



ارزیابی مدل‌های SALTMED و AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد ذرت شیرین در شرایط کم‌آبیاری و کاربرد سوپر جاذب

نیازعلی ابراهیمی پاک^{۱*}، اصلان اگدرنژاد^۲، صفورا اسدی کپورچال^۳، داود خدادادی دهکردی^۲

۱. دانشیار، بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۲. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۳. استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۲/۲۴

چکیده

هدف از پژوهش حاضر ارزیابی مدل‌های SALTMED و AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد ذرت تحت دو تیمار کم‌آبیاری و کاربرد سوپر جاذب بود. بدین منظور آزمایشی در قالب طرح کرت‌های خردشده در پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار و سه تکرار در دو کشت بهاره و تابستانه انجام شد. تیمارهای مورد استفاده در این آزمایش شامل مقدار آب آبیاری (در سه سطح ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) و سطوح مختلف سوپر جاذب A300 (در چهار سطح صفر، ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۸ گرم در هر کیلوگرم خاک) بود. نتایج آماره‌های EF، MBE، RMSE، NRMSE و d برای مدل SALTMED به ترتیب برابر با ۰/۱۲۶، ۰/۵۸۷، تن بر هکتار، ۰/۰۶۱، تن بر هکتار، ۰/۹۲ و ۰/۹۱ و برای مدل AquaCrop به ترتیب برابر با ۰/۱۵۵، ۰/۷۲۱، تن بر هکتار، ۰/۰۹۰-، تن بر هکتار، ۰/۸۸ و ۰/۹۱ به دست آمد. آماره R² نیز برای مدل‌های SALTMED و AquaCrop به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۹۱ به دست آمد. در نهایت نتایج این تحقیق نشان داد که گرچه مدل SALTMED از دقت بهتری نسبت به مدل AquaCrop برخوردار بوده، لیکن کارایی هر دو مدل در شبیه‌سازی عملکرد ذرت در تیمارهای مورد بررسی، قابل قبول بود.

واژه‌های کلیدی: تنش آبی، ضریب گیاهی، ماده جاذب رطوبت، مدل گیاهی

مقدمه

سبب کاهش عملکرد این محصول می‌شود. بدین منظور، محققان بسیاری پیشنهاد داده‌اند که برای کاهش اثرات منفی کم‌آبیاری برای محصولات گیاهی، مواد اصلاحی مانند سوپر جاذب مورد استفاده قرار گیرد (Rezaie et al., 2017). با این وجود، اثر سوپر جاذب در برخی موارد نتایج یکسان در خصوص اعمال کم‌آبیاری برخی محصولات مانند ذرت نمی‌دهد (Moazzen Ghamsari et al., 2010). به همین دلیل نیاز است تا در شرایط مختلف، کاربرد این مواد به همراه روش‌های مختلف کم‌آبیاری بر این محصول استراتژیک آزمایش شود. با توجه به هزینه‌بر بودن و زمان‌بر

با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک کشور ایران و بالا بودن مصرف آب در بخش کشاورزی اعمال تنش عمدی کم‌آبیاری یکی از مناسب‌ترین راهکارها برای افزایش بهره‌وری مصرف آب است (Ziaii et al., 2015). با این وجود، با توجه به اعمال این تنش‌ها، اختلاف بین عملکرد موجود و عملکرد بالقوه محصولات زراعی بین ۴۰ تا ۵۰ درصد تخمین زده شده است که عمدتاً در اثر تنش کم‌آبی رخ می‌دهند (Vanderauwera et al., 2007). به عنوان مثال گرچه ذرت، به عنوان یک غله چهار کربنه و گرم‌پسند سازگاری خوبی با مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد، لیکن کم‌آبیاری

حاضر به‌منظور ارزیابی این مدل‌ها تحت دو عامل بیان‌شده بر روی گیاه ذرت انجام شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در سال ۱۳۹۵ در یک مزرعه آزمایشی در شهرستان اهواز به مساحت ۱۰۷۲ مترمربع واقع در طول جغرافیایی $48^{\circ}32'05''$ شرقی و عرض جغرافیایی $31^{\circ}15'20''$ شمالی و ارتفاع ۱۱ متر از سطح دریا انجام شد. بر اساس داده‌های ایستگاه سینوپتیک اهواز، میانگین درازمدت دمای منطقه ۲۵/۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین درازمدت بارش ۲۰۹ میلی‌متر در سال است. محصول مورد مطالعه ذرت سینگل کراس ۷۰۴ تحت دو کشت بهاره و تابستانه بود. آماده‌سازی زمین با شخم توسط گاواهن برگردان‌دار و دو دیسک عمود بر هم برای خرد کردن کلوخه‌ها انجام شد. سپس کرت‌هایی به مساحت ۱۸ مترمربع (۴/۵ متر × ۴ متر) ایجاد گردید. آزمایش مورد استفاده در قالب طرح کرت‌های خردشده در پایه بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه اجرا شد. بر این اساس، ۱۲ تیمار شامل سه سطح مقدار آب آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) و چهار سطح سوپرچادب A300 (صفر، ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۸ گرم در هر کیلوگرم خاک) در نظر گرفته شد. عملیات کاشت با قرار دادن ۲ عدد بذر در هر کپه و در عمق کاشت ۶-۵ سانتی‌متر انجام گرفت. فاصله ردیف‌های کاشت از یکدیگر ۷۵ سانتی‌متر و فاصله گیاهان در هر ردیف ۱۷ سانتی‌متر بود. در مجموع، کاشت با تراکم حدود ۷۸۴۳۰ بوته در هر هکتار انجام شد. در مرحله ۴-۲ برگی، بوته‌ها به یک بوته در هر کپه تنک شدند. تا مرحله چهار یا پنج‌برگی (مرحله استقرار گیاهچه)، آبیاری‌ها بر اساس تأمین ۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه انجام شد. از این مرحله به بعد تیمارهای آبیاری برای هر تیمار اعمال گردیدند. مشخصات آب آبیاری و خاک مزرعه به ترتیب در جداول (۱) و (۲) نشان داده شده است.

برای تعیین میزان آب آبیاری پیش از اعمال تیمارها از رابطه ۱ و پس از اعمال تیمارها از رابطه ۲ استفاده شد.

$$I_n = (\theta_{fc} - \theta_{pwp}) \cdot MAD \cdot \rho_b \cdot D_r \quad [1]$$

$$SMD = (\theta_{fc} - \theta_i) \cdot \rho_b \cdot D_r \cdot f \quad [2]$$

بودن آزمایش‌های مزرعه‌ای، مدل‌های گیاهی مختلفی برای رفع این مشکلات بسط داده‌شده‌اند (Boogaard et al., 1998).

مدل AquaCrop یکی از مدل‌های گیاهی است که توسط سازمان خواروبار جهانی (فائو) توسعه یافته است و به دلیل سادگی، نیاز به داده‌های کمتر، کاربرپسند بودن و دقت قابل‌قبول نسبت به سایر مدل‌های گیاهی برتری دارد (Rahimi et al., 2012). رحیمی خوب و همکاران (Khoob et al., 2014) در ارزیابی و واسنجی مدل AquaCrop به‌منظور شبیه‌سازی عملکرد ذرت تحت سناریوهای مختلف کم‌آبیاری در منطقه قزوین نشان دادند که این مدل از دقت مطلوبی برخوردار بود. مدل SALTMED از دیگر مدل‌های گیاهی است که دقت آن در شبیه‌سازی بسیاری از محصولات زراعی مورد تأیید محققان قرار گرفته است (Ragab et al., 2005). این مدل توانایی شبیه‌سازی کلیه سیستم‌های آبیاری را دارد. همچنین قادر به شبیه‌سازی فرایندهای تبخیر-تعرق، انتقال آب و املاح، جذب آب توسط گیاه و عملکرد محصول است (Hirich et al., 2014). حسنی و همکاران (Hassanli et al., 2015) در پژوهشی به ارزیابی میدانی و عملکرد مدل SALTMED در مدیریت آبیاری تناوبی آب‌شور و غیر شور پرداختند و از نه تیمار مختلف از نظر کاربرد آب‌شور و شیرین استفاده کردند و نشان دادند که پیش‌بینی مدل در تخمین عملکرد محصول رضایت‌بخش بود. حسنی و همکاران (Hassanli et al., 2015) در ادامه تحقیق قبل، دو مدل AquaCrop و SALTMED را برای تیمارهای فوق مورد استفاده قرار دادند. نتایج مطالعه نشان داد که گرچه هر دو مدل توانایی خوبی در شبیه‌سازی عملکرد محصول دارند لیکن خطای شبیه‌سازی SALTMED از AquaCrop کمتر بود. تحقیقات دیگری توسط نصراللهی و همکاران (Nasrollahi et al., 2016) و خالوندی و همکاران (Khalvandi et al., 2017) با استفاده از مدل SALTMED انجام شده است که در هر دو تحقیق فوق، دقت این مدل در شبیه‌سازی عملکرد ذرت گزارش شده است.

مرور مطالعات گذشته نشان داد که تاکنون مطالعات اندکی با استفاده از مدل AquaCrop و SALTMED برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت تحت تیمارهای کم‌آبیاری و کاربرد سوپرچادب انجام شده است. بر این اساس، مطالعه

دبی‌سنج استفاده شد. بدین ترتیب مقدار آب موردنیاز بر اساس مساحت کرت به حجم تبدیل شده و به‌صورت آبیاری سطحی در اختیار تیمار موردنظر قرار می‌گرفت. در انتهای فصل رشد، برای حذف اثر حاشیه‌ای، از بوته‌های موجود در دو مترمربع در وسط هر کرت برداشت محصول انجام و سپس عملکرد دانه و زیست‌توده برای هر تیمار اندازه‌گیری شد.

که در آن‌ها، I_n عمق خالص آب آبیاری (cm)، θ_{fc} و θ_{pwp} به ترتیب درصد وزنی رطوبت در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم، MAD حداکثر تخلیه مجاز رطوبت خاک (ضریب سهل‌الوصول) و برابر با $0.55/\rho_b$ ، ρ_b جرم ویژه ظاهری (gr/cm^3) و D_r عمق توسعه ریشه گیاه (cm)، SMD کمبود رطوبت خاک (cm)، θ_i : درصد وزنی رطوبت موجود خاک و f : ضرایب هر تیمار به‌صورت اعشار (۱، 0.75 و 0.5) هستند. به‌منظور تعیین مقدار آب آبیاری، از لوله پلی‌اتیلن و

جدول ۱. برخی ویژگی‌های شیمیایی آب کاربردی

Table 1. Some chemical characteristics of water used.

آنیون‌ها ($mg.l^{-1}$)				کاتیون‌ها ($mg.l^{-1}$)				هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$) EC ($dS.m^{-1}$)	
Anions ($mg.l^{-1}$)				Cations ($mg.l^{-1}$)					
سولفات SO_4^{2-}	کلر Cl^-	بی‌کربنات HCO_3^-	کربنات CO_3^{2-}	پتاسیم K^+	سدیم Na^+	منیزیم Mg^{2+}	کلسیم Ca^{2+}	واکنش pH	
777.60	606.35	244.00	0.00	4.68	280.00	108.00	200.00	7.30	2.90

جدول ۲. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 2. Some physical and chemical characteristics of the soil.

عمق Depth (cm)	پتاسیم قابل جذب Absorbable potassium (ppm)	فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus (ppm)	کربن آلی O.C (%)	واکنش خاک pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	بافت خاک Soil texture	فراوانی نسبی و اندازه ذرات خاک Relative frequency of particle size (%)		
							شن Sand	سیلت Silt	رس Clay
0-30	166.00	10.40	0.42	8.10	3.00	لوم‌شنی (Sandy loam)	88.00	4.00	8.00
30-60	151.00	14.10	0.35	8.00	2.80	لوم‌شنی (Sandy loam)	90.00	2.00	8.00

مدل SALMED

این مدل برای شبیه‌سازی تبخیر-تعرق از معادله فائو-پنمن-مانتیث استفاده می‌کند (رابطه ۳):

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad [3]$$

که در این معادله، ET_o تبخیر-تعرق مرجع (mm/day)، R_n تابش خالص ($MJ/m^2/day$)، G شدت گرمای خاک ($MJ/m^2/day$)، T میانگین دمای روزانه در ارتفاع ۲ متری ($^{\circ}C$)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع ($kPa/^{\circ}C$)، γ ثابت سایکرومتری، $e_s - e_a$ کمبود فشار بخار اشباع (kPa) و U_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری است. عملکرد گیاه مورد شبیه‌سازی نیز توسط رابطه ۴ تعیین می‌شود:

$$RY = \frac{\sum S(x, z, t)}{\sum S_{max}(x, z, t)} \quad [4]$$

صورت و مخرج رابطه ۴ به ترتیب نشان‌دهنده‌ی میزان واقعی جذب آب توسط ریشه (رابطه ۵) و میزان آب موردنیاز برای تعرق (رابطه ۶) است.

$$S(z, t) = \left[\frac{S_{max}(t)}{1 + \left(\frac{a(t)h + \pi}{\pi_{50}(t)} \right)} \right] \lambda(z, t) \quad [5]$$

$$S_{max}(t) = ET_o \times K_{cb}(t) \quad [6]$$

$$B = WP^* \left[\frac{Tr_i}{ET_{0,i}} \right] \quad [9]$$

که در آن، Tr مقدار کل تعرق روزانه در طول فصل زراعی (رابطه ۱۰)، WP بهره‌وری آب و ET_0 تبخیر-تعرق گیاه مرجع است.

$$Tr = K_s \times CC \times K_c \times ET_0 \quad [10]$$

که در آن، K_s و K_c به ترتیب ضرایب تنش آبی و گیاهی و CC پوشش تاج در مرحله توسعه گیاه (رابطه ۱۱) هستند.

$$CC = CC_0 \times e^{CGC \cdot t} \quad [11]$$

که در این رابطه، CC_0 پوشش تاج اولیه (%، CGC ضریب رشد پوشش تاج (day^{-1}) و t زمان (day) است.

داده‌های ورودی این مدل شامل چهار گروه داده‌های اقلیمی، گیاهی، خاک و مدیریت مزرعه است. داده‌های اقلیمی شامل بیشینه و کمینه دمای روزانه، بارندگی، تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_0) و میانگین غلظت CO_2 سالیانه است. جهت تعیین تبخیر-تعرق از معادله فائو-پنمن-مانتیت و توسط نرم‌افزار ET-calculator استفاده شد و خروجی آن به مدل معرفی گردید. غلظت CO_2 نیز بر اساس مقدار پیش‌فرض که در رصدخانه مائونالوای هاوایی اندازه‌گیری شده است، به مدل تعیین شد. داده‌های خاک شامل هدایت هیدرولیکی اشباع، بافت خاک و رطوبت حجمی خاک در نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم است. این پارامترها بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده از آزمایش خاک به مدل معرفی گردید. برای در نظر گرفتن اثر سوپرچادب توسط مدل AquaCrop، تغییرات رطوبت در دو نقطه ظرفیت زراعی و پژمردگی و هدایت هیدرولیکی اشباع در هر تیمار اندازه‌گیری و به نرم‌افزار معرفی شد. داده‌های مدیریت مزرعه نیز شامل الف) مدیریت مزرعه و حاصلخیزی و ب) آبیاری است. مدیریت مزرعه بدون محدودیت به مدل تعریف شد. آبیاری نیز بر اساس تیمارهای موردنظر به مدل معرفی گردید (Raes et al., 2012).

ارزیابی مدل‌ها

به‌منظور ارزیابی مدل‌های AquaCrop و SALTMED، ابتدا این دو مدل با استفاده از داده‌های سال اول کشت مورد واسنجی قرار گرفتند. نحوه واسنجی به این صورت بود که

که در آن‌ها، $S_{max}(t)$ بیشینه جذب آب توسط ریشه در زمان t ، $\lambda(z, t)$ پارامتر وابسته به زمان و عمق از جرم کل ریشه، h پتانسیل ماتریک، π فشار اسمزی، π_{50} مقدار مستقل از زمان فشار اسمزی که جذب آب به ۵۰ درصد کاهش می‌یابد، $a(t)$ ضریب وزنی که برای واکنش متفاوت گیاهان در شرایط اسمزی و ماتریک به دست می‌آید و K_{cb} ضریب تعرق گیاهی است. عملکرد واقعی نیز توسط رابطه ۷ تعیین می‌شود.

$$AY = RY \times Y_{max} \quad [Y]$$

که Y_{max} حداکثر محصول تولیدشده در شرایط بدون تنش است. داده‌های کلی شامل پارامترهای هواشناسی، خاک مزرعه، نوع محصول و آب آبیاری به مدل معرفی گردیدند. بدین منظور داده‌های هواشناسی شامل مقادیر روزانه بیشینه و کمینه دما، رطوبت نسبی، تابش خالص، سرعت باد و بارندگی روزانه به مدل معرفی می‌شود. این داده‌ها به‌منظور تعیین تبخیر-تعرق مورد استفاده قرار گرفتند. ویژگی‌های خاک مزرعه نیز شامل عمق هر لایه خاک، هدایت هیدرولیکی اشباع، میزان رطوبت اشباع خاک، رطوبت اولیه خاک، رطوبت در نقاط مختلف، منحنی مشخصه رطوبتی ازجمله ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم نیز به مدل معرفی شدند. سپس ویژگی‌های محصول موردنظر شامل ضریب گیاهی (K_c) و ضریب تعرق گیاهی (K_{cb})، عمق ریشه، پوشش گیاهی و ارتفاع گیاه نیز برای مدل تعریف شدند. در نهایت نیز داده‌های موردنظر برای آبیاری شامل نوع سیستم آبیاری و میزان آب آبیاری در هر مرحله بود (Hirich et al., 2014). همچنین، با توجه به کاربرد سوپرچادب و اثر آن بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند نگهداشت رطوبت و تغییرات هدایت هیدرولیکی خاک، این تغییرات از پیش تعیین‌شده و برای هر تیمار به مدل معرفی گردیدند.

مدل AquaCrop

این مدل برای تعیین عملکرد محصول بر اساس تبخیر-تعرق از رابطه ۸ استفاده می‌کند.

$$Y = B \times HI \quad [8]$$

که در آن، B عملکرد بیوماس خشک (رابطه ۹)، HI شاخص برداشت و Y مقدار عملکرد وزن دانه است.

SALTMED برای شبیه‌سازی عملکرد تیمارهای IIS1، IIS2 و IIS3 به ترتیب ۹، ۱۵ و ۱۲ درصد با مقادیر واقعی اختلاف داشت. خطای مدل AquaCrop برای این تیمارها به ترتیب برابر با ۳/۲، ۱۴/۹ و ۱۲ درصد بود. همان‌طور که در شکل ۲ نیز مشاهده می‌شود، مقادیر شبیه‌سازی‌شده توسط مدل SALTMED و مقادیر واقعی برای عملکرد ذرت در تیمار IIS2 بیشترین فاصله را از هم دارند.

همچنین با افزایش مقدار سوپرچادب (در تیمار کم‌آبیاری I1)، مقدار عملکرد در شرایط واقعی افزایش یافته به‌طوری‌که در شکل (۱) نیز مشاهده می‌شود که مقادیر متناظر این تیمارها از محور افقی فاصله بیشتری گرفته است. همین شرایط برای مقادیر شبیه‌سازی‌شده توسط این مدل نیز مشاهده می‌شود و تنها در تیمار IIS3 مقدار عملکرد نسبت به تیمار ماقبل خود به مرکز دایره نزدیک‌تر است. این روند نشان‌دهنده کم‌برآوردی مدل SALTMED برای این تیمار است. مقادیر عملکرد ذرت با افزایش مقدار کم‌آبیاری (از I1 به I3)، به مرکز دایره تمایل بیشتری نشان دادند که این نتایج بیانگر کاهش عملکرد با افزایش مقدار کم‌آبیاری بود. کاربرد سوپرچادب در مقادیر بالاتر سبب تسکین اثرات تنش آبی بر عملکرد ذرت شد. نتایج شبیه‌سازی نیز مشابه این روند را نشان دادند با این تفاوت که در اکثر تیمارها مقدار عملکرد بیشتر از مقدار واقعی به دست آمد. نتایج حاصل از مدل AquaCrop نیز تقریباً همین روند را نشان داد. تنها در سه تیمار این روند مشاهده نشد به‌طوری‌که اختلاف مقادیر به‌دست‌آمده برای این تیمارها نیز تفاوت اندکی نسبت به سطح کاربرد کمتر سوپرچادب داشتند. کمترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده با مدل SALTMED و عملکرد واقعی در تیمارهای I3S2 و I2S2 به ترتیب با ۳/۵ و ۳/۹ درصد و

با تغییر ورودی‌های هر دو مدل مورد استفاده، نتایج به‌دست‌آمده توسط آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات نرمال شده (NRMSE)، میانگین خطای اریب (MBE)، کارایی مدل (EF)، شاخص توافق (d) و ضریب تعیین (R^2) مورد ارزیابی قرار گرفتند (Ahmdee et al., 2016). زمانی که نتایج هر دو مدل مناسب بود، مقادیر پارامترهای ورودی تعیین و برای صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفتند. سپس با استفاده از داده‌های سال دوم کشت صحت‌سنجی انجام شد. نتایج به‌دست‌آمده، با استفاده از آماره‌های معرفی‌شده ارزیابی شدند.

نتایج و بحث

نتایج واسنجی برای پارامترهای ضریب گیاهی، ضریب تعرق گیاهی، مقدار آب باقیمانده، فشار هیگروسکوپیک، پارامتر لاند و طول ریشه در مدل SALTMED در جدول (۳) نشان داده شده است. بر اساس مقادیر تعیین‌شده برای پارامترهای موردنظر در این مرحله، صحت‌سنجی مدل انجام شد. همین روند برای پارامترهای پوشش گیاهی هر نهال هنگام جوانه‌زنی، بیشینه رشد کانوپی، بهره‌وری آب نرمال شده، پوشش تاج اولیه، حد بالای ضریب تخلیه آب خاک برای توسعه گیاه، دمای پایه رشد، ضریب رشد و کاهش پوشش، ضریب گیاهی برای تعرق، ضریب شکل برای ضرایب تنش آبی جهت بسته شدن روزنه‌ها، توسعه پوشش تاجی گیاه و مرحله پیری و طول مرحله گلدهی در مدل AquaCrop انجام شد (جدول ۴).

نتایج صحت‌سنجی نشان داد که مدل SALTMED عملکرد تیمار IIS0 را ۸ درصد کمتر از مقدار واقعی تعیین کرد (شکل ۱). مدل AquaCrop در تخمین عملکرد این تیمار دچار ۱/۳ درصد خطای کم‌برآوردی شد. نتایج مدل

جدول ۳. پارامترهای واسنجی شده مدل SALTMED

Table 3. The deduced amounts of SALTMED model

پارامتر Parameter	Kc			Kcb			مقدار آب باقیمانده Residual water amount (%)	فشار هیگروسکوپیک Hygroscopic pressure (cm)	طول ریشه Root length (cm)	
	ابتدایی Primary	میانی Mid	انتهاپی Final	ابتدایی Primary	میانی Mid	انتهاپی Final				
مقدار اولیه Primary amount	0.7	1.2	0.4	0.15	1.15	0.32	0.035	8.69	0.47	170
مقدار نهایی Final amount	0.6	1.0	0.5	0.10	1.25	0.60	0.02	17.5	0.20	110

جدول ۴. پارامترهای واسنجی شده مدل AquaCrop

Table 4. The deduced amounts of AquaCrop model

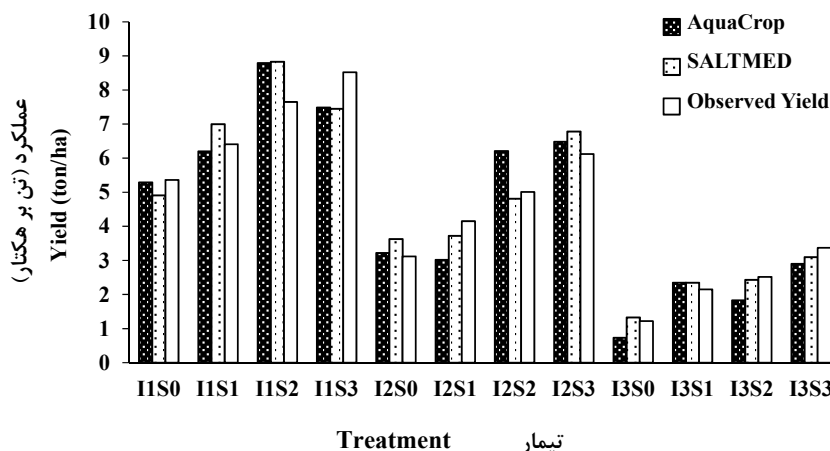
توضیح پارامتر	واحد	مقدار اولیه	مقدار نهایی
Parameter description	Unit	Primary amount	Final amount
پوشش گیاهی هر نهال هنگام جوانه‌زنی	cm ²	6.5	3.5
Each seedling canopy while germination			
بیشینه رشد کانوپی	%	96	84
Maximum canopy growth			
بهره‌وری آب نرمال شده	gr/m ²	33.7	20.5
Normalized water productivity			
پوشش تاج اولیه	%	46	37
Primary crown cover			
حد بالا ضریب تخلیه آب خاک برای توسعه گیاه	-	0.1	0.14
Upper limit of soil water discharge coefficient for plant extension			
دمای پایه رشد	°C	8	10
Growth base temperature			
ضریب رشد پوشش	%/day	8	10.9
Cover growth coefficient			
ضریب کاهش پوشش	%/day	9	12.3
Cover reduction coefficient			
ضریب گیاهی برای تعرق	-	1.1	0.95
Plant coefficient for transpiration			
ضریب شکل برای ضریب تنش آبی جهت بسته شدن روزنه‌ها	-	خطی	خطی
Form coefficient for water stress coefficient for stomata closure		Linear	Linear
ضریب شکل برای ضریب تنش آبی برای توسعه پوشش تاجی گیاه	-	3	1.2
Form coefficient for water stress coefficient for plant crown cover extension			
ضریب شکل برای ضریب تنش آبی برای مرحله پیری	-	2.7	2.3
Form coefficient for water stress coefficient for old stage			
طول مرحله گلدهی	Day	6.5	3.5
Flowering stage length			

بیشترین اختلاف بین این مقادیر در تیمارهای I2S0 و I2S2 به ترتیب با ۱۶ و ۱۵ درصد به دست آمد. نصراللهی و همکاران (Nasrollahi et al., 2016) حداکثر اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده عملکرد توسط این مدل و مقادیر واقعی را برابر ۴/۸ درصد گزارش کردند. میانگین خطای شبیه‌سازی در تحقیق حاضر برابر با ۹ درصد بود که با توجه به نتایج منتشرشده توسط سایر محققان قابل قبول است. هیرش و همکاران (Hirich et al., 2014)، حسنی و همکاران (Hassanli et al., 2015) و راگاب و همکاران (Ragab et al., 2005) نیز به ترتیب مقادیر ۱۰/۲، ۸/۷۳ و ۱/۷۹ درصد را گزارش کرده‌اند.

نتایج مدل‌سازی توسط مدل AquaCrop نشان داد که بیشترین و کمترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده به ترتیب متعلق به تیمارهای I2S2

(۲۳ درصد) و I1S0 (۱/۳ درصد) بود (شکل ۱). با مقایسه این نتایج و گزارش‌های سایر محققان از جمله حسنی و همکاران (Hassanli et al., 2015) می‌توان دقت این مدل را مطلوب ارزیابی کرد. شاخص‌های آماری برای شبیه‌سازی عملکرد دانه ذرت با استفاده از مدل‌های SALT MED و AquaCrop در جدول (۵) ارائه شده است. مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی شده با نتایج واقعی بر اساس آماره‌ی NRMSE نشان داد که مدل SALT MED از خطای قابل‌قبولی در تعیین عملکرد ذرت برخوردار است. مقدار این آماره برابر با ۰/۱۲۶ به دست آمد که نسبت به نتایج گزارش شده توسط نصراللهی و همکاران (Nasrollahi et al., 2016) و خالوندی و همکاران (Khalvandi et al., 2017) مقدار قابل‌قبولی داشت. آماره فوق برای مدل AquaCrop برابر با

۱/۷۹ درصد را گزارش کرده‌اند.



شکل ۱. عملکرد دانه ذرت در تیمارهای مختلف بر اساس نتایج اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با مدل‌های SALTMED و AquaCrop

Fig. 1. The corn grain yield in different treatments based on simulated and measured results by SALTMED and AquaCrop models

جدول ۵. مقادیر شاخص‌های آماری برای ارزیابی مدل‌های AquaCrop و SALTMED در شبیه‌سازی عملکرد دانه ذرت

Table 5. Statistics to assess SALTMED and AquaCrop models for simulating corn grain yield

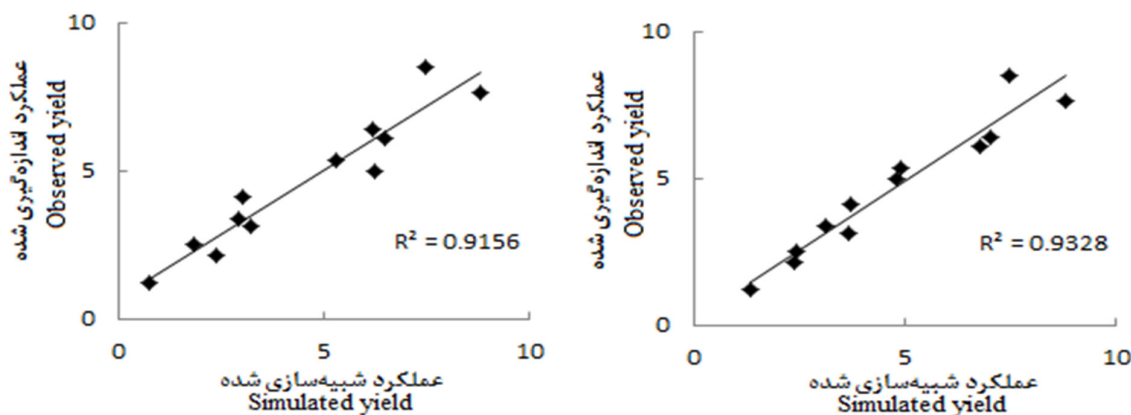
مدل Model	RMSE (Ton.ha ⁻¹)	MBE (Ton.ha ⁻¹)	EF	NRMSE	D	R ²
SALTMED	0.587	0.061	0.92	0.126	0.91	0.93
AquaCrop	0.721	-0.090	0.88	0.155	0.91	0.91

(Ziaii et al., 2015) حاکمی از بیش‌برآوردی مدل AquaCrop بود. درحالی‌که نتایج وطن‌خواه و ابراهیمیان (Vatankhah and Ebrahimian, 2016) بر کم‌برآوردی این مدل در شبیه‌سازی عملکرد ذرت دلالت داشت. نتایج حاصل از آماره‌های EF و d نیز نشان داد که کارایی مدل‌های AquaCrop و SALTMED در شبیه‌سازی عملکرد ذرت تحت دو تیمار مورد استفاده قابل‌قبول بود. ساختار حاکم بر مدل SALTMED مبتنی بر روابط خاک و آب است و پارامترهای متعددی برای شبیه‌سازی شرایط آب در خاک دارد. به همین دلیل دقت این مدل در شرایط استفاده از سوپرچاد و کم‌آبایی اندکی بهتر از مدل پویای AquaCrop بود. باین‌وجود کارایی هر دو مدل یکسان بود. آماره‌ی R² برای مدل SALTMED برابر با ۰/۹۳ به دست آمد (شکل ۵). خالوندی و همکاران (Khalvandi et al., 2017) نیز مقدار آماره R² را برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت توسط مدل SALTMED برابر با ۰/۸۲ گزارش کردند. سایر محققان از جمله هیرش و همکاران (Hirich et al., 2014) و حسنلی و همکاران (Hassanli et al., 2015) نیز به ترتیب مقادیر ۰/۸۷ و ۰/۸۴ را برای این آماره به دست

۰/۱۵۵ بود که نسبت به مدل SALTMED مقدار بالاتری را نشان داد که با نتایج مشاهدات حسنلی و همکاران (Hassanli et al., 2015) مطابقت داشت. مقادیر به‌دست‌آمده برای آماره‌ی RMSE نیز این نتایج را تأیید می‌کند. مقادیر مثبت آماره MBE برای مدل SALTMED نشان‌دهنده‌ی این است که این مدل در حالت کلی دچار خطای بیش‌برآوردی بوده است درحالی‌که نصراللهی و همکاران (Nasrollahi et al., 2016) برای این مدل خطای کم‌برآوردی در عملکرد گزارش کردند. اختلاف نتایج به‌دست‌آمده با این محققان احتمالاً به دلیل نوع تیمارهای مورد استفاده در هر تحقیق است. در تحقیق حاضر تنش کم‌آبایی و در تحقیق نصراللهی و همکاران (Nasrollahi et al., 2016) تنش شوری مورد مطالعه قرار گرفته بود. نتایج شبیه‌سازی مدل AquaCrop نشان داد که در برخی تیمارها بیش‌برآوردی و در برخی کم‌برآوردی مشاهده شد. باین‌وجود با توجه به مقدار آماره‌ی MBE (۰/۰۹۰-)، این مدل دچار خطای کم‌برآوردی شده است. نتایج تحقیقات هنگ و همکاران (Heng et al., 2009)، کاترجی و همکاران (Katerji et al., 2013) و ضیایی و همکاران

(2015) به ترتیب مقادیر ۰/۷۲ و ۰/۷۵ را برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت توسط این مدل گزارش کردند.

آوردند. مقدار این آماره برای مدل AquaCrop برابر با ۰/۹۱ تعیین شد. ماسانگانیس و همکاران (Masanganise et al., 2013) و حسنلی و همکاران (Hassanli et al., 2013)



شکل ۲. همبستگی مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده عملکرد ذرت (برحسب تن در هکتار) با مدل‌های SALTMED (راست) و AquaCrop (چپ)

Fig. 2. The correlation between measured and simulated amounts of corn grain yield (t/ha) by SALTMED (right) and AquaCrop (left) models

کم‌آبیاری است که عمدتاً سبب خطای زیاد این مدل به‌خصوص در شرایط تنش زیاد می‌گردد. با این وجود، در تحقیق حاضر به علت واسنجی این مدل به سوپر جاذب اضافه شده به خاک، تفاوت چندانی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و پیش‌بینی شده عملکرد ذرت مشاهده نشد. جمع‌بندی نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق نشان داد که هر دو مدل SALTMED و AquaCrop دقت مناسبی برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت در شرایط ذکر شده داشتند.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق نشان داد گرچه دقت مدل SALTMED از مدل AquaCrop اندکی بهتر بود؛ لیکن هر دو مدل دقت مطلوبی در تعیین عملکرد ذرت تحت استفاده از سوپر جاذب در شرایط کم‌آبیاری داشتند. با این وجود، مدل SALTMED دچار خطای بیش‌برآوردی و مدل AquaCrop دچار خطای کم‌برآوردی شد. علت این نتایج حساسیت مدل AquaCrop نسبت به شرایط

منابع

- Ahmadee, M., Khashei Siuki, A., Sayyari, M.H., 2016. Comparison of efficiency of different equations to estimate the water requirement in Saffron (*Crocus sativus* L.) (Case Study: Birjand Plain, Iran). *Agroecology*. 8(4), 505-520. [In Persian with English summary].
- Boogaard, H.L., Van Diepen, C.A., Rotter, R.P., Cabrera, J.M.C.A., Van Laar, H.H., 1998. WOFOST 7.1; user's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center 1.5 (No. 52). SC-DLO.
- Hassanli, M., Ebrahimian, H., Parsinejad, M., 2015. Field evaluation and SALTMED model performance for cyclic use of saline and fresh water. *Journal of water Research in Agriculture*. 28(2), 443-451. [In Persian with English summary].
- Hassanli, M., Afrasiab, P., Ebrahimian, H., 2015. Evaluation of AquaCrop and SALTMED Models to Estimate Crop Yield and Soil Salinity, *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 46(3), 487-498. [In Persian with English summary].

- Heng, L.k., Hsiao, T.C., Evett, S., Howell, T., Steduto, P., 2009. Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. *Agronomy Journal*. 101(3), 488-498.
- Hirich, A., Ragab, R., Choulr-Allah, R., Rami, A., 2014. The effect of deficit irrigation with treated wastewater on sweet corn: experimental and modeling study using SALTMED model. *Irrigation Science*. 32(3), 205-219.
- Katerji, N., Campi, P., Mastrorilli, M., 2013. Productivity, evapotranspiration, and water use efficiency of corn and tomato crops simulated by AquaCrop under contrasting water stress conditions in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management*. 130, 14-26.
- Khalvandi, N., Soltani Mahammadi, A., Boroomand Nasab, S., 2017. Simulation of soil moisture distribution and maize yield under irrigation with saline water by SALTMED Model, *Journal of Irrigation Science and Engineering*. 40(1), 231-246. [In Persian with English summary].
- Masanganise, J., Basira, K., Chipindu, B., Mashonjowa, E., Mhizha, T., 2013. Testing the utility of a crop growth simulation model in predicting maize yield in a changing climate in Zimbabwe. *International Journal of Agriculture and Food Science*. 3(4), 157-163.
- Moazzen Ghamsari, B., Akbari, Gh.A., Zohorian, M.J., Nikniaee, A.B., 2010. An evaluation of growth and yield of forage corn with application of different levels of super absorbent polymer (SUPERAB A200) and under drought stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 40(3), 1-8. [In Persian with English summary].
- Nasrollahi, A., Boroomand Nasab, S., Hooshmand, A., Heidarinia, M., 2016. Evaluation of the SALTMED model under different managements of drip irrigation with saline water, *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 45(4), 435-445. [In Persian with English summary].
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., Freres, E., 2012. Reference manual AquaCrop. FAO, land and water division, Rome Italy.
- Ragab, R., Malash, N., Abdel Gawad, G., Arslan, A., Ghaibeh, A., 2005. A holistic generic integrated approach for irrigation, crop and field management: 1. The SALTMED model and its calibration using field data from Egypt and Syria. *Agricultural Water Management*. 78(1-2), 67-88.
- Rahimi Khoob, H., Sotoodeh Nia, A., Masah Bavani, A., 2014. Calibration and validation of AquaCrop model for maize in Qazvin. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 1(8), 108-115. [In Persian with English summary].
- Rezaie, Z., Rafeie Al-hoseini, M., Mohammadkhani, A., 2017. The effect of different super absorbent polymer and animal manure ratios on some morphological characteristics and production of fennel essential oil under drought stress conditions, *Agricultural Crop Management (Journal of Agriculture)*. 19(3), 621-637. [In Persian with English summary].
- Vanderauwera, S., De Block, M., Van de Steene, N., van de Cotte, B., Metzclaff, M., Van Breusegem, F., 2007. Silencing of poly (ADP-ribose) polymerase in plants alters abiotic stress signal transduction. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 104(38), 15150-15155.
- Vatankhah, I., Ebrahimian, H., 2016. Assessment of AquaCrop model for simulating forage maize yield along the furrow. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 47(3), 495-504. [In Persian with English summary].
- Ziaii, Gh., Babazadeh, H., Abbasi, F., Kaveh, F., 2015. Evaluation of the AquaCrop and CERES-Maize models in assessment of soil water balance and maize yield, *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 45(4), 435-445 [In Persian with English summary].

Original article

Evaluation of SALTMED and AquaCrop models in simulating sweet maize yield under deficit irrigation and superabsorbent application

N.A. Ebrahimipak^{1*}, A. Egdernezhad², S. Asadi Kapourchal³, D. Khodadadi Dehkordi²

1. *Associated Professor, Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran*

2. *Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran*

3. *Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University Of Guilan, Rasht, Iran*

Received 4 March 2019; Accepted 14 May 2019

Abstract

The objective of this study was to evaluate SALTMED and AquaCrop models for simulation of sweet maize yield under both deficit irrigation and superabsorbent applications. The experiment was carried out in a split plot design based on a completely randomized block design with 12 treatments and three replicates for both spring and summer cultivations. The proposed treatments consisted of irrigation water quantity at three levels (100%, 75%, and 50% plant water requirement) and different levels of superabsorbent A300 at four levels (0, 0.3, 0.6 and 0.8 gr/kg of soil). Results of statistical indexes including NRMSE, RMSE, MBE, EF and D for SALTMED model were 0.126, 0.587, 0.061, 0.92 and 0.91, respectively and for AquaCrop model were 0.155, 0.721 ton/ha, -0.090, 0.88 and 0.91 respectively. Finally, the results showed although the accuracy of SALTMED model was more than AquaCrop model, but the efficiency of both models for simulation of sweet maize yield was acceptable.

Keywords: Crop Coefficient, Cropping Model, Water Absorbent Material, Water Stress.