۳۰/۳	۳۰/۳	۳۰/۳	۳۰/۳	۳ تیر
۸/۹	۱۷/۸	۲۶/۷	۳۵/۶	۷ تیر	۳۴	۳۴	۳۴	۳۴	۱۰ تیر
۸/۲	۱۶/۴	۲۴/۵	۳۲/۷	۱۴ تیر	۹/۴	۱۸/۸	۲۸/۱	۳۷/۵	۱۷ تیر
۱۰/۲	۲۰/۴	۳۰/۶	۴۰/۸	۲۱ تیر	۱۰/۵	۲۱	۳۱/۵	۴۲	۲۴ تیر
۱۳/۵	۲۷	۴۰/۵	۵۴	۲۸ تیر	۱۳/۸	۲۷/۵	۴۱/۳	۵۵	۳۱ تیر
۱۲/۵	۲۵	۳۷/۴	۴۹/۹	۴ مرداد	۱۲/۸	۲۵/۵	۳۸/۳	۵۱	۷ مرداد
۱۲/۹	۲۵/۸	۳۸/۶	۵۱/۵	۱۱ مرداد	۱۲/۵	۲۵	۳۷/۵	۵۰	۱۴ مرداد
۱۱/۶	۲۳/۱	۳۴/۷	۴۶/۲	۱۸ مرداد	۱۵/۵	۳۱	۴۶/۵	۶۲	۲۱ مرداد
۱۸/۲	۳۶/۳	۵۴/۴	۷۲/۵	۲۵ مرداد	۱۷/۸	۳۵/۵	۵۳/۳	۷۱	۲۸ مرداد
۱۵/۲	۳۰/۴	۴۵/۶	۶۰/۸	۱ شهریور	۱۳/۳	۲۶/۵	۳۹/۸	۵۳	۴ شهریور
۱۲/۲	۲۴/۳	۳۶/۴	۴۸/۵	۸ شهریور	۱۱/۵	۲۳	۳۴/۵	۴۶	۱۱ شهریور
۸/۱	۱۶/۲	۲۴/۳	۳۲/۴	۱۵ شهریور	۸/۳	۱۶/۵	۲۴/۸	۳۳	۱۸ شهریور
۳/۹	۷/۷	۱۱/۵	۱۵/۳	۲۲ شهریور	۴	۸	۱۲	۱۶	۲۵ شهریور
۳/۳	۶/۵	۹/۸	۱۳	۲۹ شهریور	۳/۵	۷	۱۰/۵	۱۴	۱ مهر
۲۳۲/۹	۳۷۱/۱	۵۰۲/۹	۶۴۷/۴	مجموع مقادیر	۲۵۸/۷	۳۹۱/۱	۵۲۳/۹	۶۵۶/۳	مجموع مقادیر

نتایج و بحث

کاهش عملکرد محصول را تحت اعمال تیمارهای مختلف آبیاری به جز تیمار آبیاری کامل کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده برآورد می‌کند (شکل ۲).

مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل BUDGET 6.2 با نتایج حاصل از مطالعه مزرعه‌ای (میدانی) نشان می‌دهد که مدل درصد



شکل ۲- درصد کاهش عملکرد محصول سویا نسبت به عمق آبیاری در تیمارهای مختلف آبیاری

پیش‌بینی مقدار کمتر درصد کاهش عملکرد محصول در مدل به عوامل مختلفی بستگی داد که یکی از عوامل این است که این مدل تنها اثر تنش آبی را لحاظ می‌کند و دیگر تنش‌ها مانند تنش شوری را در نظر نمی‌گیرد. بر اساس شکل ۲ میزان اختلاف مقادیر مشاهده شده واقعی در سطح مزرعه و مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل دارای اختلاف نسبی کمتری هستند و از روند مشابهی پیروی می‌کنند که دلیل آن ممکن است. اصلاح ضرایب گیاهی سویا در مدل با توجه به مقادیر واقعی این ضرایب که در سطح مزرعه اندازه‌گیری شد، اصلاح طول دوره رشد گیاه در مراحل چهارگانه اصلی رشد شامل مرحله ابتدایی رشد، مرحله رشد و توسعه گیاه، مرحله میانی و نهایی رشد گیاه به ترتیب ۱۸، ۲۴، ۵۴ و ۲۵ روز به جای مقادیر پیش‌فرض مدل که برابر ۱۶، ۱۵، ۳۷ و ۱۸ بود و همچنین اصلاح متوسط ارتفاع گیاه بود که در مدل جایگزین شد (۰/۹ متر به جای ۰/۶۵ متر که پیش‌فرض مدل بود). برای ارزیابی قابل اعتماد بودن نتایج حاصل از پیش‌بینی‌های مدل از نظر توانایی مقایسه نتایج حاصله با نتایج واقعی مزرعه‌ای، از شاخص‌های آماری مناسب استفاده شد. نتایج این بررسی در جدول ۳ آورده شده است. بر اساس جدول ۳ برای تمام تیمارهای آبیاری با توجه به مقادیر ME و RMSE، که مقدار کمی هستند نشان می‌دهد که مدل مقدار کاهش عملکرد محصول را کمتر از مقادیر مشاهده‌ای در سطح مزرعه برآورد کرده است این مسئله در شکل ۱ به وضوح قابل مشاهده می‌باشد، دلیل این تطابق اصلاح برخی پارامترهای مدل می‌باشد که روی برنامه‌ریزی آبیاری به طور قابل توجهی تأثیرگذار می‌باشند. شاخص تبیین (CD) در سال زراعی ۸۷-۸۸ و ۸۸-۸۹ به ترتیب

برابر ۰/۱۹ و ۰/۱۵ می‌باشد که با توجه به این که دامنه تغییرات مقادیر ضریب تبیین بین ۰ تا ۱ می‌باشد این عدد مقدار بسیار اندکی است که نشان می‌دهد مقادیر پراکندگی نتایج پیش‌بینی مدل و نتایج میدانی (مزرعه‌ای) برای مقادیر درصد کاهش عملکرد بسیار اندک است. در نتیجه با توجه به این که از بین بیشمار تنش غیر زنده (تنش آبی، تنش شوری، تنش گرما، تنش تشعشع و ...) تنش آبی و تا حدودی تنش شوری در مدل لحاظ می‌شود و هیچ کدام از تنش‌های زنده (تنش حاصل از آفات، بیماری‌ها، علف‌های هرز و ...) در مدل در نظر گرفته نمی‌شوند. برای تعیین درصد کاهش عملکرد محصول در مناطق مختلف اقلیمی بایستی مطالعات و اصلاحات بیشتری در مدل اعمال گردد. شاخص کارایی مدل‌سازی (EF) برای گیاه سویا با دور آبیاری ۷ روز در سال ۸۷ و ۸۸ به ترتیب برابر با ۰/۶۹ و ۰/۷۸ بود، بنابراین نشان دهنده کارآمدی بالای مدل در پیش‌بینی قابل قبول درصد کاهش عملکرد محصول می‌باشد. شاخص ضریب باقیمانده (CRM) نشان می‌دهد که بین نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل و نتایج مزرعه‌ای در تمامی تیمارها مقادیر منفی بوده که این مطلب مبین این است این مدل عملکرد محصول را برای تمامی تیمارهای آبیاری به غیر از تیمار آبیاری شاهد مقداری بیشتر از شرایط واقعی پیش‌بینی کرده است. در تیمار آبیاری کامل نتایج تقریباً مشابه با مشاهدات مزرعه‌ای به دست آمده است. همچنین نتایج تحلیل حساسیت مدل نشان داد که مدل BUDGET نسبت به عمق آب آبیاری و رطوبت اولیه خاک در تیمار آبیاری کامل حساسیت کمی دارد ولی در بین پارامترهای گیاهی نسبت به تاریخ کاشت بسیار حساس می‌باشد (جداول ۳، ۴ و ۵).

جدول ۳- ارزیابی آماری عملکرد دانه شبیه‌سازی شده توسط مدل BUDGET

ضرایب	سال زراعی ۸۸-۸۷	سال زراعی ۸۹-۸۸
	۸۷	۸۸
CD	۰/۱۹	۰/۱۵
RMSE	۳/۹۱	۴/۷۶
ME	۵/۲۳	۴/۲۵
CRM	-۰/۱۸	-۰/۱۱
SD	۱۶/۷	۱۴/۳۲
EF	۰/۶۹	۰/۷۸

جدول ۴- مقادیر عملکرد محصول اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در سال زراعی ۸۸-۸۷ و ۸۹-۸۸

تیمار آبیاری	کارایی مصرف آب اندازه‌گیری شده (kg/m ³)		کارایی مصرف آب شبیه‌سازی شده (kg/m ³)		درصد انحراف مقادیر	
	سال ۸۸-۸۷	سال ۸۹-۸۸	سال ۸۸-۸۷	سال ۸۹-۸۸	سال ۸۸-۸۹	سال ۸۷-۸۸
FI	۰/۴۴	۰/۴۹	۰/۴۵	۰/۴۶	۲/۲۲	۶/۱۲
DI _{75%}	۰/۵۶	۰/۶۲	۰/۶	۰/۵۹	۶/۶۷	۴/۸۴
DI _{50%}	۰/۷۶	۰/۸۱	۰/۹۹	۰/۸۵	۲۳/۲۳	۴/۷۱
PRD _{50%}	۱/۴۷	۱/۵۷	۱/۸	۱/۶۴	۱۸/۳۳	۴/۲۷

جدول ۵- مقادیر کارایی مصرف آب سویا اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در سال زراعی ۸۸-۸۷ و ۸۹-۸۸

تیمار آبیاری	عملکرد دانه اندازه‌گیری شده (kg/ha)		عملکرد دانه شبیه‌سازی شده (kg/ha)		درصد انحراف مقادیر	
	سال ۸۸-۸۷	سال ۸۹-۸۸	سال ۸۸-۸۷	سال ۸۹-۸۸	سال ۸۸-۸۹	سال ۸۷-۸۸
FI	۳۷۹۷/۶	۴۱۶۵/۷	۳۸۳۹/۴	۴۱۹۲/۸	۱/۱۲	۰/۶۵
DI _{75%}	۳۶۶۷/۱	۳۹۰۲/۵	۳۷۲۳/۲	۳۹۶۶/۱	۱/۵۱	۱/۶
DI _{50%}	۳۲۶۹/۵	۳۴۱۱	۳۵۶۳/۸	۳۷۱۰/۳	۸/۲۶	۸/۰۷
PRD _{50%}	۳۱۸۷/۱	۳۲۲۶/۶	۳۳۵۲/۹	۳۵۲۲/۴	۵/۲۱	۸/۳۹

جدول ۶- تحلیل حساسیت برخی پارامترهای ورودی مدل BUDGET

پارامترهای ورودی مدل	مقدار S_e در حالت +۲۵٪	مقدار S_e در حالت -۲۵٪	درجه حساسیت
پارامترهای گیاهی	تاریخ کاشت	۰/۴۳۰	متوسط- زیاد
	زمان رشد سبزینه‌ای	۰/۵۴۰	متوسط- کم
	زمان رسیدگی فیزیولوژیک	۰/۶۶۰	متوسط- متوسط
	تراکم کشت مطلوب	۰/۴۹۰	متوسط- متوسط
رطوبت اولیه خاک	FI	۰۰/۰	ندارد
	DI _{75%}	۰/۳۷۰	کم- متوسط
	DI _{50%}	۰/۲۶۰	کم- متوسط
	PRD _{50%}	۰/۰۵۰	کم- کم
عمق آب آبیاری	FI	۰۰/۰	ندارد
	DI _{75%}	۰/۰۴۰	کم- کم
	DI _{50%}	۰/۰۲۰	ندارد- کم
	PRD _{50%}	۰/۲۶	کم- متوسط

نتیجه‌گیری

آب آبیاری کارایی مدل کم می‌شود و درصد انحراف مقادیر اندازه‌گیری‌شده شبیه‌سازی‌شده افزایش می‌یابد. Raes et al., (2006) گزارش کردند که این مدل حساسیت کمی به رطوبت اولیه خاک دارد. همچنین تحقیقات آنها نشان داد که این مدل عملکرد را در تیمار آبیاری کامل با حداقل انحراف (کمتر از ۲ درصد) شبیه‌سازی می‌کند. در این تحقیق بر اساس نتایج جدول ۴، درصد انحراف در هر دو سال زراعی برای عملکرد محصول در تیمار آبیاری کامل (تیمار شاهد) شبیه‌سازی شده کمتر از ۲ درصد به دست آمد.

نتایج این تحقیق نشان داد که مدل BUDGET در تخمین درصد کاهش عملکرد محصول تحت سناریوهای مختلف آبیاری در صورت اصلاح پارامترهای مدیریتی مدل با مقادیر واقعی به جای مقادیر پیش‌فرض مدل می‌تواند نتایج قابل قبولی ارائه نماید. مدل توانست به خوبی عملکرد محصول و کارایی مصرف آب را در تیمار آبیاری کامل (تیمار شاهد) شبیه‌سازی نماید. به علت اینکه مدل هیچکدام از تنش‌های زنده را در نظر نمی‌گیرد و همچنین از بین تنش‌های غیر زنده فقط تنش آبی را لحاظ می‌کند. کارایی مدل در تیمارهای مختلف آبیاری مشابه نیست به نحوی که با کاهش عمق

منابع مورد استفاده

- ایرانلو، ع.، زینالی خانقاه، ح.، حسین‌زاده، ع.، مجنون حسینی، ن. و سبک‌دست، م. ۱۳۸۴. بررسی عکس‌العمل ارقام تجاری سویا در شرایط تنش رطوبتی در اواخر مرحله زایشی. مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۶ (۴): ۱۰۲۳-۱۰۱۱.
- بابازاده، ح.، صدقی، ح.، کاوه، ف. و موسوی جهرمی، ح. ۱۳۸۶. ارزیابی بهره‌برداری از سد مخزنی جیرفت در شرایط طرح توسعه و رسوبگذاری دوره‌های مختلف با استفاده از مدل Hec-Resim. مجله
- علمی و پژوهشی علوم کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ۱۳ (۳): ۵۹۹-۶۰۹.
- ظهروند، ع.، کاوه، ف. و سرائی تبریزی، م. ۱۳۸۸. بررسی مدل Water-BUDGET جهت برنامه‌ریزی صحیح آبیاری و افزایش بهره‌وری و بهینه‌سازی مصرف آب. دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن،

- Journal of Experimental Botany, 58 (13): 3567-3580.
- 9) Loague, K., and Green, R. E. 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. Journal of Contaminant Hydrology, 7: 51-73.
 - 10) Misra, S. C. Shinde S. Geerts S. Rao V. S. Monneveux P. 2010. Can carbon isotope discrimination and ash content predict grain yield and water use efficiency in wheat?. Agricultural Water Management, 97 (2): 57-65.
 - 11) Raes, D., Geerts, S., Kipkorir, E., Wellens, J., and Sahli, A. 2006. Simulation of yield decline as a result of water stress with a robust soil water balance model. Agricultural Water Management, 81 (3): 335-357.
 - 12) Raes, D. 2002. Reference manual of BUDGET model. K. U. Leuven, Faculty of Agricultural and Applied Biological sciences, Institute for Land and Water Management, Leuven, Belgium.
 - 13) Sarai Tabrizi, M., Parsinejad, M., and Babazadeh, H. 2012. Efficacy of partial root drying technique for optimizing soybean crop production in semi-arid regions. Irrigation and Drainage Journal, 61 (1): 80-88.
 - مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، ۳۰-۳۱ اردیبهشت، اصفهان، ایران.
 - 4) Doorenbos, J., Kassam, A. H., and Bentvelsen C. M. 1979. Yield response to water. Food and Agriculture of the United Nations. Vol. 33 of FAO irrigation and drainage paper.
 - 5) Doorenbos J., and Pruitt W. O. 1977. Crop water requirement. Food and Agricultural Organization of the United Nations. FAO Irrigation and Drainage. Paper No. 24. Rome, pp. 144.
 - 6) Homae M. Dirksen C. and Feddes. R. A. 2002. Simulation of Root Water Uptake. I. Nonuniform Transient Salinity Stress Using Different Macroscopic Reduction Functions. Agricultural Water Management, 57 (2):89-109.
 - 7) Kipkorir E. C., and Raes D., and Massawe B. 2002. Seasonal water production functions and yield response factors for maize and onion in Perkerra, Kenya. Agricultural Water Management, 56: 229-240.
 - 8) Liu, H. F., Genard, M., Guichard S., and Bertin, N. 2007. Model-assisted analysis of tomato fruit growth in relation to carbon and water fluxes,