Archive of SID

# واسنجی مدل SWAP برای شبیه‌سازی عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب سویا

حسین بابازاده[1*] و مهدی سرائی تبریزی[2]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مهندسی آب، تهران، ایران
h_babazadeh@srbiau.ac.ir
۲- باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۰/۹/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۱/۲۹

## چکیده

**مدلSWAP را یک مدل اگروهیدرولوژیکی، زراعی- هیدرولوژیکی و اکوهیدرولوژیکی می‌نامند. در این تحقیق مدل SWAP در برآورد عملکرد محصول و عملکرد بیولوژیک سویا و درصد رطوبت موجود در خاک طی فصل کشت مورد مطالعه قرار گرفت. در این تحقیق ابتدا مدل SWAP بر اساس نتایج مزرعه‌ای حاصل از کشت سویا برای چهار سناریوی آبیاری شیاری در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ تحلیل حساسیت و واسنجی شد. سپس بر اساس نتایج مزرعه‌ای سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ مورد اعتباریابی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که این مدل عملکرد دانه را بهتر از عملکرد بیولوژیکی سویا شبیه‌سازی می‌کند. همچنین نتایج تحلیل حساسیت مدل نشان‌داد که مدل SWAP نسبت به داده‌های ورودی رطوبت باقی‌مانده و هدایت هیدرولیکی اشباع بسیار حساس است و با کوچکترین تغییر در داده‌های ورودی خاک شامل ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع و رطوبت باقی‌مانده نتایج خروجی به شدت تغییر می‌کند. به استناد تحلیل‌های آماری با وجود متغیرهای متعدد ورودی، مدل SWAP مقدار رطوبت خاک، شاخص سطح برگ، کارایی مصرف آب و عملکرد محصول را به خوبی برآورد می‌کند، زیرا در همهٔ موارد ضریب تبیین بالاتر از ۰/۸ (به‌ترتیب برابر ۰/۸۶، ۰/۸۷، ۰/۸۹ و ۰/۹۳) و میانگین مربعات خطا کمتر از انحراف معیار داده‌ها می‌باشد و آزمون مقایسه میانگین T-test تفاوت معنی‌دار را بین مقادیر شبیه‌سازی شده و پیش‌بینی شده نشان نداد.**

**کلید واژه‌ها:** *عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، شاخص سطح برگ، مدل SWAP.*

## مقدمه

رشد روزافزون جمعیت جهان و در نتیجه نیاز بیشتر به تولیدات کشاورزی از مسائل مهمی است که امروزه بشر با آن روبه‌رو است. در این ارتباط محدودیت منابع آب و خاک به عنوان بستر اصلی تولیدات کشاورزی نیز مطرح بوده به نحوی که هم اکنون استفاده بهینه از منابع آب در اولویت‌های فعالیت‌های کشورهای مختلف قرار گرفته است. در حال حاضر کشور ایران همچون سایر کشورهای واقع در کمربند خشک کره زمین دچار کم آبی بوده و پیش‌بینی می‌شود طی نیم قرن آتی از جمله ۶۶ کشوری باشد که از تنش آبی رنج می‌برد (نوروزی و همکاران، ۱۳۷۸). بنابراین باید برای مصرف آب‌های در دسترس و مدیریت استفاده از آنها به عنوان یک کالای با ارزش اهمیت بیشتری قائل شد.

از روش‌های نوین کشاورزی که در دو دهه اخیر در کارهای پژوهشی، بهینه‌سازی، مدیریت کشاورزی، ارتقای بهره‌وری منابع به ویژه آب و خاک کاربرد داشته است، استفاده از مدل‌های مختلف شبیه‌سازی می‌باشد. به لحاظ این که فاکتورهای مؤثر بر سیستم تولید محصولات زراعی و ستاده‌های بخش کشاورزی متعدد بوده و حتی این فاکتورها گاهی اثر متقابل روی یکدیگر دارند، لذا استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی سیستم تولید محصولات زراعی قدمی اساسی و صحیح در امر مدیریت و تصمیم‌گیری زراعی می‌باشد (لیو و همکاران[1]، ۲۰۰۷).

1- Liu et al.

www.SID.ir

Archive of SID



اصولاً ساده‌سازی سیستم‌های پیچیده به طور منظم به صورت یک مدل روش مناسبی است زیرا به کار بردن روش قدیمی آزمون و خطا و روش در نظر گرفتن یک راه حل برای یک مشکل نمی‌تواند قابل اطمینان باشد. به کمک مدل، اجزای یک سیستم و تأثیر روابط متقابل آنها شناخته شده و این تأثیر به صورت کمی و با فرمول‌های ریاضی بیان می‌شوند (میمندی‌نژاد، ۱۳۷۷). مدل‌ها اهداف مختلفی را در پی دارند. هدف اصلی و اولیه هر مدل افزایش اطلاعات درباره سیستم تحت بررسی است. اما به طور کلی می‌توان اهداف یک مدل را در چهار جنبه آموزشی، تحقیقاتی، اقتصادی و مدیریتی تعیین نمود. با کمک مدل‌ها می‌توان عملکرد محصول را در شرایط مختلف پیش‌بینی نمود. برای معرفی گیاه یا رقم جدید در یک منطقه و یا تعیین مناطق مناسب برای گیاه از مدل‌ها استفاده می‌شود. مدل‌ها فاکتورهای مؤثر بر رشد را بهینه کرده و بهترین زمان مصرف نهاده‌ها را برای تولید و عملکرد مطلوب مشخص می‌نمایند. در حقیقت سیستم خاک و گیاه بسیار پیچیده بوده و عوامل متعددی بر فرآیندهای مختلف آن تأثیر گذار هستند. پیشرفت فن‌آوری کامپیوتر این امکان را به وجود آورده است که بتوان تأثیر تجمعی و متقابل این فاکتورها را همزمان مورد ملاحظه و مطالعه قرار داد (بنایان و کروت[1]، ۱۹۹۹، نصیری محلاتی، ۱۳۷۹).

مدل‌ها پژوهشگران را قادر ساخته‌اند تا دیدگاه‌های کمی و محکمی را در مورد فرآیندهای همزمان که دارای اثرهای متقابل بر روی هم هستند، مطالعه کنند. به این طریق می‌توان تئوری‌هایی که از طریق مطالعات مختلف حاصل می‌شود به منظور شبیه‌سازی فرآیندهای رشد به کار گرفت و در سایه این قوام و استحکام، تئوری‌های مذبور را آزمون کرد. با وجود تمام این شرایط باید توجه داشت که مدل‌ها الزاماً نمایش ساده‌ای از واقعیت رفتار سیستم هستند و بنابراین قادر به بیان طیف کامل رفتار سیستم در شرایط واقعی نخواهند بود (نصیری محلاتی، ۱۳۷۹).

مدل SWAP یک مدل شبیه‌سازی بیلان آب و املاح در یک خاک تحت کشت یا آیش با انواع مختلفی از شرایط مرزی و با در نظر گرفتن امکان‌پذیری زهکشی مصنوعی و آبیاری می‌باشد. این مدل، یک مدل مزرعه‌ای[2] است که عوامل مهمی مانند خاک، آب، اتمسفر و گیاه را در نظر می‌گیرد. این مدل در کشور هلند (دانشگاه کشاورزی واگنینگن[3] و در موسسه تحقیقاتی آلترا[4]) توسعه داده شده است. این مدل قادر است تحلیل تأثیر متقابل میان حرکت آب، رشد محصول و انتقال مواد محلول و گرما در شرایط اشباع و غیر اشباع خاک، پیش‌بینی عملکرد محصول تحت شرایط رژیم‌های مختلف آبیاری و شوری و برنامه‌ریزی آبیاری را انجام دهد (کروس و همکاران[5]، ۱۹۹۹).

مدل SWAP جانشین مدل اگروهیدرولوژیکی[6] مشهور SWATR که توسط فِدِس و همکاران(۱۹۸۷)[7] ارائه شده بود، می‌باشد. نسخه‌های منتشر شده قبلی مدل SWAP به ترتیب با نام SWATR(E) توسط فِدِس و همکاران(۱۹۸۷)، بلمنز و همکاران[8] (۱۹۸۳) و وسلینگ و همکاران[9] (۱۹۹۱) و با نام SWACROP به وسیله کابات و همکاران[10] (۱۹۹۲) و با نام SWAP93 به وسیله ون دم و همکاران[11] (۱۹۹۴) و با نام SWAP 2.0 توسط ون دم و همکاران (۱۹۹۷) و کروس و همکاران (۲۰۰۱) توسعه داده شده است. در سال‌های اخیر مدل SWAP 2.0 برای بررسی مفاهیم انتقال مواد محلول، تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی و صحرایی به خوبی به کاربرده شده است (ون دم و همکاران، ۱۹۹۷؛ ون دم، ۲۰۰۰). این مدل با اصلاحاتی که در آن طی سال‌های گذشته صورت گرفته به ترتیب به صورت مدل SWAP 2.07d، SWAP 2.09d، SWAP 3.0.3، SWAP 3.0.3a، SWAP 3.2.11، SWAP 3.2.14، SWAP 3.2.16 و SWAP 3.2.26، SWAP 3.2.36 می‌باشد. در حال حاضر آخرین نسخه مدل با نام SWAP 3.2.36 توسط کروس و ون دم (۲۰۱۱) منتشر شده است.

مدلSWAP در مناطق مختلف جهان از جمله ایران مورد ارزیابی، واسنجی و صحت‌یابی قرار گرفته است و نتایج مطلوبی در مقایسه با اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای از خود نشان‌داده است. خانی قریه گپی و همکاران (۱۳۸۶) در خراسان رضوی در کشت چغندرقند با استفاده از مدل SWAP پس از واسنجی و اعتباریابی مدل، مشاهده کردند که مدل عملکرد را به طور متوسط ۱۰ درصد کمتر از مقادیر

1- Bannayan and Cruot
2- Field scale

3- Wageningen
4- Altera
5- Kroes et al.
6- Agrohydrological
7- Feddes et al.
8- Belmans et al.
9- Wesseling et al.
10- Kabat et al.
11- Van Dam et al.

www.SID.ir

Archive of SID



اندازه‌گیری شده برآورد کرد و آزمون T-test تفاوت معنی‌دار را بین عملکرد پیش‌بینی شده توسط مدل و عملکرد اندازه‌گیری شده نشان نداد.

وظیفه‌دوست و همکاران (۲۰۰۸) در منطقه برخوار اصفهان تحت شرایط محدودیت کمی آب آبیاری با استفاده از مدلSWAP، افزایش بهره‌وری آب محصولات گندم، آفتابگردان، ذرت علوفه‌ای و چغندرقند را مورد بررسی قرار دادند. آنها پس از واسنجی مدل SWAP با تغییر عمق و دور آبیاری توابع بهره‌وری آب را برای محصولات مورد مطالعه استخراج و بر اساس آنها و تغییر برنامه آبیاری، بهره‌وری آب محصولات را افزایش دادند.

پرچمی عراقی و همکاران (۱۳۸۸) در شهرستان اراک با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای جمع‌آوری شده منطقه امان آباد برای گیاه ذرت علوفه‌ای مدل SWAP را واسنجی و صحت‌یابی کردند. نتایج نشان داد که با اعمال دور ۱۰ روز در شرایط فعلی (۹۰۰ میلی‌متر آب قابل دسترس) راندمان مصرف آب به میزان ۳۲ درصد افزایش پیدا کرد. با استفاده از اجزای شبیه‌سازی شدهٔ بیلان آب و محصول تولیدی، مقادیر شاخص‌های تعرق نسبی، شاخص سهم آبیاری و شاخص نفوذ عمقی به ترتیب برابر ۰/۹۱، ۱/۷۵ و ۰/۱۵ به دست آمد. همچنین شاخص سودمندی آب مصرف شده در فرآیند تعرق($WP_T$)، شاخص سودمندی آب مصرف شده در فرآیند تبخیر و تعرق($WP_{ET}$) و شاخص سودمندی آب آبیاری($WP_I$) به ترتیب برابر ۳، ۲/۷ و ۱/۵۵ به دست آمد.

امیری و همکاران (۱۳۸۸) در رشت در مؤسسهٔ تحقیقات برنج کشور مدل‌های ORYZA2000، SWAP و WOFOST را تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که شبیه‌سازی مقدار عملکرد نهایی با مدل ORYZA2000 نسبت به دو مدل دیگر دقت بیشتری دارد.

وردی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۹) برای آزمایش‌های مزرعه‌ای بر روی محصولات زراعی در شبکه‌های آبیاری آبشار و رودشت اصفهان مدل SWAP را به روش مدل‌سازی معکوس واسنجی کردند و توابع تولید- آب- شوری را تعیین نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان سود خالص با افزایش عمق آب آبیاری، ابتدا روند صعودی و سپس روند نزولی دارد. در حالت محدودیت کمی آب، برای یک مقدار معین آب قابل دسترس، حداکثر سود خالص از کشت محصول پیاز حاصل شد.

زارع ابیانه و همکاران (۱۳۸۹) در منطقه بسطام شاهرود در کشت پیاز مجهز به سامانه آبیاری قطره‌ای عملکرد محصول و وضعیت رطوبت خاک را به کمک مدل SWAP شبیه‌سازی کرده و در مقایسه با اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که این مدل می‌تواند به عنوان ابزاری کارامد و سودمند برای ارزیابی و بهینه‌سازی رطوبت توزیع‌شده در خاک در ناحیه ریشه گیاهان زراعی مورد استفاده قرار گیرد.

نوری و همکاران (۲۰۱۱) در شبکه آبیاری و زهکشی وشمگیر در استان گلستان عملکرد مدل SWAP را در شبیه‌سازی عملکرد محصول، پروفیل شوری و رطوبت خاک در شرایط توام محدودیت آب و شوری مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که این مدل به خوبی و با تطابق قابل توجهی عملکرد محصول را شبیه‌سازی می‌نماید. همچنین نتایج نشان داد که لحاظ کردن شرایط مرزی پایین در برآورد بهتر پروفیل شوری و رطوبت خاک بسیار مؤثر می‌باشد.

کوهی‌چله‌کران و همکاران (۱۳۹۰) در منطقه ارزوئیه کرمان در کشت ذرت به مدت دو سال متوالی به صورت طرح اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار که در آن مقدار آب مصرفی در چهار سطح به عنوان فاکتور اصلی و رقم در سه سطح به عنوان فاکتور فرعی انجام شد و با استفاده ازمدل SWAP عملکرد محصول، شاخص سطح برگ و حجم آب آبیاری شبیه‌سازی و با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شد. نتایج نشان داد که داده‌های اندازه‌گیری شده در رقم سینگل کراس ۷۰۳ کمترین اختلاف را با داده‌های شبیه‌سازی شده داشتند.

هدف از انجام این تحقیق ارزیابی، تحلیل حساسیت، واسنجی مدل SWAP در کشت سویا تحت تیمارهای مختلف آبیاری و اعتباریابی آن در سال زراعی بعدی می‌باشد. این تحقیق به صورت دو ساله انجام شده است که نتایج ارزیابی‌ها را می‌تواند با دقت بیشتری ارائه نماید.

## مواد و روش‌ها

### الف)منطقه اجرای طرح و قالب طرح آزمایشی کشاورزی

این تحقیق در دو سال زراعی متوالی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران واقع در کرج انجام شد. منطقه مورد مطالعه در موقعیت طول جغرافیایی ۵۱ درجه شمالی و عرض جغرافیایی ۳۶

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول ۱- برنامه‌ریزی آبیاری برای محصول سویا در دور آبیاری هفت روز طی دو سال زراعی**

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

* تیمار آبیاری کامل (Full Irrigation, FI)، ** تیمار کم آبیاری سنتی در حد ۷۵ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک ($DI_{75\%}$,Deficit Irrigation)، *** تیمار کم آبیاری سنتی در حد ۵۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک ($DI_{50\%}$, Deficit Irrigation) و **** تیمار آبیاری بخشی منطقه ریشه درحد ۵۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک ($PRD_{50\%}$, Partial Root Drying).

درجه شرقی و ارتفاع ۱۳۱۲ متر از سطح دریا قرار گرفته است. بافت خاک مزرعه لوم و متوسط درصد حجمی رطوبت درحد ظرفیت زراعی ($\theta_{fc}$) ۳۲/۲، درحد نقطه پژمردگی ($\theta_{wp}$) ۱۶ و جرم مخصوص ظاهری ($\rho_b$) ۱/۵۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب برای عمق تا ۶۰ سانتی‌متری خاک بود و ضریب مدیریتی تخلیه مجاز رطوبت (MAD) ۶۵ درصد در نظر گرفته شد.

آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و چهار تیمار آبیاری روی یک رقم سویا به نام ویلیامز انجام شد. هر کدام از کرت‌های آزمایشی دارای ۲ متر طول و ۲/۶ متر عرض و چهار خط کاشت در آن وجود داشت. برای حذف اثر ناشی از نفوذ آب از تیمارهای مختلف روی یکدیگر و از بین بردن اثر حاشیه‌ای، فواصل طولی بین کرت‌ها ۰/۹ متر، فواصل عرضی بین کرت‌ها ۰/۷۵ متر و اندازه‌گیری‌ها فقط از دو خط کاشت وسط هر کرت انجام شد. خطوط کاشت در وسط پشته‌ها قرار گرفت. به علت کوتاهی جویچه‌های داخل کرت انتهای شیارها بسته در نظر گرفته شد. تیمارهای آبیاری جویچه‌ای اعمال شده عبارت بودند از: تیمار آبیاری بخشی منطقه ریشه[1] درحد ۵۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک ($PRD_{50\%}$)، تیمار آبیاری کامل (تیمار شاهد)(FI)، تیمار کم آبیاری سنتی درحد ۵۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک ($DI_{50\%}$) و تیمار کم آبیاری سنتی درحد ۷۵ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک

1- Partial Root Drying

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول۲- مقادیر پارامترهای گیاهی ورودی مورد نیاز برای مدل**

| پارامتر گیاهی مورد نیاز | مقادیر |
|---|---|
| مجموع دمای روزانه از مرحله جوانه‌زنی تا گل‌دهی($^{o}C$) | ۶۰۰ |
| مجموع دما از مرحله گل‌دهی تا برداشت($^{o}C$) | ۱۰۰۰ |
| سطح برگ ویژه ($kg\ ha^{-1}$) | ۰/۰۰۲۵ |
| بیشینه افزایش نسبی در سطح برگ | ۰/۰۰۸ |
| کارایی مصرف نور ($Kg\ Co_2\ J^{-1}$) | ۰/۴ |
| بیشینه شدت جذب $Co_2$ ($kg/ha/hr$) | ۳۸ |

**جدول ۳- مشخصات عمومی گیاه سویا رقم ویلیامز در مزرعه مورد مطالعه**

| گیاه | سال زراعی | تعداد آبیاری | تاریخ کاشت | تاریخ برداشت | حداکثر عملکرد محصول در تیمار شاهد (تن در هکتار) | متوسط عملکرد محصول در تیمار شاهد (تن در هکتار) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| سویا | ۸۸-۱۳۸۷ | ۱۷ | ۱۲ خرداد | ۸ مهر | ۳/۸۹۹۶ | ۳/۷۹۷۶ |
| سویا | ۸۹-۱۳۸۸ | ۱۷ | ۹ خرداد | ۳ مهر | ۴/۰۴۷۲ | ۴/۰۴۲۲ |

($DI_{75\%}$). با استفاده از یک آگر در طول فصل کشت به صورت منظم به فواصل دو روز یک نمونه خاک از هر تکرار تیمار آبیاری کامل در سه عمق ۲۰-۰، ۴۰-۲۰ و ۶۰-۴۰ سانتی‌متر از سطح خاک تهیه شد. سپس با تعیین درصد رطوبت وزنی متوسط و از طرفی با داشتن جرم مخصوص ظاهری خاک و همچنین درصد رطوبت حجمی خاک درحد ظرفیت زراعی از تجزیه فیزیکی خاک قبل از کشت، درصد رطوبت حجمی و نقصان رطوبتی خاک (SMD)[1] تعیین شد. برنامه‌ریزی آبیاری برای این دو سال زراعی، پارامترهای گیاهی مورد نیاز مدل و مشخصات عمومی گیاه در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ آورده شده است (سرائی تبریزی و همکاران، ۱۳۸۹؛ بابازاده و همکاران، ۱۳۸۹؛ و سرائی تبریزی و همکاران، ۲۰۱۲).

**ب) توصیف مدل SWAP**

مدل SWAP یک مدل شبیه‌سازی بیلان آب و املاح در خاکی تحت کشت یا آیش با انواع مختلفی از شرایط مرزی و لحاظ زهکشی مصنوعی و آبیاری می‌باشد. این مدل، یک مدل مزرعه‌ای است که عوامل مهمی مانند: خاک، آب، اتمسفر و گیاه را در نظر می‌گیرد (کروس و ون دم ، ۲۰۱۱). SWAP مدلی یک بعدی است که معادلهٔ ریچاردز مربوط به حرکت قائم آب در سیستم ناهمگن خاک- ریشهٔ گیاه را به روش تفاضل محدود، حل می‌کند (ون دم و همکاران، ۱۹۹۷:)

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left[K(\theta)\left(\frac{\partial h}{\partial z}+1\right)\right] - S(h) \qquad (۱)$$

که در آن، h: بار فشاری خاک (cm)، Z: بار ثقل (cm)، t: زمان (day)، K: هدایت هیدرولیکی ($cmday^{-1}$)، $\theta$: درصد رطوبت حجمی خاک و S: میزان جذب آب توسط ریشه‌ها در روز می‌باشد.

پارامتر S(h) میزان جذب حجم آب در حجم خاک توسط ریشه‌ها در واحد زمان را شبیه‌سازی می‌کند و بستگی به بار فشاری خاک و حداکثر نرخ جذب آب ($S_{max}$) دارد:

$$S(h) = \alpha(h) S_{max} \qquad (۲)$$

که در آن، $\alpha(h)$: ضریب کاهش و $S_{max}$: حداکثر نرخ جذب آب ریشه‌ها می‌باشد. در این معادله فرض‌شده است نرخ جذب آب توسط ریشه در عمق مؤثر به صورت معادله (۳) می‌باشد:

1- Soil Moisture Deficit (SMD)

www.SID.ir

Archive of SID



$$S_{\max} = \frac{T_P}{Z} \qquad (۳)$$

که در آن، $T_p$: نرخ تعرق پتانسیل (متر در روز)، Z: عمق مؤثر ریشه‌ها، عمقی که ۷۰ تا ۸۰ درصد ریشه مشاهده شود (متر) و $\alpha$: ضریب کاهش است که بین صفر و یک متغیر می‌باشد.

**ج) پارامترهای مورد نیاز مدل**

هر مدل کامپیوتری نیاز به شرایط مرزی دارد که به عنوان ورودی به مدل داده می‌شود. در مدلSWAP شرایط مرزی بالا تبخیر و تعرق پتانسیل (بر اساس معادله پنمن-مانتیث) و مجموع بارندگی و آبیاری تعریف شده است. مرز پایینی به علت پایین بودن سطح ایستابی در منطقه به صورت زهکشی آزاد برای مدل تعریف شد. در مدلSWAP برای شبیه‌سازی مراحل رویشی گیاه، از یک مدل تفضیلی استفاده شد.

برای شبیه‌سازی جریان آب در خاک نیاز به داده‌های خاکشناسی شامل: توابع هیدرولیکی خاک، رطوبت قابل نگهداشت خاک و منحنی هدایت هیدرولیکی نسبت به رطوبت خاک است که از مدل وان گنوختن و همکاران[1](۱۹۹۱) در برنامه RetC[2] استفاده شده است. این برنامه با استفاده از پارامترهای بافت خاک (درصد سیلت، شن و رس)، چگالی ظاهری خاک و درصد مواد آلی با استفاده از توابع انتقالی[3] یا شبکه عصبی مصنوعی[4] توابع هیدرولیکی خاک را تحمین می‌زند.

**د) ارزیابی مدل** SWAP

برای ارزیابی مدل از ضریب همبستگی[5] (R) ، شاخص انحراف معیار[6] (SD)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)[7] ، میانگین خطای مطلق[8](MAE) و ضریب مقدار باقیمانده[9] (CRM) که در معادله‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ ارائه شده‌اند، استفاده شد.

$$SD = \left\{ \sum_{i=1}^{n} (O_i - \overline{O})^2 / n \right\} \qquad (۴)$$

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^{n} (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{1/2} \times \frac{100}{\overline{O}} \qquad (۵)$$

$$MAE = \left\{ \sum_{i=1}^{n} |O_i - P_i| \right\} / n \qquad (۶)$$

$$CRM = \left\{ \sum_{i=1}^{n} O_i - \sum_{i=1}^{n} P_i \right\} / \sum_{i=1}^{n} O_i \qquad (۷)$$

که در آن، P، O، $\overline{O}$ و n: به ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده، اندازه‌گیری‌شده، متوسط مقادیر اندازه‌گیری‌شده و تعداد داده‌ها می‌باشند و شاخص i نیز نشان‌دهندهٔ هر یک از داده‌هاست. مقدار RMSE نشان می‌دهد که تا چه حد اختلاف بین هر یک از مقادیر پیش‌بینی شده نسبت به مقادیر اندازه‌گیری‌شده متناظر، صرف‌نظر از این که کمتر یا بیشتر باشد، وجود دارد. شاخص MAE نشان‌دهنده خطای مطلق مدل و مقدار CRM نشان‌دهندهٔ تمایل مدل برای برآورد بالاتر یا پایین‌تر در مقایسه با اندازه‌گیری‌ها می‌باشد. اگر RMSE کمتر SD باشد، نشان‌دهنده کارکرد مطلوب مدل است. هرگاه CRM منفی شود به معنی آن است که مدل تمایل به برآورد بالاتر از مقادیر اندازه‌گیری‌شده دارد. در صورتی که همه مقادیر پیش‌بینی‌شده برابر مقادیر اندازه‌گیری‌شده باشند، شاخص RMSE، MAE، SD و CRM برابر با صفر خواهند شد (لوگ و گرین[10]، ۱۹۹۱). دامنه تغییرات RMSE برای تفسیر داده‌های شبیه‌سازی‌شده در مقایسه با داده‌های مشاهده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر RMSE کم‌تر از ۱۰ درصد باشد شبیه‌سازی عالی، بیش‌تر از ۱۰ درصد و کم‌تر از ۳۰ درصد باشد شبیه‌سازی خوب و بیش‌تر از ۳۰ درصد به این معنی است که شبیه‌سازی ضعیف می‌باشد (جامیسن و همکاران[11]، ۱۹۹۱). برای انجام آزمون مقایسه میانگین t-test و همچنین تعیین ضریب تبیین از نرم‌افزار SAS استفاده شد.

1-
2- Retention Curve
3- Pedotransfer Functions (PTF)
4- Artificial Neural Network (ANN)
5- Correlation Coefficient
6- Standard Division
7- Root Mean Square Error
8- Mean Absolute Error
9- Coefficient Residual Mass

10- Loague and Green
11- Jamieson et al.

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول۴- مشخصات اندازه‌گیری‌شده پروفیل خاک و پارامترهای معادله وان گنوختن استخراج‌شده از مدل RetC**

| عمق خاک (cm) | سیلت (درصد) | شن (درصد) | رس (درصد) | $\theta_{sat}$ ($m^3/m^3$) | $\theta_{res}$ ($m^3/m^3$) | $K_{sat}$ (cm/d) | $\alpha$ (1/cm) | n | $\lambda$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۰-۲۰ | ۳۰/۱ | ۴۶/۲ | ۲۳/۷ | ۰/۳۹۳۵ | ۰/۰۶۴۳ | ۹/۶۶ | ۰/۰۱۴۸ | ۱/۴۱۲۸ | ۰/۱۷۲ |
| ۲۰-۴۰ | ۳۰ | ۳۴/۴ | ۳۵/۷ | ۰/۳۹۳۳ | ۰/۰۷۶۸ | ۳/۸۶ | ۰/۰۱۵۳ | ۱/۳۱۶۹ | ۰/۱۶۷ |
| ۴۰-۶۰ | ۳۵/۱ | ۴۲/۸ | ۲۲/۱ | ۰/۳۸۶۸ | ۰/۶۲۱ | ۸/۷ | ۰/۰۱۲۶ | ۱/۴۴۷۷ | ۰/۱۷۴ |

**جدول ۵- طبقه‌بندی پیشنهاد شده برای دامنه تغییرات ضریب حساسیت**

| دامنه تغییرات | $S_c$=۰ | ۰< $S_c$ <۰/۳ | ۰/۳< $S_c$ <۱/۵ | $S_c$>۱/۵ |
|---|---|---|---|---|
| شدت حساسیت | بدون حساسیت | حساسیت کم | حساسیت متوسط | حساسیت زیاد |

ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده پروفیل خاک و پارامترهای معادله وان گنوختن استخراج‌شده از مدل RetC در جدول(۴) ارائه شده است.

**ه) تحلیل حساسیت[1]، واسنجی[2] و اعتباریابی[3] مدل SWAP**

برای تحلیل حساسیت مدل SWAP، ابتدا با استفاده از رابطه ضریب حساسیت (رابطه۸)، 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 مدل دارند به خوبی تعیین شده و مدل تحلیل حساسیت شده است:

$$Sc = \frac{\frac{\Delta W}{\overline{W}}}{\frac{\Delta P}{\overline{P}}} \qquad (۸)$$

که در آن $S_c$: ضریب حساسیت بدون بعد، $\Delta W$: اختلاف مقدار پارامتر خروجی قبل و بعد از تغییر پارامتر ورودی، $\overline{W}$: متوسط پارامتر خروجی قبل و بعد از تغییر پارامتر ورودی، $\Delta P$: اختلاف مقادیر پارامتر ورودی و $\overline{P}$: متوسط مقادیر ورودی یک پارامتر به مدل می‌باشد. برای استفاده از رابطه (۸) برای تحلیل حساسیت مدل دامنه تغییرات ضریب حساسیت توسط لیو و همکاران (۲۰۰۷) و هنگ و همکاران (۲۰۰۹) پیشنهاد شده است (جدول۵).

برای واسنجی مدل در منطقه مورد مطالعه از داده‌های سال اول آزمایش استفاده شد. داده‌های استفاده شده برای واسنجی مدل شامل: شاخص سطح برگ، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد محصول بود. سطح برگ در سه مرحله حساس رشد و در پنج نوبت اندازه‌گیری شد. مقدار این شاخص توسط مدل هم برآورد شده است. عملکرد محصول و عملکرد بیولوژیکی نیز در مرحله برداشت محصول تعیین شد. جهت واسنجی مدل از تحلیل لوگ و گرین (۱۹۹۱) استفاده شد.

جهت اعتباریابی مدل SWAP که برای داده‌های سال اول کشت تحلیل حساسیت و واسنجی شده بود، از داده‌های سال دوم زراعی استفاده گردید.

## نتایج و بحث

**الف) تحلیل حساسیت مدل SWAP**

نتایج مقادیر تحلیل حساسیت مدل نشان داد که مدل نسبت به پارامترهای رطوبت باقی‌مانده در خاک، سطح برگ ویژه و ارتفاع متوسط گیاه بسیار حساس است. بنابراین خطای حاصل از اندازه‌گیری آن داده‌ها در سطح مزرعه قابل اغماض نمی‌باشد. همچنین حساسیت مدل نسبت به تغییرات بیشینه افزایش نسبی در سطح برگ، هدایت هیدرولیکی و عمق آب آبیاری هم نسبتاً متوسط است، بنابراین بایستی این داده‌ها با دقت قابل ملاحظه‌ای اندازه‌گیری شوند زیرا در غیر این صورت خطای قابل توجهی در نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های مدل به وجود می‌آید.

1- Sensitivity Analysis
2- Calibration
3- Validation

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول ۶- ضریب حساسیت برخی پارامترهای ورودی مدل SWAP**

| | پارامترهای ورودی مدل | درحالت ۲۵+٪ $S_c$ | درحالت ۲۵-٪ $S_c$ | درجه حساسیت |
|---|---|---|---|---|
| پارامترهای گیاهی | سطح برگ ویژه | ۰/۵۳ | ۱/۵۷ | متوسط-زیاد |
| | بیشینه افزایش نسبی در سطح برگ | ۰/۶۹ | ۰/۲۸ | متوسط-کم |
| | ارتفاع متوسط گیاه | ۰/۷۱ | ۱/۹۶ | متوسط-زیاد |
| رطوبت باقی-مانده | FI | ۰/۴۶ | ۰/۶۸ | متوسط-متوسط |
| | $DI_{75\%}$ | ۰/۱۸ | ۱/۵۳ | کم-زیاد |
| | $DI_{50\%}$ | ۰/۱۱ | ۱/۷۸ | کم-زیاد |
| | $PRD_{50\%}$ | ۰/۰۹ | ۱/۹۹ | کم-زیاد |
| $K_{sat}$ | هدایت هیدرولیکی اشباع عمودی | ۰/۴۳ | ۰/۵۱ | متوسط-متوسط |
| عمق آب آبیاری | FI | ۰/۱ | ۰/۰۳ | کم – ندارد |
| | $DI_{75\%}$ | ۰/۰۲ | ۰/۳۶ | کم-متوسط |
| ———— | $DI_{50\%}$ | ۰/۰۸ | ۰/۳۹ | کم-متوسط |

**جدول۷- مقادیر شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده در تیمارهای مختلف آبیاری سال ۸۸-۱۳۸۷**

| مرحله نمونه‌برداری | شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شده | | | | شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | FI | $DI_{75\%}$ | $DI_{50\%}$ | $PRD_{50\%}$ | FI | $DI_{75\%}$ | $DI_{50\%}$ | $PRD_{50\%}$ |
| گل‌دهی | ۳/۷۴ | ۳/۵۳ | ۲/۷۶ | ۲/۴۶ | ۳/۲۶ | ۳/۳۳ | ۱/۹۸ | ۱/۴۴ |
| تشکیل غلاف | ۴/۷۱ | ۳/۴۴ | ۲/۸۹ | ۲/۴۹ | ۴/۱۲ | ۳/۱ | ۲/۱۷ | ۲/۰۵ |
| پرشدن غلاف | ۵/۶۸ | ۳/۷۹ | ۲/۹۵ | ۲/۵۷ | ۴/۹۶ | ۳/۲۵ | ۲/۵ | ۲/۲۳ |

حساسیت مدل به عمق آب آبیاری در تیمار با تنش آبی شدید بیشتر می‌شود ولی به طور کلی نسبت به تغییرات عمق آب آبیاری زیاد حساس نبود. در جدول (۶) درجه حساسیت مدل SWAP نسبت به تغییرات عوامل ورودی مدل ارائه شده است.

**ب) واسنجی و اعتباریابی مدل**

نتایج شبیه‌سازی مدل در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده در سطح مزرعه در جدول‌های (۷)، (۸) و (۹) ارائه شده است. مطابق جدول (۷) و جدول (۸) کلیه مقادیر شبیه‌سازی‌شده شاخص سطح برگ در کلیه تیمارها کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده به دست آمد. بر اساس جدول (۹) نتایج این تحقیق دو ساله نشان داد که همبستگی نسبتاً خوبی بین مشاهدات مزرعه‌ای و نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی مدلSWAP وجود دارد اما برآورد مدل کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده و همچنین ضریب RMSE در سطح پایینی است. ضریب RMSE برای شاخص سطح برگ کمتر از انحراف معیار (SD) شده که این نشان‌دهندهٔ کارکرد مطلوب مدل است. ضریب CRM بزرگ و مثبت شده و تمایل مدل را در برآورد کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. کوهی چله کران و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای دو سال بر روی هیبریدهای ذرت دانه‌ای در ارزوئیه کرمان نتیجه گرفتند که مدلSWAP شاخص سطح برگ را کمتر از مقادیر اندازه‌گیری‌شده برآورد می‌کند و همچنین نتیجه گرفتند که این مدل عملکرد دانه را به خوبی شبیه‌سازی می‌نماید که با این تحقیق همخوانی خوبی دارد. بر اساس آزمون مقایسه میانگین T-test تفاوت معنی‌دار بین عملکرد محصول شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده وجود نداشت. عملکرد بیولوژیکی، عملکرد محصول و کارایی مصرف آب شبیه‌سازی شده در مقایسه با اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای به همراه تحلیل‌های آماری در جدول‌های (۱۰)، (۱۱)، (۱۲)، (۱۳)، (۱۴) و (۱۵) ارائه شده است. بر اساس تحلیل لوگ و گرین(۱۹۹۱) نتایج حاصل از اجرای مدل نشان داد که همبستگی نسبتاً خوبی بین مشاهدات مزرعه‌ای و نتایج به دست آمده از مدل در هر دو سال آزمایش وجود دارد. ضریب RMSE برای عملکرد محصول و عملکرد

www.SID.ir

Archive of SID



بیولوژیکی در هر دوسال زراعی در حد پایین و کمتر از انحراف معیار می‌باشد که این نشان‌دهندهٔ عملکرد مناسب مدل در شبیه‌سازی داده‌ها و واسنجی قابل قبول مدل می‌باشد. ضریب CRM کوچک و منفی است و تمایل مدل را در برآورد بالاتر از مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج پژوهش‌های کیانی و همائی (۱۳۸۶)، کوهی چله کران و همکاران (۱۳۹۰) و نوری و همکاران (۲۰۱۱) همخوانی خوبی دارد.

**جدول۸- مقادیر شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده در تیمارهای مختلف آبیاری سال۸۹-۱۳۸۸**

| مرحله نمونه‌برداری | شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شده | | | | شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | FI | $DI_{75\%}$ | $DI_{50\%}$ | $PRD_{50\%}$ | FI | $DI_{75\%}$ | $DI_{50\%}$ | $PRD_{50\%}$ |
| گل‌دهی | ۳/۲۹ | ۳/۱۱ | ۲/۶۱ | ۲/۲۵ | ۳/۱ | ۲/۸۴ | ۱/۹۸ | ۱/۴۴ |
| تشکیل غلاف | ۴/۲۷ | ۳/۵۲ | ۲/۸۳ | ۲/۶۲ | ۳/۹۳ | ۳/۱۵ | ۲/۱۷ | ۲/۰۵ |
| پرشدن غلاف | ۴/۶۹ | ۳/۹۸ | ۲/۹ | ۲/۷۸ | ۴/۳۶ | ۳/۶۶ | ۲/۵ | ۲/۲۳ |

**جدول۹- ارزیابی آماری شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده توسط مدل** SWAP

| ضرایب | سال زراعی۸۸-۱۳۸۷ | سال زراعی۸۹-۱۳۸۸ |
|---|---|---|
| $R^2$ | ۰/۸۴ | ۰/۸۷ |
| RMSE | ۷/۶۹ | ۶/۳۶ |
| MAE | ۱۰/۵۷ | ۸/۵ |
| CRM | ۴/۲ | ۳/۸ |
| SD | ۱۲/۷ | ۱۰/۴ |

**جدول ۱۰- مقادیر عملکرد بیولوژیکی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در سال زراعی۸۸-۸۷ و۸۹-۸۸**

| تیمار آبیاری | عملکرد بیولوژیکی اندازه‌گیری‌شده (kg/ha) | | عملکرد بیولوژیکی شبیه‌سازی شده (kg/ha) | | درصد انحراف مقادیر | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | سال ۸۸-۱۳۸۷ | سال ۸۹-۱۳۸۸ | سال ۸۸-۱۳۸۷ | سال ۸۹-۱۳۸۸ | سال ۸۸-۱۳۸۷ | سال ۸۹-۱۳۸۸ |
| FI | ۹۶۹۷/۷ | ۹۹۶۴/۲ | ۹۸۰۷/۸ | ۱۰۲۴۰/۹ | ۱/۱۲ | ۲/۷ |
| $DI_{75\%}$ | ۸۸۳۷/۸ | ۹۷۰۰/۶ | ۹۱۰۰/۵ | ۹۸۰۹/۹ | ۲/۸۹ | ۱/۱۱ |
| $DI_{50\%}$ | ۵۵۱۱/۲ | ۶۰۲۶ | ۶۳۲۰/۴ | ۶۳۳۷/۸ | ۱۲/۸ | ۴/۹۱ |
| $PRD_{50\%}$ | ۵۳۰۱/۷ | ۵۴۲۰/۵ | ۶۲۰۱/۹ | ۶۰۰۰ | ۱۴/۵۱ | ۹/۶۶ |

**جدول۱۱- ارزیابی آماری عملکرد بیولوژیکی شبیه‌سازی شده توسط مدل** SWAP

| ضرایب | سال زراعی۸۸-۱۳۸۷ | سال زراعی۸۹-۱۳۸۸ |
|---|---|---|
| RMSE | ۱۱/۴ | ۱۵/۶ |
| MAE | ۱۲/۹ | ۱۰ |
| CRM | -۰/۶ | -۰/۷۳ |
| SD | ۱۸/۵ | ۱۶/۲ |
| $R^2$ | ۰/۸۱ | ۰/۸۸ |

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول ۱۲- مقادیر عملکرد محصول اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در سال زراعی۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸**

| | عملکرد دانه اندازه‌گیری‌شده (kg/ha) | | عملکرد دانه شبیه‌سازی شده (kg/ha) | | درصد انحراف مقادیر | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تیمار آبیاری | سال ۸۸-۱۳۸۷ | سال ۸۹-۱۳۸۸ | سال ۱۳۸۸-۱۳۸۷ | سال ۱۳۸۹-۱۳۸۸ | سال ۸۸-۱۳۸۷ | سال ۸۹-۱۳۸۸ |
| FI | ۳۷۹۷/۶ | ۴۱۶۵/۷ | ۳۸۷۲/۴ | ۴۳۰۲/۵ | ۱/۹۳ | ۳/۱۷ |
| $DI_{75\%}$ | ۳۶۶۷/۱ | ۳۹۰۲/۵ | ۳۷۹۶/۵ | ۴۰۲۰ | ۳/۴۱ | ۲/۹۳ |
| $DI_{50\%}$ | ۳۲۶۹/۵ | ۳۴۱۱ | ۳۴۵۵/۲ | ۳۶۶۴/۳ | ۵/۳۷ | ۶/۹۱ |
| $PRD_{50\%}$ | ۳۱۸۷/۱ | ۳۲۲۶/۶ | ۳۲۹۲/۸ | ۳۵۴۱/۵ | ۳/۲۱ | ۶/۰۷ |

**جدول ۱۳- مقدار آماره‌های محاسبه شده برای تعیین قابل اعتماد بودن مدل SWAP در برآورد عملکرد دانه**

| سال زراعی | CRM | RMSE | MAE | SD | $R^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱۳۸۷-۱۳۸۸ | -۰/۲۲ | ۳/۲۱ | ۴/۳۷ | ۷/۸۶ | ۰/۹۱ |
| ۱۳۸۸-۱۳۸۹ | -۰/۳۵ | ۴/۴۶ | ۴/۹۳ | ۹/۳۵ | ۰/۹۳ |

**جدول ۱۴- مقادیر کارایی مصرف آب سویا اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در سال۱۳۸۸-۱۳۸۷ و ۱۳۸۹-۱۳۸۸**

| | کارایی مصرف آب اندازه‌گیری‌شده ($kg/m^3$) | | کارایی مصرف آب شبیه‌سازی شده ($kg/m^3$) | | درصد انحراف مقادیر | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تیمار آبیاری | سال ۱۳۸۸-۱۳۸۷ | سال ۱۳۸۹-۱۳۸۸ | سال ۱۳۸۸-۱۳۸۷ | سال ۱۳۸۹-۱۳۸۸ | سال ۱۳۸۸-۱۳۸۷ | سال ۱۳۸۹-۱۳۸۸ |
| FI | ۰/۴۴ | ۰/۴۹ | ۰/۴۲ | ۰/۴۶ | ۴/۵۵ | ۶/۱۲ |
| $DI_{75\%}$ | ۰/۵۶ | ۰/۶۲ | ۰/۵۲ | ۰/۵۸ | ۷/۱۴ | ۶/۴۵ |
| $DI_{50\%}$ | ۰/۷۶ | ۰/۸۱ | ۰/۶۹ | ۰/۷۴ | ۹/۲۱ | ۸/۶۴ |
| $PRD_{50\%}$ | ۱/۴۷ | ۱/۵۷ | ۱/۴۳ | ۱/۴۹ | ۲/۷۲ | ۵/۰۹ |

**جدول ۱۵- ارزیابی آماری کارایی مصرف آب شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAP**

| سال زراعی | RMSE | SD | $R^2$ |
|---|---|---|---|
| ۱۳۸۷-۱۳۸۸ | ۴/۷۶ | ۹/۱ | ۰/۸۴ |
| ۱۳۸۸-۱۳۸۹ | ۵/۸ | ۱۰/۲ | ۰/۸۹ |

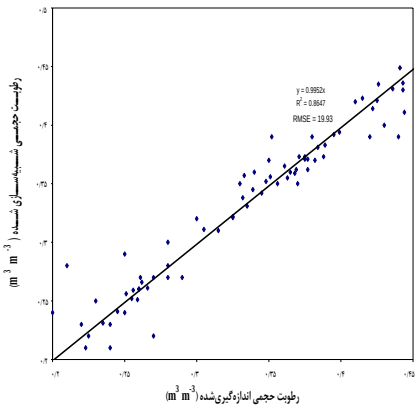
**ج) تغییرات رطوبت**

با استفاده از نرم‌افزار SAS بین زوج مرتب‌های رطوبت حجمی اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی شده رگرسیون گرفته شد و مشخص شد مقدار ضریب $R^2$ از لحاظ آماری معنی‌دار است. بر اساس آزمون مقایسه میانگین T-test تفاوت معنی‌دار بین X و Y از نظر آماری در سطح یک درصد وجود ندارد که نشان‌دهنده شبیه‌سازی نسبتاً قابل قبول رطوبت خاک توسط مدل SWAP در سه عمق فوق است. (شکل ۱، شکل ۲ و شکل۳). مطابق با شکل‌های (۱) تا (۳)، بهترین شبیه‌سازی (حداقل RMSE و حداکثر $R^2$) در عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک به‌دست آمده است.

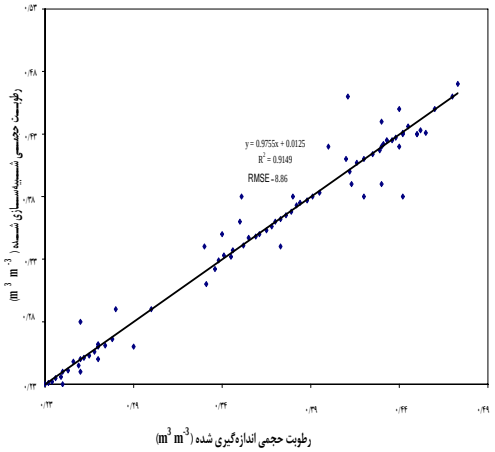
www.SID.ir

Archive of SID

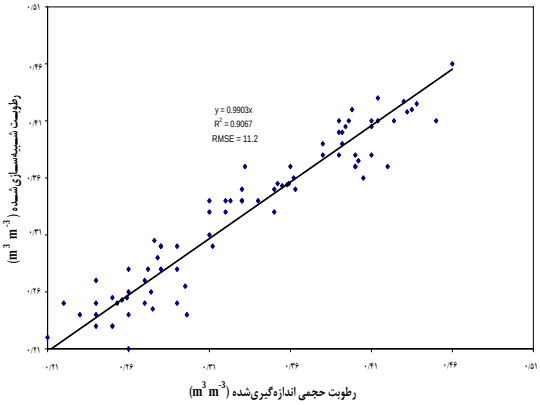





**شکل۱- مقایسه مقادیر رطوبت برآورد شده توسط مدلSWAP و اندازه گیری شده در عمق۲۰-۰**




**شکل۲- مقایسه مقادیر رطوبت برآورد شده توسط مدلSWAP و اندازه گیری شده در عمق ۴۰-۲۰**




**شکل۳- مقایسه مقادیر رطوبت برآورد شده توسط مدلSWAP و اندازه گیری شده در عمق ۶۰-۴۰**

www.SID.ir

Archive of SID



## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مقدار عملکرد محصول و عملکرد بیولوژیکی شبیه‌سازی شده توسط مدل در هر دو سال زراعی بالاتر از مقادیر اندازه‌گیری شده به دست آمد ولی مقادیر شبیه‌سازی شده شاخص سطح برگ پایین‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده بود که ممکن است دلیل این امر بر اساس نتایج تحلیل حساسیت، حساسیت زیاد مدل در تغییر حتی بسیار جزئی در برخی از پارامترهای ورودی مشخصات خاک مانند رطوبت باقی‌مانده و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و همچنین پارامترهای گیاهی متعدد به ویژه ارتفاع متوسط گیاه و سطح برگ ویژه باشد که باید به صورت بسیار دقیق اندازه‌گیری شوند. درصد رطوبت برآورد شده با مدل در سه عمق مختلف خاک دارای $R^2$ نسبتاً قابل قبولی بود و در نهایت با توجه به تحلیل‌های آماری ارائه شده نتایج واسنجی مدل نسبتاً مطلوب است. توصیه می‌شود عملکرد مدل SWAP با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای در سطح مزارع کشاورزان مورد بررسی قرار گیرد و با توجه به قابلیت این مدل در اتصال به برنامه GIS از ابزارهای مدیریتی روز دنیا مانند تصاویر ماهواره‌ای و سنجش از دور استفاده و با تفسیر تصاویر، مدیریت یکپارچه آب در سطح شبکه آبیاری و زهکشی انجام گردد تا با به روز رسانی اطلاعات ورودی بتوان پیش‌بینی مناسبی از عملکرد محصول به دست آورد.

## منابع


۱- امیری، ا.، کاوسی، م.، و ف. کاوه. ۱۳۸۸. ارزیابی مدل‌های گیاهیORYZA2000، SWAP و WOFOST در مدیریت‌های مختلف آبیاری. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد۱۰، شماره۳، صفحات ۲۸-۱۳.

۲- بابازاده، ح.، سرائی تبریزی، م.، پارسی‌نژاد، م. و ع. م. مدرس ثانوی. ۱۳۸۹. بررسی برخی صفات کیفی و کمی زراعی سویا ( Glycine max L. Merrill) در شرایط تنش آبی. مجله پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۲۴، شماره ۲ ، صفحات: ۱۰۹-۹۹.

۳- پرچمی عراقی ف.، میر لطیفی، م.، و ا. گیلانی. ۱۳۸۸. ارزیابی مدیریت آبیاری با استفاده از شاخص‌های عکس‌العمل مدیریت آبیاری، کارایی مصرف آب مدل زراعی- هیدرولوژیکی SWAP . دومین همایش ملی خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، اصفهان، صفحات: ۳۶۹-۳۶۴.

۴- خانی قریه گپی م.، داوری، ک.، علیزاده، ا.، هاشمی‌نیا، م. و ا. ذوالفقاران. ۱۳۸۶. ارزیابی مدل SWAP در برآورد عملکرد چغندرقند تحت کمیت‌ها و کیفیت‌های مختلف آبیاری. مجله آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱، شماره ۲، صفحات: ۱۱۸-۱۰۷.

۵- زارع ابیانه، ح.، فرخی، ا.، وظیفه‌دوست، م. و خ. اژدری. ۱۳۸۹. برآورد الگوی توزیع رطوبت خاک تحت آبیاری قطره‌ای در مزرعه پیاز. مجله آب و خاک، جلد۲۴، شماره۶، صفحات ۱۲۰۹- ۱۱۹۷.

۶- سرائی تبریزی، م.، بابازاده، ح.، پارسی‌نژاد، م. و ع. م. مدرس ثانوی. ۱۳۸۹. بهبود کارایی مصرف آب سویا با استفاده از آبیاری بخشی منطقه ریشه (Partial Root Drying). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (علوم آب و خاک)، جلد ۱۴، شماره ۵۲ ، صفحات ۱۳-۱.

۷- کوهی چله‌کران، ن.، اسلامی، ا. و ر. اسدی. ۱۳۹۰. بهبود مدیریت آبیاری هیبریدهای ذرت دانه‌ای در ارزوئیه کرمان با استفاده از مدل SWAP. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۱۲، شماره ۱، صفحات ۳۲-۱۷.

۸- کیانی، ع. و م. همائی. ۱۳۸۶. ارزیابی مدل SWAP در شبیه‌سازی انتقال آب و املاح در نیمرخ خاک. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۸، شماره ۱، صفحات ۳۰-۱۳.

۹- نصیری محلاتی، م. ۱۳۷۹. مدل‌سازی فرآیندهای رشد گیاهان زراعی. چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۲۸۰صفحه.

۱۰- میمندی‌نژاد، م. ج. ۱۳۷۷. شالوده بوم شناسی. انتشارات دانشگاه تهران، ۸۰۸ صفحه.


www.SID.ir

Archive of SID



۱۱- نوروزی، م.، ماهرانی، م. و م. مسچی. ۱۳۷۸. استفاده از آب‌های شور و لب شور برای آبیاری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۲۶. ۷۶ صفحه.

۱۲- وردی‌نژاد، ح.، سهرابی، ت.، حیدری، ن.، عراقی‌نژاد، ش. و م. فیضی. ۱۳۸۹. تعیین عمق بهینه آبیاری محصولات زراعی در شرایط شوری با استفاده از مدلSWAP. مجله آب و خاک، جلد۲۴، شماره۳، صفحات: ۴۷۵-۴۶۳.

13- Bannayan, M. and N. M. J. Cruot. 1999. A stochastic modeling approach for real time forcasting of winter wheat yield. Field Crop Research, 62(4): 85-95.

14- Belmans, C. J., Wesseling, J. G. AND r. a. Feddes. 1983. Simulation of water balance of the cropped soil: SWATRE. Journal of Hydrology, 63(4): 271-286.

15- Feddes, R. A., Kowalik, P. J. and H. Zaradny. 1987. Simulation of field water use and crop yield. Wageningen University, Researches Report, 189p.

16- Heng, L. K., Hsiao, T. C., Evett, S., Howell, T. and P. Steduto. 2009. Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. Agronomy Journal, 101: 488–498.

17- Jamieson, P. D., Porter, J. R. and D. R. Wilson. 1991. A test of the computer simulation model ARC-WHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. Field Crops Research, 27: 337–350.

18- Kabat, P., Van den Broke, B. G. and R. A. Feddes. 1992. SWACROP: A water management and crop production simulation model. ICID Bulletin 92. 41(2): 61-84.

19- Kroes, J. G., Van Bakle, P. J. T., Huygen, J., Kroon, T. and R. Pastoorse. 2001, Actualisatie van de hydrology voor STONE 2.0, Report 298, Alterra Wagenningen, 68p.

20- Kroes, J. G., Van Dam, J. C., Huygen, J. and R. W. Vervoot. 1999. User's guide of SWAP version 2.0, simulation of water flow, solute transfer and plant growth in the soil-atmosphere-plant environment, Technical Document 48, Altera Green World Research, Report 81, Dept. of Water Resources, Wageningen University, 127p.

21- Loague, K. and R. E. Green. 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. Journal of Contaminant Hydrology, 7: 51-73.

22- Liu, H. F., Genard, M., Guichard, S. and N. Bertin. 2007. Model-assisted analysis of tomato fruit growth in relation to carbon and water fluxes. Journal of Experimental Botany, 58(13): 3567-3580.

23- Noory, H., Van der Zee, S. E. A., Liaghat, A. M., Parsinejad, M. and J. C. Van Dam. 2011. Distributed agro-hydrological modeling with SWAP to improve water and salt management of the Voshmgir irrigation and drainage network in Northern Iran. Agricultural Water Management, 98:1062–1070.

24- Sarai Tabrizi, M., Parsinejad, M. and H. Babazadeh. 2012. Efficacy of partial root drying technique for optimizing soybean crop production in semi-arid regions. Irrigation and Drainage, 61(1): 80-88.

25- Vazifedoust, M., Van Dam, J. C., Feddes, R. A. and M. Feizi. 2008. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. Agricultural Water Management, 95: 89–109.

26- Van Dam, J.C. 2000. Field scale, water flow and solutes transport, SWAP model concepts, Parameter Estimation and case studies. Ph.D. Thesis, Wageningen University, 167p.

27- Van Dam, J. C., Stricker, J. N. M. and P. Droogers. 1994. Inverse method to determine soil hydraulic functions from multi-step outflow experiment. Soil Science Society American Journal, 58(3): 647-652.

www.SID.ir

Archive of SID



28- Van Dam, J.C., Huygen, J., Wesseling, J. G., Feddes, R. A., Kabat, P., Van Walsum, P. E. V., Groenendijk P. and C. A. Van Diepen. 1997. Theory of SWAP. Version 2, Simulation of Water Flow, Solute Transported Plant Growth In The Soil-Water Atmosphere-Plant Environment, Report No. 71, Dept. of Water Resource, Wageningen University, 167p.

29- Van Genuchten, M. Th., F. J. Leij, and S. R. Yates. 1991. The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils, Version 1.0. EPA Report 600/2-91/065, U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, California, 85p.

30- Wesseling, J. G., Elbers, J. A., Kabat, P. and B. G. Van Den Broek. 1991. SWATRE: Instructions for input. Internal Note, Winard Staring Center, Wageningen University, 98p.

www.SID.ir