

بهبود مدیریت آبیاری هیبریدهای ذرت دانه‌ای در ارزوئیه کرمان

با استفاده از مدل SWAP

نادر کوهی چله کران*، امیر اسلامی و رسول اسدی**

* نگارنده مسئول، نشانی: کرمان، بلوار شهید آیت اله صدوقی (جاده تهران)، ابتدای بلوار کشاورز، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، بخش تحقیقات فنی و مهندسی، ص.پ. ۵۳۸-۷۶۱۷۵، تلفن: ۲۱۱۷۳۹۴ (۰۳۴۱)، پیام‌نگار: nakch71@yahoo.com
** به ترتیب اعضاء هیئت علمی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان؛ دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و عضو باشگاه پژوهشگران جوان واحد کرمان
تاریخ دریافت: ۸۸/۱۰/۱؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۱/۲

چکیده

پژوهش حاضر بر روی محصول ذرت در ارزوئیه کرمان به مدت دو سال متوالی ۸۵-۸۶ و ۸۴-۸۵ انجام گرفت. آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار که در آن مقدار آب مصرفی در ۴ سطح به‌عنوان فاکتور اصلی (۶۰، ۸۰، ۱۰۰ درصد نیاز آبی ذرت و آبیاری بر اساس عرف منطقه) و رقم در سه سطح (سینگل کراس ۴۰۴، ۷۰۰ و ۷۰۴) به‌عنوان فاکتور فرعی انجام شد. داده‌های اندازه‌گیری شامل حجم آب آبیاری، عملکرد دانه و شاخص سطح برگ بودند. نتایج حاصل از اجرای مدل SWAP نشان داد که همبستگی نسبتاً خوبی بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی وجود دارد، به طوری که مقادیر تیمارهای آبیاری نزدیک به مقادیر تبخیر و تعرق بالقوه به‌دست آمد. همچنین اختلافاتی بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی با مدل مربوط به رقم‌های مورد استفاده ذرت وجود داشت. این اختلاف‌ها در هر دو پارامتر میزان عملکرد و شاخص سطح برگ مشهود بودند. به‌رحال در شرایط آب و هوایی سال‌های ۸۵ و ۸۶ در منطقه مورد تحقیق رقم ذرت سینگل کراس ۷۰۴ نسبت به سایر ارقام مناسب‌تر تشخیص داده شد. با توجه به شوری آب آبیاری ($EC=4$ دسی‌زیمنس بر متر) میزان آب آبیاری مورد نیاز برای حصول بیشترین عملکرد نسبی ۱۱۰۰ میلی‌متر (۱۱۰۰۰ متر مکعب در هکتار) به‌دست آمد. همچنین بررسی شوری‌های مختلف نیز میزان کاهش محصول را، به ازای افزایش ۲ دسی‌زیمنس بر متر شوری، ۷ درصد نشان داد.

واژه‌های کلیدی

ذرت، شاخص سطح برگ، مدل SWAP، مقدار آب مصرفی

مقدمه

آبیاری سطحی به‌عمل آورده‌اند. در استان کرمان به‌ترتیب با متوسط بارندگی و تبخیر سالیانه برابر با ۱۴۵ و ۱۷۰۰ میلی‌متر بیش از ۹۴ درصد اراضی به روش سطحی آبیاری می‌شوند. این در حالی است که ۹۸ درصد منابع آب استان که عمده آن در بخش کشاورزی مصرف می‌گردد از آب‌های زیرزمینی تأمین شده و حدود ۸۰۰ میلیون متر مکعب بیش از توان سفره‌هاست (سالنامه سازمان جهاد کشاورزی کرمان، ۱۳۸۵). لذا میزان تولید

آبیاری سطحی یکی از متداول‌ترین روش‌های آبیاری است که به‌دلیل ارزانی، سادگی و عدم نیاز به فناوری بالا در بین زارعین کاربرد وسیعی دارد. با توجه به روند افزایش هزینه‌های سرمایه‌ای سیستم‌های آبیاری تحت فشار و هزینه مصرف انرژی، امروزه کشورهای صنعتی به منظور کاهش این هزینه‌ها اقدامات مؤثری در بالا بردن بازدهی و خودکار کردن روش‌های

نشان داد که عملکرد نسبی با کاربرد ۹۰۰ میلی‌متر آب و شوری آب ۴ دسی‌زیمنس بر متر برابر با ۶۶ درصد عملکرد پتانسیل (۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) می‌گردد. در حالی که اگر شوری آب به سطح ۱ یا ۲ دسی‌زیمنس بر متر می‌رسید، عملکرد به ترتیب برابر با ۷۳ و ۷۷ درصد عملکرد پتانسیل می‌شد. نهایتاً آنها پیشنهاد کردند که در منطقه رودشت اصفهان آبیاری با مقدار ۹۰۰ میلی‌متر و شوری آب ۴ دسی‌زیمنس بر متر بهترین تیمار محسوب می‌شود.

روئیز و اتست (Ruiz & Utset, 2003) در کوبا برای ارزیابی SWAP ابتدا مدل را برای منطقه مورد نظر واسنجی و سپس برای شبیه‌سازی محصول نیشکر استفاده کردند. نتایج عملکرد شبیه‌سازی شده با داده‌های اندازه‌گیری شده انطباق خوبی داشتند، اگر چه زمانی که از مقادیر متوسط برای پارامترهای ورودی مدل استفاده شد (قبل از واسنجی) ضریب همبستگی بین خروجی‌های مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده تنها ۰/۴ بود.

قهرمان و همکاران (Ghahraman *et al.*, 2004) عملکرد شبیه‌سازی شده گندم و جو توسط مدل عددی SWAP93 را با مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه در کرج مقایسه کردند، نتایج نشان دادند که در فرایند شبیه‌سازی پارامترهای LAI (شاخص سطح برگ) و Ks (هدایت هیدرولیکی اشباع) تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد دارند. از دیگر موارد استفاده از مدل SWAP در پروژه‌ها می‌توان به مطالعاتی که تدشی و مننتی (Tedeschi & Menenti, 2002) با استفاده از مدل SWAP برای بررسی اثرات آبیاری با آب شور و آب معمولی با دوره‌های آبیاری مختلف بر روی ساختمان خاک، شوری خاک و تعادل آب در خاک انجام دادند و یا پروژه زهکشی که توسط قریشی و همکاران (Qureshi *et al.*, 2000) در ایالت پنجاب هند انجام گرفت و همچنین طرح دیگری که توسط فارکاس و همکاران (Farkas *et al.*, 2003) در

اقتصادی به ازای واحد آب مصرفی، که همان بهره‌وری آب^۱ می‌باشد، در استان از اهمیت زیادی برخوردار است. از جمله ابزارهای مؤثر در تحقق یافتن این هدف، ارزیابی طرح‌های آبیاری و سپس ارائه راهکارهایی جهت بالا بردن بهره‌وری آب است. در این راستا می‌توان از مدل‌های رایانه‌ای استفاده کرد. امروزه مدل‌های شبیه‌سازی متعددی جهت برآورد وضعیت رطوبتی خاک و برنامه‌ریزی آبیاری و نیز پیش‌بینی عملکرد، تهیه و ارائه شده‌اند که به‌صورت گسترده‌ای در سطح جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند. به دلیل آن که اغلب این مدل‌ها بر پایه شرایط اقلیمی زراعی خاص یک منطقه تهیه شده‌اند، کاربرد آنها در مناطق مختلف مستلزم اصلاح و واسنجی است تا داده‌های حاصل قابل مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده باشند. از مدل‌های رایانه‌ای موجود می‌توان به مدلی که توسط دانشگاه واگنینگن^۱ و مؤسسه آلترا^۲ به نام SWAP^۳ نوشته شده است، اشاره کرد.

قریشی و همکاران (Qureshi *et al.*, 2002) بیلان رطوبتی آب در خاک در زراعت نیشکر را به کمک مدل SWAP شبیه‌سازی کردند. آنها در تحقیق خود به دنبال به‌دست آوردن بهترین میزان و دور آبیاری در سیستم آبیاری سطحی در سند پاکستان بودند. تیمارها شامل ۴ سطح آبیاری به میزان ۹۰۰، ۱۲۰۰، ۱۶۵۰، و ۱۸۰۰ میلی‌متر در طول فصل زراعی و ۳ دور آبیاری ۱۵، ۲۲ و ۳۱ روز بودند. نتایج آنها نشان داد که آب کاربردی به میزان ۱۶۵۰ میلی‌متر و دور آبیاری ۱۵ روز بهترین رژیم آبیاری است و در این شرایط، محصول از عملکرد بالایی برخوردار بود.

دروگزر و همکاران (Droogers *et al.*, 2001) ارزیابی تأثیر تغییر در کمیت و کیفیت آب آبیاری بر شوری خاک و عملکرد گیاه پنبه را برای پروژه آبیاری رودشت اصفهان، با استفاده از مدل SWAP انجام دادند. نتایج این تحقیق

فرعی در سه سطح (سینگل کراس ۴۰۴، ۷۰۰، و ۷۰۴ به ترتیب: SC704، SC700، SC404) طی دو سال (۱۳۸۵-۱۳۸۶) اجرا گردید. نیاز آبی خالص گیاه با استفاده از فرمول پنمن- مونتیت اصلاح شده توسط فائو و اعمال ضریب گیاهی (Kc) تعیین شد. پارامترهای مربوط به فرمول پنمن- مونتیت از ایستگاه هواشناسی حاجی‌آباد (در استان هرمزگان) که نزدیک به محل بود، اخذ شد و ضریب گیاهی با استفاده از دستورالعمل نشریه شماره ۲۴ فائو (Doorenbas & Pruitt, 1975) تعیین گردید. در این تحقیق، دور آبیاری برای همه تیمارها با توجه به عرف منطقه هر ۹ روز یک بار و مقدار آب ورودی به هر کرت با استفاده از کنتور حجمی اندازه‌گیری و متناسب با تیمار مورد نظر در اختیار گیاه قرار گرفت. برای آبیاری تیمار عرف منطقه از زارعین محل جهت آبیاری کمک گرفته شد و هر زمان که زارعین زمان خاتمه آبیاری را اعلام می‌کردند، آبیاری خاتمه می‌یافت و حجم آب یادداشت می‌گردید. فاصله بین تکرارهای آزمایش ۳ متر و هر کرت اصلی شامل ۱۵ خط و هر کرت فرعی شامل ۵ خط به فاصله ۷۵ سانتی‌متر و به طول ۱۲ متر بود. تراکم مورد نظر برای تمام هیبریدها با در نظر گرفتن فواصل ۱۸×۷۵ سانتی‌متر برابر با ۷۴۰۷۴ بوته در هکتار بود. مقدار کود شیمیایی براساس آزمون خاک و توصیه کودی مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور ۴۵۰ کیلوگرم اوره، ۱۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریبل و ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم بود که تمامی کود فسفات و یک سوم کود ازته در زمان کاشت و مابقی کود ازته در مرحله ۷ برگی شدن ذرت استفاده شد. خصوصیات مورد اندازه‌گیری در این مطالعه عبارت بودند از: عملکرد دانه، که برای تعیین آن بلال‌های دو خط وسط هر کرت برداشت شد. رطوبت دانه با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج تعیین و عملکرد دانه و وزن هزار دانه بر مبنای رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد. بهره‌وری آب از تقسیم کردن عملکرد دانه هر کرت بر میزان آب مصرفی

فنلاند در مورد روند جریان آب در خاکی با بافت سنگین به کمک مدل SWAP انجام گرفت اشاره کرد. وظیفه‌دوست و همکاران (Vazifedoust *et al.*, 2008) از مدل SWAP به منظور بررسی میزان افزایش بهره‌وری آب برای محصولاتی که تحت شرایط کم‌آبیاری بودند استفاده کردند.

تحقیق حاضر تلاشی است برای واسنجی مدل SWAP در منطقه و استفاده از آن جهت بهبود بهره‌وری در مصرف آب با توجه به عوامل مدیریتی مختلف و تعیین بهترین و کارآمدترین میزان آب مصرفی در زراعت ذرت به روش آبیاری سطحی، همچنین اثر شوری آب بر عملکرد محصول نیز مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه اجرای طرح

منطقه ارزوئیه واقع در ۲۷۰ کیلومتری جنوب غربی کرمان در محدوده جغرافیایی ۲۸° ۱۹' تا ۲۸° ۳۸' عرض شمالی و ۷° ۵۷' تا ۳۲' ۵۹° طول شرقی با ارتفاع متوسط ۱۲۰۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. از نظر تقسیمات کشوری ارزوئیه وابسته به شهرستان بافت از توابع استان کرمان بوده و وسعت آن ۴۶۴۰ کیلومتر مربع می‌باشد. اقلیم منطقه نیمه بیابانی خفیف و جزو نواحی گرم محسوب می‌گردد. اغلب بارش منطقه در فصل زمستان است. سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای در این منطقه حدود ۱۱۰۰۰ هکتار می‌باشد که عمدتاً در اکثر مزارع به روش سطحی آبیاری می‌گردد.

قالب طرح و روش اجرا

آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار که در آن سطوح آبیاری به عنوان فاکتور اصلی در ۴ سطح (۶۰، ۸۰، و ۱۰۰ درصد نیاز آبی و عرف منطقه) و رقم به عنوان فاکتور

فوق، خاک‌رخ حداکثر به ۴۰ طبقه (یا ۴۱ گره) در ۵ لایه مختلف تقسیم گردد. گام زمانی انتگرال‌گیری به‌صورت خودکار بر اساس میزان $S(h)$ و تغییرات شارهای جریان مابین طبقات مختلف تعیین می‌شود. پارامتر $S(h)$ میزان جذب آب توسط ریشه‌ها را شبیه‌سازی می‌کند (رابطه ۲) و بستگی به بار فشاری رطوبت خاک و حداکثر نرخ جذب آب (S_{max}) دارد.

$$S(h) = \alpha(h) S_{max} \quad (2)$$

که در آن، $\alpha(h)$ = ضریب کاهش و S_{max} = حداکثر نرخ جذب آب ریشه‌ها (در روز) است. در این معادله فرض شده است حداکثر نرخ جذب آب ریشه‌ها به‌صورت یکنواخت در عمق مؤثر ریشه‌ها توزیع می‌گردد (رابطه ۳).

$$S_{max} = \frac{T_p}{Z} \quad (3)$$

که در آن، T_p = نرخ تعرق پتانسیل (متر در روز)؛ Z = عمق مؤثر ریشه‌دهی، عمقی که ۷۰ تا ۸۰ درصد ریشه‌ها مشاهده شود (متر)؛ و ضریب α بین صفر تا یک متغیر است.

پارامترهای مورد نیاز مدل

هر مدل رایانه‌ای نیاز به شرایط مرزی دارد که به عنوان ورودی به مدل داده می‌شود. در مدل SWAP شرایط مرزی بالای تبخیر و تعرق پتانسیل (بر اساس معادله پنمن_ مونتیت) و مجموع بارندگی و آبیاری تعریف شده است. مرز پایینی به‌علت پایین بودن سطح ایستابی

در هر کرت به‌دست آمد. یادداشت برداری‌های مهم صحرایی نظیر ثبت تاریخ‌های مربوط به کاشت (اولین آبیاری)، سبز مزرعه، ظهور گل‌تاجی^۱ و کاکل^۲ به‌موقع انجام و اندازه‌گیری شاخص سطح برگ (LAI) (با استفاده از پلانیمتر) هر ۱۴ روز یک بار از مرحله ۶ برگی تا مرحله رسیدن فیزیولوژیکی انجام شد.

توصیف مدل

مدل SWAP یک مدل هیدرولوژیکی کشاورزی بر پایه ارتباط فیزیکی بین پارامترهای خاک، آب، اتمسفر و گیاه می‌باشد و از زیر مجموعه‌های مختلفی از جمله شبیه‌سازی رشد محصول، مدیریت آبیاری، جریان آب و انتقال املاح و حرارت در خاک تشکیل شده است. هسته اصلی این مدل، شبیه‌سازی جریان عمودی آب در مناطق اشباع و غیراشباع است که به‌وسیله معادله معروف ریچاردز تشریح می‌شود و شبیه‌سازی با ترکیب یک تابع نزولی نیمه تحلیلی انجام می‌گیرد (van Dam, 1997).

مدلی یک بعدی است که معادله ریچاردز مربوط به حرکت قائم آب در سیستم ناهمگن خاک-ریشه گیاه را به روش تفاضل‌های محدود، حل می‌کند (رابطه ۱).

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

که در آن،

h = بار فشاری رطوبتی خاک (سانتی‌متر)؛ z = محور قائم (سانتی‌متر)؛ t = زمان (سانتی‌متر)؛ K = هدایت آبی یا آبگذری (سانتی‌متر در روز)؛ θ = درصد حجمی رطوبت خاک (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مربع)؛ S = میزان جذب آب توسط ریشه‌ها (در روز) است. این مدل، این امکان را فراهم می‌کند که برای حل رابطه

در منطقه به صورت زهکشی آزاد برای مدل تعریف گردید. نشان داده شده‌اند.

$$SD = \left\{ \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 / n \right\}^{1/2} \quad (4)$$

$$RMSE = \left\{ \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / n \right\}^{1/2} \quad (5)$$

$$MAE = \left\{ \sum_{i=1}^n |O_i - P_i| \right\} / n \quad (6)$$

$$CRM = \left\{ \sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i \right\} / \sum_{i=1}^n O_i \quad (7)$$

که در آن،

O, \bar{O}, P و n به ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده، اندازه‌گیری شده، متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده و تعداد داده‌ها می‌باشند و شاخص i نیز نشان‌دهنده هر یک از داده‌هاست. مقدار $RMSE$ نشان می‌دهد که تا چه حد اختلاف بین هر یک از مقادیر پیش‌بینی شده نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده متناظر، صرف‌نظر از این که کمتر یا بیشتر باشد، وجود دارد. MAE نشان‌دهنده خطای مطلق مدل و مقدار CRM نشان‌دهنده تمایل مدل برای برآورد بالاتر یا پایین‌تر در مقایسه با اندازه‌گیری‌ها می‌باشد. 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 (و برعکس). در صورتی که همه مقادیر پیش‌بینی شده برابر مقادیر اندازه‌گیری شده باشند شاخص‌های $RMSE, MAE, SD$ و CRM برابر با صفر خواهند شد.

مدل ساده استفاده شده است. داده‌های مورد نیاز این مدل ساده شامل: طول مدت رشد، تاریخ کشت و تاریخ برداشت، عمق ریشه گیاه و شاخص سطح برگ می‌باشد. برنامه‌ریزی آبیاری در $SWAP$ می‌تواند به صورت ثابت یا برنامه‌ریزی شده بر طبق یک سری معیار که وابسته به محدودیت‌های واقعی و اقتصادی در مناطق آبیاری مورد نظر است، انجام گیرد. در این تحقیق، میزان آب مصرفی بر اساس ۴ تیمار آبیاری (۶۰، ۸۰، ۱۰۰ درصد نیاز آبی و آبیاری عرف منطقه) اندازه‌گیری شد و عمق و تاریخ آبیاری در قسمت مربوط به آبیاری مدل وارد گردید. همچنین شوری آب آبیاری نیز اندازه‌گیری شد (۴ دسی‌زیمنس بر متر) و به‌عنوان یکی از پارامترهای ورودی به مدل داده شد. برای شبیه‌سازی جریان آب نیاز به داده‌های خاکشناسی از قبیل: توابع هیدرولیکی خاک، رطوبت قابل نگهداشت خاک و منحنی هدایت هیدرولیکی نسبت به رطوبت خاک می‌باشد که از مدل وان گنوختن و همکاران (Van Genuchten *et al.*, 1991) در برنامه RET_C استفاده شده است. این برنامه با استفاده از پارامترهای بافت (درصد رس و سیلت)، چگالی خاک و درصد مواد آلی، به آسانی، توابع هیدرولیکی خاک را تخمین می‌زند. به این منظور در محل آزمایش نمونه‌های خاک از اعماق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متری جمع‌آوری گردید (جدول ۱). برای ارزیابی مدل، علاوه بر ضریب همبستگی R^2 و انحراف معیار (SD) از شاخص‌های آماری لوگ و گرین (Loague & Green, 1991) نیز استفاده شد. این شاخص‌ها عبارتند از: ریشه میانگین مربعات خطا $(RMSE)^4$ ، میانگین خطای مطلق $(MAE)^5$ و ضریب مقدار باقیمانده $(CRM)^6$ که در رابطه‌های ۴ تا ۶

جدول ۱ - مشخصات اندازه گیری شده پروفیل خاک و پارامترهای معادله وان گنوختن استخراج شده از مدل RETC

λ	n	α	Ksat	Ores	Osat	رس	شن	سیلت	عمق خاک
(-)	(-)	(بر سانتی متر)	(سانتی متر در روز)	(متر مکعب بر متر مکعب)	(متر مکعب بر متر مکعب)	(درصد)	(درصد)	(درصد)	(سانتی متر)
۰/۱۷۷	۱/۵۵۹	۰/۰۱۶۳	۴۲/۸	۰/۰۱	۰/۴۲	۱۶	۲۲	۶۲	۰-۳۰
۰/۳۴۳	۱/۱۳۱	۰/۰۵۹۷	۴۳/۵۵	۰/۱	۰/۳۲	۱۶	۲۴	۶۰	۳۰-۶۰
۰/۲۹۸	۱/۱۲۹	۰/۰۵۸۶	۳۱/۵۵	۰/۰۹	۰/۴۲	۱۹	۲۳	۵۸	۶۰-۹۰

Ksat = هدایت هیدرولیکی اشباع خاک
 Ores = رطوبت باقیمانده خاک
 Osat = رطوبت اشباع خاک
 α و n = ضرائب تجربی

واسنجی مدل

شاخص توسط مدل نیز برآورد شده است که در اکثر تاریخها مقادیر آن با مقادیر رقم SC704 نسبت به دو رقم دیگر همخوانی بیشتری دارد. تبخیر و تعرق پتانسیل به کمک فرمول پنمن- مونتیت محاسبه و با استفاده از ضریب گیاهی مقدار واقعی آن برای ذرت به دست آمد. عملکرد نیز پس از برداشت محصول یادداشت گردید و برای مقدار پتانسیل آن در منطقه از آمار و اطلاعات موجود در مدیریت زراعت جهاد کشاورزی استان استفاده گردید.

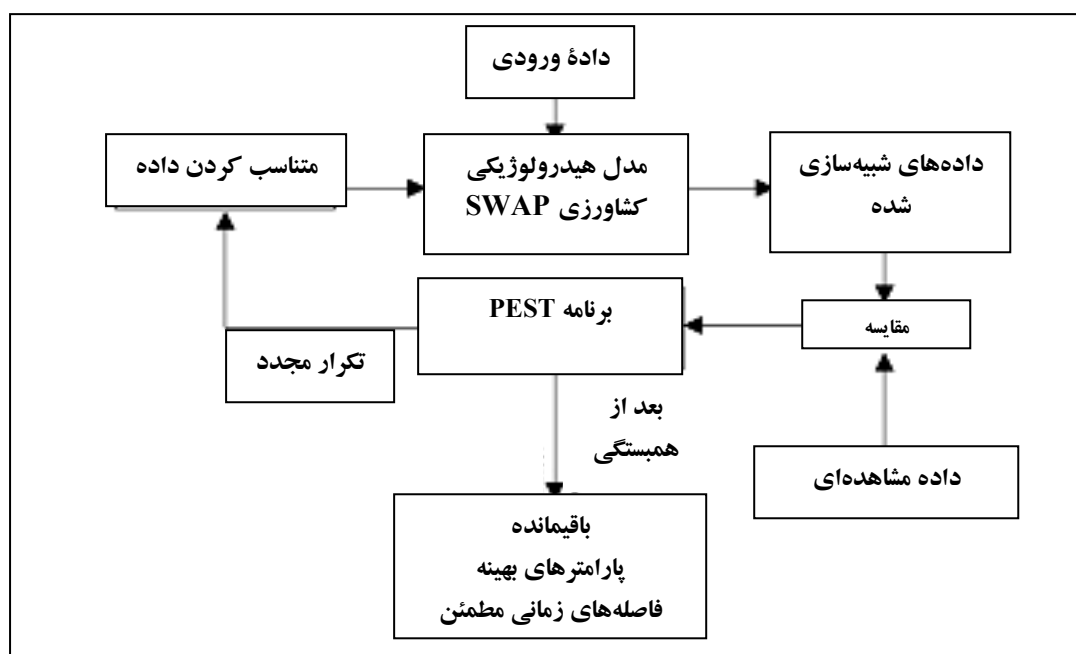
جهت واسنجی مدل در منطقه از داده های سال اول آزمایش استفاده گردید. داده های استفاده شده برای واسنجی مدل شامل: شاخص سطح برگ، تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل و عملکرد واقعی و پتانسیل بود. جهت اندازه گیری شاخص سطح برگ بعد از رشد گیاه در چند مرحله نمونه گیری انجام و این شاخص توسط پلانیمتر اندازه گیری شد تا در مرحله واسنجی از آن استفاده گردد (جدول ۲). همانطور که از جدول مشخص است مقدار این

جدول ۲- داده های مربوط به شاخص سطح برگ در تیمارهای مختلف

ارقام مختلف ذرت			مدل	تاریخ های نمونه برداری
SC404	SC700	SC704	SWAP	
۰/۰۷۵	۰/۱۱۴	۰/۰۸۵	۰/۰۸۴	۱۷ مرداد
۰/۱۹۱	۰/۲۹۱	۰/۲۳۵	۰/۱۵۹	۲۸ مرداد
۰/۸۶۰	۰/۹۰۵	۱/۰۹۱	۱/۰۰۷	۱۴ شهریور
۱/۵۳۱	۱/۷۳۶	۱/۹۲۶	۱/۸۸۶	۲۹ شهریور
۲/۱۱۰	۲/۴۴۴	۲/۵۵۷	۲/۳۶۳	۱۰ مهر
۲/۶۶۲	۲/۷۷۶	۲/۹۸۵	۲/۸۸۳	۲۸ مهر
۳/۰۰۰	۳/۰۹۹	۳/۳۹۱	۳/۲۹۶	۱۰ آبان

پارامتر و تحلیل پیش‌بینی کار می‌کند. در حالت تخمین پارامتر، مدل با حدس اولیه پارامترها اجرا می‌شود و نتایج مدل را با داده‌های مشاهده شده مقایسه می‌کند. این نرم‌افزار پارامترهای انتخابی را با استفاده از یک الگوریتم بهینه‌سازی تعدیل می‌کند و دوباره مدل را اجرا می‌کند. فرآیند تعدیل (منطبق کردن) پارامترهای منتخب تا وقتی که تفاوت بین نتایج مدل و داده‌های مشاهده شده به یک معیار قابل قبولی (۱ درصد) برسد، ادامه خواهد داشت. فرآیند تخمین پارامترها در شکل ۱ نشان داده شده است.

در واسنجی مدل اگر تفاوتی بین داده‌های به‌دست آمده با داده‌های حاصل از آزمایش باشد از برنامه کمکی تخمین پارامتر غیرخطی^۱ PEST، که به SAWP پیوند می‌شود، برای واسنجی استفاده می‌گردد. بسته نرم‌افزاری PEST شامل، شش برنامه کاربردی برای درست کردن و کنترل کردن فایل‌های ورودی آن، همچنین یک برنامه تحلیل حساسیت (SENSAN) برای اجرای چندگانه مدل با استفاده از مقادیر پارامتر متفاوت برای هر بار اجرا می‌باشد. برنامه PEST در دو حالت مختلف تخمین



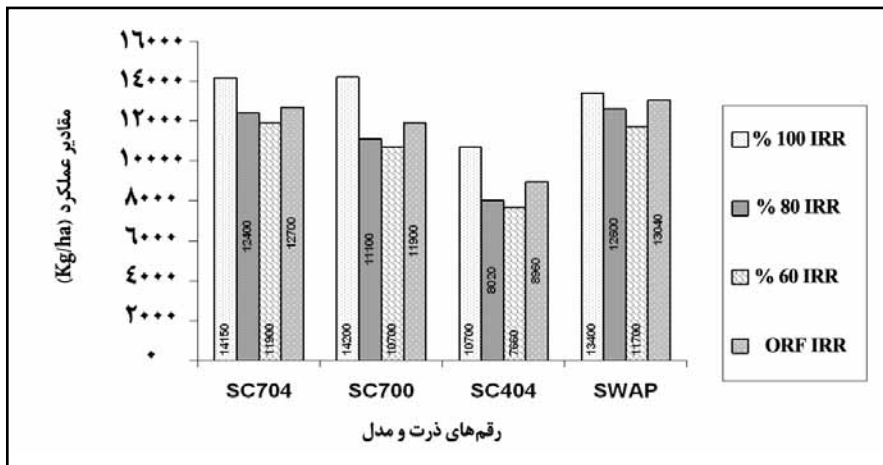
شکل ۱ - رابطه بین مدل SWAP و برنامه PEST

وجود داشته و برای کاربرد دقیق مدل نیاز به واسنجی آن می‌باشد که این کار توسط برنامه PEST انجام شد. در این برنامه از عملکرد نسبی که حاصل تقسیم عملکرد واقعی به عملکرد پتانسیل در منطقه می‌باشد، استفاده گردید. بر اساس داده‌های خروجی برنامه PEST و داده‌های مشاهداتی، بهترین خط از بین داده‌ها گذرانده شد که با توجه به میزان R بالاترین همبستگی را دارا باشد (شکل‌های ۳ و ۴).

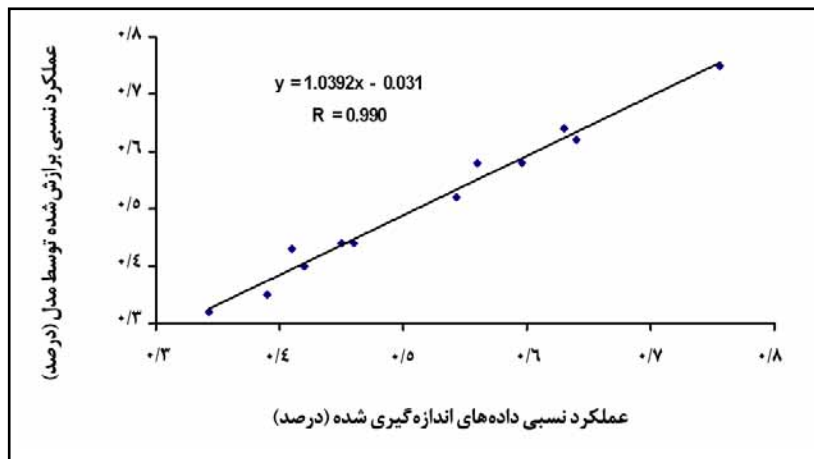
نتایج واسنجی

عملکرد محصول

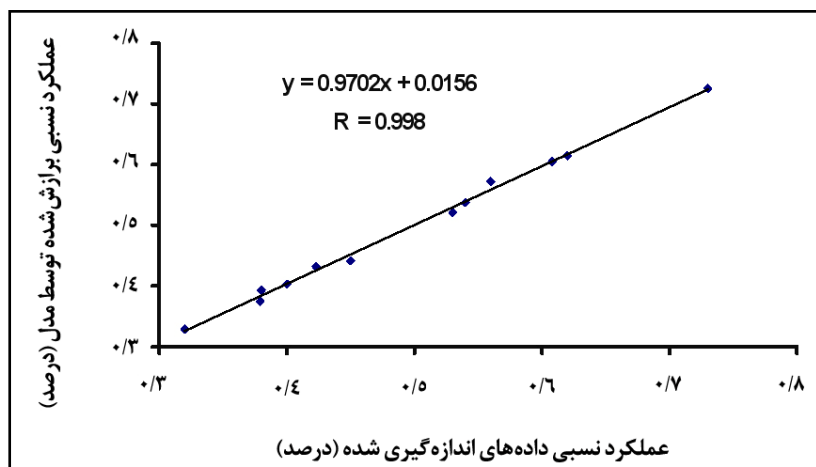
نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل در مورد عملکرد نشان داد که مدل، نسبت به دو رقم SC704 و SC700 از هماهنگی بسیار خوبی برخوردار است (شکل ۲). عملکرد این دو رقم و عملکرد حاصل از مدل در تمام تیمارهای آبیاری با هم سازگارند. هر چند که مقادیر مشاهداتی و محاسباتی به هم نزدیک بودند، اما اختلافی بین آنها



شکل ۲- مقایسه عملکرد به دست آمده از شبیه‌سازی مدل SWAP و نتایج مزرعه‌ای در سال ۸۵



شکل ۳- درصد عملکرد نسبی داده‌های مشاهداتی نسبت به محاسباتی در متوسط دو سال آزمایش برای تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری و رقم ذرت SC704



شکل ۴- درصد عملکرد نسبی داده‌های مشاهداتی نسبت به محاسباتی در متوسط دو سال آزمایش برای تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری و رقم ذرت SC700

شده است که این نشان دهنده کارکرد مطلوب مدل می‌باشد. ضریب CRM کوچک و منفی است و تمایل مدل را در برآورد بالاتر از مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد.

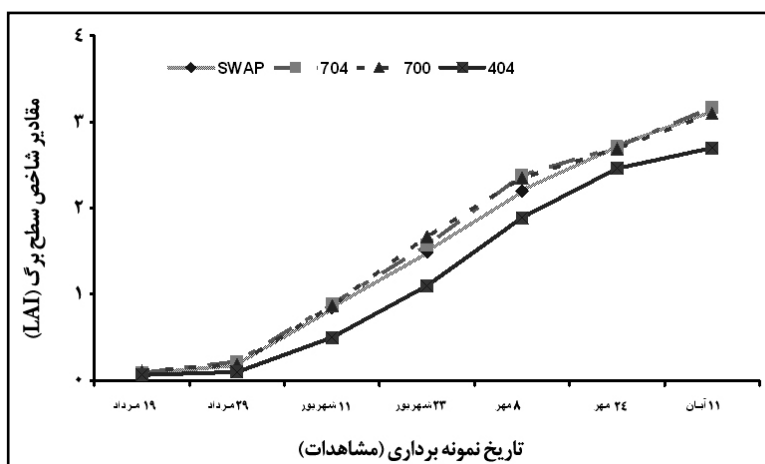
علاوه بر نتایج به دست آمده برای واسنجی مدل، از تحلیل آماری لوگ و گرین نیز استفاده گردید (جدول ۳). نتایج نشان دادند که ضریب RMSE برای عملکرد نسبی ذرت در هر دو سال در حد پائین و کمتر از انحراف معیار (SD)

جدول ۳- ارزیابی آماری لوگ و گرین بر عملکرد ذرت شبیه سازی شده توسط مدل SWAP

ضرایب	سال ۱۳۸۵	سال ۱۳۸۶
RMSE (درصد)	۱۰	۱۴
MAE (درصد)	۱۲	۱۱
CRM	-۰/۵	-۰/۴۷
SD (درصد)	۱۷	۱۵

نمونه نتایج سال اول در شکل ۵ آورده شده است. در جدول ۴ نتیجه تحلیل آماری شاخص سطح برگ نشان می‌دهد که ضرایب همبستگی، بالا و ضریب RMSE در حد پائین است.

شاخص سطح برگ
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 که به عنوان



شکل ۵ - مقایسه مقادیر به دست آمده شاخص سطح برگ از مدل و مشاهده شده برای رقم‌های ذرت در سال ۱۳۸۵

جدول ۴- ارزیابی آماری شاخص سطح برگ ذرت شبیه سازی شده توسط مدل SWAP

ضرایب	سال ۱۳۸۵	سال ۱۳۸۶
R (درصد)	۸۶	۸۷
RMSE (درصد)	۱۰/۵	۹/۴
MAE (درصد)	۱۱	۱۲
CRM	۵/۲	۴/۹
SD (درصد)	۱۴/۸۵	۱۳/۶

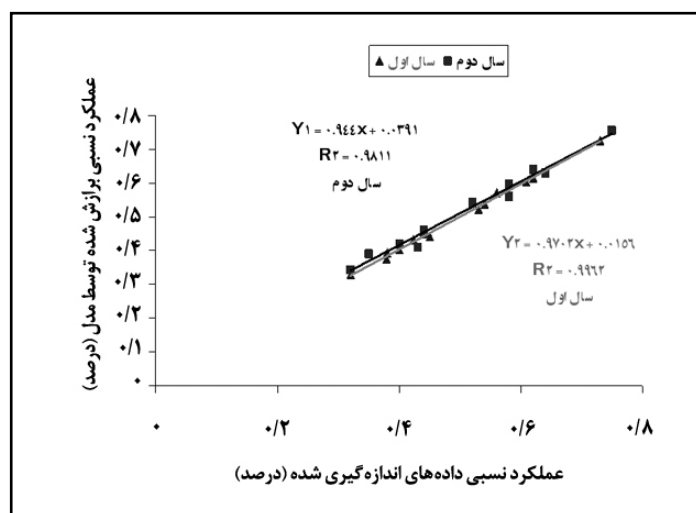
داده‌های سال دوم نیز مجدداً واسنجی شدند تا امکان وجود خطای احتمالی حاصل از واسنجی در سال اول به صفر برسد.

همان‌طور که از شکل ۶ مشخص است نتایج واسنجی به‌دست آمده از دو سال آزمایش بر روی عملکرد محصول نزدیک به هم می‌باشند. نتایج تحلیل آماری نیز برای هر دو سال نشان از کارکرد مطلوب مدل دارد (جدول ۳). در مورد شاخص سطح برگ نیز نتایج به‌دست آمده از تکرار واسنجی همبستگی و نزدیکی خوبی در هر دو سال آزمایش نشان داد (شکل ۷).

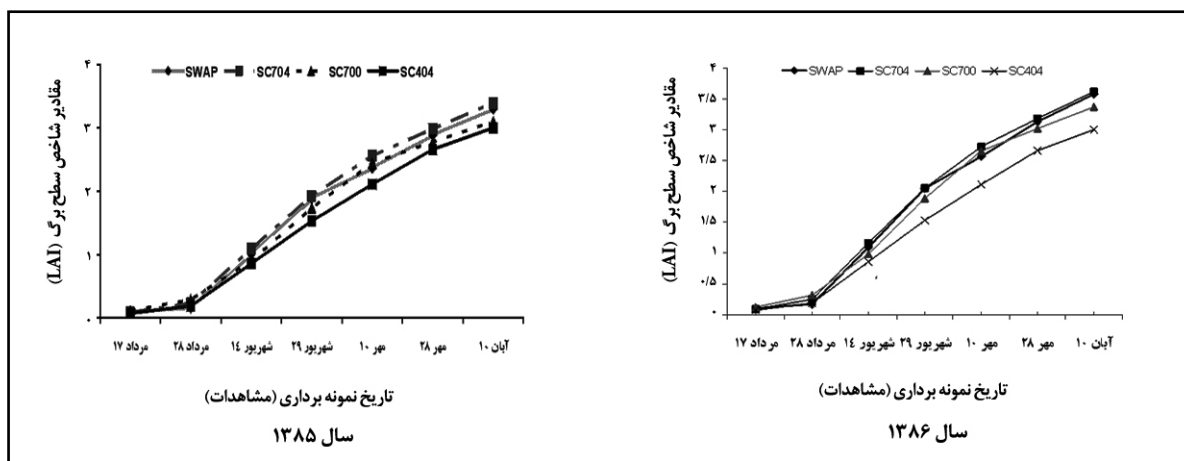
ضریب RMSE برای شاخص سطح برگ کمتر از انحراف معیار (SD) شده که این نشان‌دهنده کارکرد مطلوب مدل است. ضریب CRM، بزرگ و مثبت شده و تمایل مدل را در برآورد کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. این امر می‌تواند به‌علت در دسترس نبودن اطلاعات دقیق فیزیولوژیکی گیاه و استفاده از گزینه مدل ساده^۱ در داده‌های گیاهی مدل باشد.

صحت سنجی مدل

جهت اطمینان از واسنجی داده‌های سال اول،



شکل ۶- مقایسه عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده به برآزش داده شده توسط مدل در دو سال آزمایش



شکل ۷- مقایسه مقادیر به دست آمده شاخص سطح برگ از مدل و مشاهده شده برای رقم‌های ذرت در سال ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶

برداشت مقدار مشخص محصول می‌بایست آب اضافه‌ای داده شود تا آبخویی لازم صورت پذیرد. به طور نمونه برای دستیابی به عملکرد نسبی ۷۰ درصد می‌توان ۹۰۰ میلی‌متر آب آبیاری با شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر یا ۱۱۰۰ میلی‌متر آب با شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر را به کار برد. همچنین مشخص می‌گردد که رسیدن به عملکردهای نسبی زیاد (۷۵ و ۸۰ درصد) در صورتی که شوری آب از حد ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر بیشتر گردد، امکان‌پذیر نمی‌باشد.

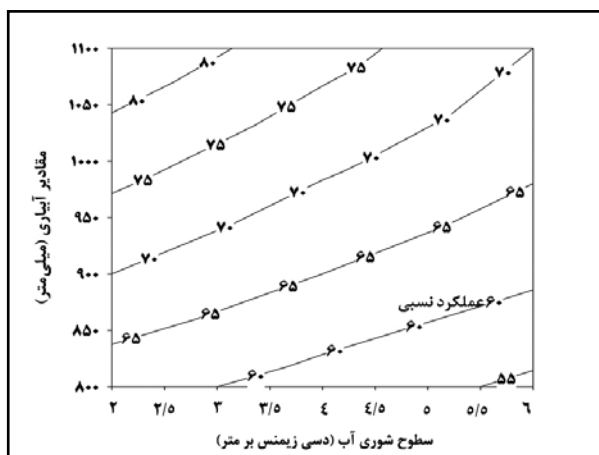
بنابراین با توجه به محدودیت شوری آب، برآورد مقدار آب آبیاری لازم و عملکرد نسبی محصول ذرت در این منطقه امکان‌پذیر است.

نتایج حاصل از سناریوهای مختلف

مقادیر مختلف شوری آب

پس از واسنجی، با توجه به اضافه برداشت‌هایی که از سفره های آب زیر زمینی بخصوص در استان کرمان انجام می‌گردد، به مرور زمان، لایه‌های آب شور جایگزین آب‌های شیرین شده و کیفیت منابع آب، رو به کاهش بوده و بنابراین استفاده از آب با کیفیت نامتعارف اجتناب‌ناپذیر شده است. در این مطالعه برای بررسی مدیریت بهینه آب آبیاری شور با توجه به توانایی مدل SWAP، مقدار عملکرد نسبی محصول در برابر مقادیر آب با شوری‌های مختلف نیز به دست آمد (شکل ۸)

همان‌طور که انتظار می‌رود با افزایش شوری برای



شکل ۸- ترکیب اثر کیفیت و کمیت آب آبیاری بر روی عملکرد نسبی

مقادیر مختلف آب آبیاری

گردیده و در قسمت آبیاری ثابت مدل وارد شدند. آنچنان که از جدول ۵ مشخص است بیشترین عملکرد نسبی در تیمار ۱۱۰۰ میلی‌متر آب آبیاری، برابر ۷۷ درصد به‌دست آمد که به‌دلیل بیشینه بودن نسبت (تعرق واقعی به تعرق پتانسیل) می‌باشد.

قابل ملاحظه است که آبیاری با عمق بیشتر از ۱۱۰۰ میلی‌متر همراه با کاهش عملکرد نسبی است که یکی از دلایل آن افزایش روان آب سطحی می‌باشد.

مدل برای به‌دست آوردن بهترین تیمار مقدار آب آبیاری با شوری آب موجود منطقه (۴ دسی‌زیمنس بر متر)، برای دو رقم ذرت SC704 و SC700، اجرا گردید (جدول ۵). به‌دلیل این که مقدار بارندگی در طول فصل زراعی در منطقه بسیار اندک و پراکنده بود، از منظور کردن مقدار آن در مدل صرف‌نظر گردید و از گزینه آبیاری ثابت در مدل استفاده شد و مقادیر آبیاری ۶۰۰، ۷۰۰، ... و ۱۶۰۰ میلی‌متر به نسبت دوره آبیاری ۹ روزه تقسیم

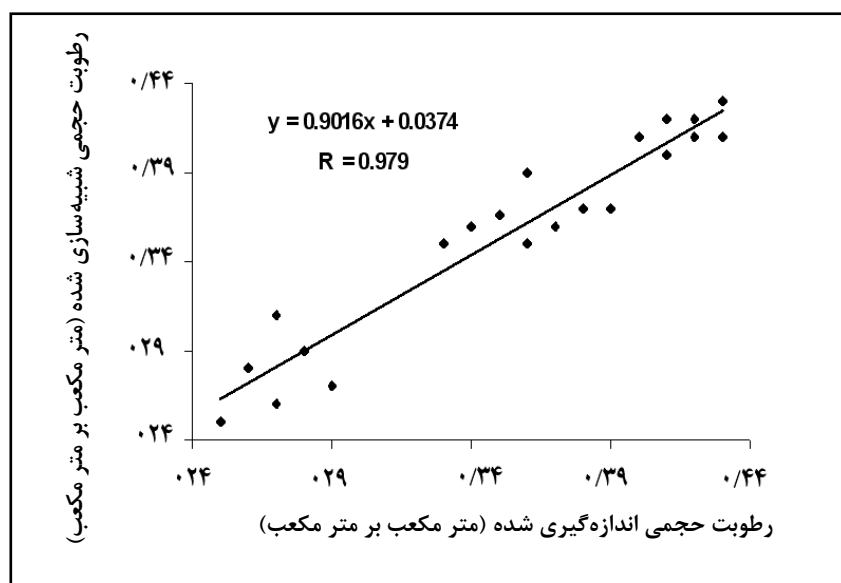
جدول ۵ - عملکرد نسبی به‌دست آمده از مدل به ازای مقادیر مختلف آب کاربردی

شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	عملکرد نسبی (درصد)	تبخیر پتانسیل (میلی‌متر)	تبخیر واقعی (میلی‌متر)	تعرق پتانسیل (میلی‌متر)	تعرق واقعی (میلی‌متر)	روان آب (میلی‌متر)	آبیاری (میلی‌متر)
۴	۴۶	۲۲۱/۵	۸۶	۱۳۵۸/۳	۵۹۳	۰	۶۰۰
۴	۵۲	۲۲۱/۵	۱۲۸	۱۳۵۸/۳	۶۷۸	۰	۷۰۰
۴	۵۸	۲۲۱/۵	۱۵۳	۱۳۵۸/۳	۷۱۰	۰	۸۰۰
۴	۶۵	۲۲۱/۵	۱۶۲	۱۳۵۸/۳	۷۹۹	۰	۹۰۰
۴	۷۱	۲۲۱/۵	۱۶۸	۱۳۵۸/۳	۸۲۰	۲۳	۱۰۰۰
۴	۷۷	۲۲۱/۵	۱۷۴	۱۳۵۸/۳	۸۷۵	۵۶	۱۱۰۰
۴	۷۳	۲۲۱/۵	۱۷۹	۱۳۵۸/۳	۸۳۰	۱۸۰	۱۲۰۰
۴	۶۹	۲۲۱/۵	۱۸۵	۱۳۵۸/۳	۸۰۵	۳۷۲	۱۳۰۰
۴	۶۵	۲۲۱/۵	۱۸۸	۱۳۵۸/۳	۷۸۰	۴۷۰	۱۴۰۰
۴	۶۱	۲۲۱/۵	۱۹۳	۱۳۵۸/۳	۷۵۵	۶۸۵	۱۵۰۰
۴	۵۷	۲۲۱/۵	۱۹۷	۱۳۵۸/۳	۷۳۰	۷۶۰	۱۶۰۰

ضریب همبستگی بین مقدار رطوبت حجمی خاک اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در عمق ۹۰ سانتی‌متری خاک ۰/۹۲ بوده که همبستگی نسبتاً خوبی را نشان می‌دهد (شکل ۹).

رطوبت حجمی خاک

با استفاده از نرم‌افزار SPSS از داده‌ها رگرسیون گرفته شد و مشخص گردید که بین X و Y از نظر آماری در سطح احتمال ۱ درصد رابطه معنی‌داری وجود دارد.



شکل ۹- مقایسه رطوبت‌های اندازه‌گیری و شیبه‌سازی شدهٔ حجمی خاک در عمق ۹۰ سانتی‌متری خاک

نتایج و بحث

حصول بیشترین عملکرد نسبی ۱۱۰۰ میلی‌متر (۱۱۰۰۰ متر مکعب در هکتار) به‌دست آمد. همچنین بررسی شوری‌های مختلف نیز میزان کاهش محصول را به ازای افزایش ۲ دسی‌زیمنس بر متر شوری، ۷ درصد نشان داد. پیشنهاد می‌گردد برای اتخاذ تصمیم قطعی‌تر در خصوص میزان عملکرد و سایر پارامترهای مرتبط با شوری آب تحقیقات کاربردی گسترده‌تری توسط مدل صورت گیرد. به‌طور مثال، لازم است داده‌های ورودی مؤثر در شرایط واقعی (با حضور گیاه) اندازه‌گیری شود. با اندازه‌گیری پارامترهای لازم در قسمت داده‌های گیاهی از گزینهٔ مدل تفضیلی^۱ که داده‌های مختلفی را شامل می‌گردد، استفاده شود. همچنین توانایی مدل با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای در سطح مزارع کشاورزان بررسی گردد.

با توجه به تغییرات عوامل متعدد در شرایط مزرعه‌ای، به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که نتایج واسنجی مدل SWAP در شبیه‌سازی انتقال آب-املاح و عملکرد نسبی با در نظر گرفتن تحلیل‌های آماری ارائه شده مطلوب است. به‌رحال اختلافاتی بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی با مدل برای رقم‌های ذرت کشت شده وجود داشت. این اختلاف‌ها در هر دو پارامتر میزان عملکرد و شاخص سطح برگ مشاهده گردید که به‌طور مثال برای عملکرد، مقدار آن در رقم SC704 با داده مدل (شکل ۲) به طور متوسط تنها ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار اختلاف داشت. به‌رحال در شرایط آب و هوایی سال‌های ۸۵ و ۸۶ در منطقهٔ مورد تحقیق، رقم ذرت SC704 نسبت به سایر ارقام مناسب‌تر تشخیص داده شد. با توجه به شوری آب آبیاری (EC=4) دسی‌زیمنس بر متر) میزان آب آبیاری مورد نیاز برای

مراجع

- Broadcasting Agriculture Organization of Kerman Province. 1385. Agriculture Organization of Kerman Province, The Management Plan. The Department of Statistics and Information Technology.
- Dek. H. H. 1986. Effect of water use efficiency of irrigated corn. *Agron. J.* 78, 1035-1040.
- Dimitar, M., Erik, Q. and Jan, R. 2005. Simulation of water flow and nitrogen transport for a Bulgarian experimental plot using SWAP and ANIMO models. *J. Contam. Hydrol.* 77, 145-164.
- Doorenbas, J. and Kassam. A. H. 1979. Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage*. Paper No.33, pp. 180.
- Doorenbas, J. and Pruitt, W. O. 1975. Guidelines for predicting crop water requirements. *FAO Irrigation and drainage*. Paper No. 24.
- Droogers, P., Torabi, M., Akbari, M. and Pazira, E. 2001. Field-Scale modeling to explore salinity problems in irrigated agriculture. *Irrigat. Drain.* 50, 77-90.
- Farkas, Cs., Ristolainen, A. and Alakukku, L. 2003. Simulation modeling of soil water regime of a heavy clay soil in Southern Finland. Available on the: [Http://ica.ipan.lublin.pl/abstracts/Farkas.pdf](http://ica.ipan.lublin.pl/abstracts/Farkas.pdf).
- Ghahraman, N., Khalili, A., Liaghat, A. and Esmailnia, S. 2004. Investigation of SWAPCROP Model to evaluate wheat and barely yields in Karaj. The 2nd National Student Conference on Water and Soil Resources. 23-24 Ordibehesht. Faculty of Agriculture. Shiraz. (in Farsi)
- Loauge, K. and Green, R. E. 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. *J. Cont. Hydrol.* 7, 51-73.
- Majidian, M. and Ghadiri, H. 2002. The water stress and Nitrogen effects on seed yield, yield components and efficiency of water use in corn, during different stages of growth. Abstracts of the Iranian 7th Congress on Agronomy and Plant Breeding. Karaj Agronomy and Plant Breeding Department. (in Farsi)
- Qureshi, S. A , Bastiaanssen, W. G. M., Boers, M. and Dam, J. C. 2000. Devaluating drainage parameters for the fourth drainage project, Pakistan by using SWAP Model: Part 1–Calibration. *Irrigat. Drain. Syst.* 4(14): 257-280
- Qureshi, S. A., Madramootoo, C. A. and Dodds, G. T. 2002. Evaluation of irrigation schemes for sugarcane in sindh, Pakistan, using SWAP93. *Agr. Water Manage.* 1(54):37-48.
- Ruiz, M. E. and Utset, A. 2003. Models for predicting water use and crop yields. A Cuba experience. Available on the: www.ictp.it/~pub_off/lectures/lms018/28Ruiz.pdf, 323-328.
- Schussler, J. R. and Westat. M. E. 1991. Maize kernel set at low water potential, Sensitivity to assimilate during early kernel growth. *Crop Sci.* 31, 1189-1195
- Singh, R., Van Dam, J. C. and Jhorar, R. K. 2002. Water productivity of irrigated crops in sirsa district India project. Available on the: [http://library.wur.nl/way/catalogue/documents/WATPRO final_report.pdf](http://library.wur.nl/way/catalogue/documents/WATPRO_final_report.pdf).
- Tavakoli, H. 1997. The effect of different irrigation treatments on corn growth and germination. M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture. Isfahan University of Technology. pp.72.(in Farsi)

بهبود مدیریت آبیاری هیبریدهای ذرت دانه‌ای ...

Tedeschi, A. and Menenti, M. 2002. Simulation studies of long-term saline water use: Model validation and evaluation of schedules. *Agr. Water Manage.* 54, 123-157.

van Genuchten, M., Leij, T. and Yates, S. R. 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. Report No. EPA/600/2-91/065. Ada. Okla.u.s. Environmental protection Agency. Kerr, R.S. Environmental Research laboratory.

Vazifedoust, M., van Dam, J. C., Fedes, R. A. and Feizi, M. 2008. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. *Agr. Water Manage.* 95, 89-102.

Improving Irrigation Management for Hybrid Maize Seeds in Kerman Province Using a SWAP Model

N. Koochi Chellekaran*, A. Eslami and R. Asadi

* Corresponding Author: Academic Staff, Irrigation and Drainage Dep., Agricultural and Natural Resources Research Center of Kerman. P.O. Box. 76175-538, Kerman, Iran. E-mail: nakeh71@yahoo.com

Received: 22 December 2009, Accepted: 22 January 2011

This research was carried out on corn in the Orzuiyeh region of Kerman province over two consecutive seasons (2005-6 to 2007-8). The experiment was done as a split plot with a completely randomized block design and four replications. Four levels of consumed water (60%, 80%, 100% water requirement, water use based on regional custom) and three varieties (404SC, 700SC, 704SC) were the main factors and the sub-plots, respectively. The measured parameters included irrigation water volume, grain yield, and leaf area index. The results of the SWAP model indicated that a relatively good correlation existed between observation and calculated data, with irrigation treatment values being close to potential evapotranspiration. There were also significant differences between observation and calculated data for the varieties. These differences were observed in values obtained for grain yield and leaf area index. In conclusion, the corn variety 704SC was more suitable than the other varieties for Orzuiyeh region. Considering the salinity of the water available for irrigation ($EC = 4 \text{ dS/m}^2$) in the region, 1100 mm per m^2 of water was required to produce the highest relative grain yield. The results also showed a 7% decline in crop production for every increase of 2 dS/m^2 in salinity.

Keywords: Leaf area index, Maize, SWAP model, Water consumption