Archive of SID



# شبیه‌سازی واکنش گیاه پنبه به تنش خشکی و شوری با استفاده از مدل AquaCrop

مجتبی خوش روش[۱]، علی قدمی فیروزآبادی[۲]، پویا شیرازی[۳] و محمد حسین نجفی مود[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۱۸

## چکیده

در حال حاضر کشاورزی تکیه‌گاه مهم امنیت غذایی و حیات اقتصادی در کشور می‌باشد. در این میان آب به‌عنوان مهمترین و محدودترین عامل تولید محصولات کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. مدل‌هایی که اثرات مقادیر مختلف آب و شوری آب آبیاری بر روی عملکرد محصول را به صورت کمی شبیه‌سازی می‌کنند، ابزارهایی مفید در مدیریت آب در سطح مزرعه و بهینه‌سازی کارایی مصرف آب می‌باشند. مدل AquaCrop یک ابزار قدرتمند و با ارزش برای بهبود مدیریت آب در مزرعه و محاسبه بهره‌وری آب می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از مدل AquaCrop به شبیه‌سازی درصد پوشش گیاهی، عملکرد، بیوماس و تبخیر و تعرق گیاه پنبه تحت تنش‌های مختلف خشکی و شوری آب آبیاری پرداخته شده است. تیمارها شامل سه سطح شوری آب آبیاری و سه سطح عمق آب آبیاری بودند. طرح آزمایشی به‌صورت کرت دو بار خرد شده در قالب فاکتوریل و با سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که مدل می‌تواند پارامترهای مختلف را با دقت بالایی (d>۰/۹۵) شبیه‌سازی کند. با کاهش مقدار آب آبیاری و افزایش شوری آب آبیاری، خطای شبیه‌سازی مدل افزایش یافت ولی نتایج شبیه‌سازی در محدوده قابل قبولی بود. برای سطوح پایین تنش خشکی و شوری آب آبیاری، خطای زیادی در شبیه‌سازی وجود نداشت. با توجه به نتایج این پژوهش، می‌توان از مدل AquaCrop به‌عنوان یک ابزار مناسب جهت بهبود مدیریت آب و شوری استفاده نمود.

**واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، بیوماس، پوشش گیاهی، عملکرد، مدل AquaCrop.**

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. ۰۹۱۱۳۵۲۱۶۵۴، khoshravesh_m24@yahoo.com
۲- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان. ۰۹۱۸۸۱۴۷۱۹۴، aghadami@gmail.com (مسئول مکاتبه)
۳- کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. ۰۹۱۳۱۰۰۹۶۶۷، p.shirazi.a@gmail.com
٤- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. ۰۹۱۳۱۰۰۹۶۶۷. mhnajafi2020@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID



## مقدمه

رشد روزافزون جمعیت جهان و در نتیجه نیاز بیشتر به تولیدات کشاورزی، از مسایل مهمی است که امروزه بشر با آن روبه‌روست. این مسئله هنگامی به یک چالش بزرگ جهانی تبدیل‌شده است که پیش‌بینی می‌شود، در سال ۲۰۵۰ تعداد ۶۵ کشور جهان با جمعیتی افزون بر ۷ میلیارد نفر، با کمبود آب مواجه خواهند بود (سپاسخواه و همکاران، ۲۰۰۶). از طرفی کمبود منابع آب مهمترین عامل در تولیدات کشاورزی محسوب می‌شود، لذا استفاده بهینه از منابع آب، در سرلوحه فعالیت‌های کشورهای مختلف قرار گرفته و باید برای مصرف منابع آب قابل دسترس به‌عنوان یک کالای با ارزش، اهمیت بیشتری قایل شد. در ایران نیز عامل اصلی محدودکننده توسعه کشاورزی و افزایش تولیدات غذایی، محدودیت منابع آب و استفاده نامطلوب و غیر اقتصادی از آن است که این امر در مناطق خشک، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (کشاورز و صادق‌زاده، ۱۹۹۹).

استفاده از آب‌های با کیفیت پایین در برنامه‌های آینده توسعه اراضی فاریاب با اعمال روش‌های مدیریتی صحیح، جهت کاهش این بحران و تداوم پایداری کشاورزی و رسیدن به عملکرد معقول، باید مورد توجه جدی‌تری قرار گیرد (شهیدی، ۲۰۰۸). در این راستا، می‌توان کاربرد آب‌های لب‌شور و شور در بخش کشاورزی را به‌عنوان یک منبع تامین آب در نظر گرفته و از قلمداد کردن آن به عنوان آب نامطلوب برای کشاورزی اجتناب کرد (کیانی و کوچک‌زاده، ۲۰۰۱).

پنبه یکی از با ارزش‌ترین محصولات کشاورزی و جزو مهم‌ترین گیاهان الیافی است که تامین‌کننده یکی از ضروری ترین نیازهای انسان یعنی مواد اولیه پوشاک می‌باشد. امروزه پنبه نه تنها از نظر صنعت نساجی، بلکه از نظر غذایی نیز بسیار حائز اهمیت است و در بازار جهانی جزو پنج دانه روغنی مهم می‌باشد. این گیاه به دلیل تاثیر مستقیم در صنعت و اقتصاد کلی کشور مانند کارخانه‌های نساجی، پنبه پاک‌کنی، روغن‌کشی، کارگاه‌های قالیبافی، بافندگی دستی و تامین پارچه و روغن نباتی مصرفی مردم، دارای اهمیت خاصی است (نجفی مود، ۲۰۰۷).

تهیه برنامه‌های آبیاری صرفا بر اساس آزمایش‌های مزرعه‌ای دشوار، زمان‌بر و همراه با هزینه بسیار است. در کنار آزمایش‌های مزرعه‌ای، به‌کارگیری مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاه بر اساس برنامه بهینه آبیاری می‌تواند موثر واقع شود (Droogers & Kite, 2001). در سال‌های گذشته مدل‌های زیادی برای مطالعه مدیریت آبیاری در سطح مزرعه به‌کار برده شده‌اند که می توان به مدل CROPWAT (Kuo et al, 2006) و مدل Budget (Raes, 2002) اشاره نمود. مدل AquaCrop توسط فائو جهت تجزیه و تحلیل سناریوهای مختلف برنامه‌ریزی و به‌عنوان یک ابزار پشتیبانی در تصمیم‌گیری توسعه یافته است ( Geerts et al, 2009). همچنین مدل SWAP که بر اساس معادلات جریان آب و املاح در خاک (معادله ریچاردز) عمل می‌کند، یکی دیگر از مدل‌های بسیار کاربردی است که برای مطالعه توازن آب و املاح در شرایط وجود پوشش گیاهی و همچنین برای مدیریت آبیاری استفاده می‌شود (Marinov et al, 2005). مدل AquaCrop به نسبت مدل‌های شبیه‌ساز دیگر، پارامترها و داده‌های ورودی کمتری برای شبیه‌سازی واکنش گیاه به آب احتیاج دارد و برای اغلب محصولات گیاهی و زراعی اصلی در سراسر جهان قابل استفاده است (Steduto et al, 2009).

مدل AquCarop بر اساس یک گام زمانی بلندمدت بر اساس نشریه بازنگری شده ۳۳ فائو عمل می‌کند. این مدل از طریق تفکیک سهم مولد یعنی تعرق از تبخیر و تعرق و میزان زیست توده تولیدی و به‌واسطه شاخص برداشت، مقادیر شاخص بهره‌وری آب (تعرق) و عملکرد محصول را در گام‌های زمانی روزانه برآورد می‌کند. در این مدل برای محاسبه تعرق و برای جداسازی تبخیر از سطح خاک نسبت به تعرق از سطح گیاه، به جای استفاده از شاخص سطح برگ از پوشش تاجی که سطح زمین را می‌پوشاند، استفاده می‌شود (Steduto et al, 2009).

www.SID.ir

Archive of SID



تودرویک و همکاران (Todorovic et al, 2009) به مقایسه سه مدل AquaCrop، CropSyst و WOFOST در شبیه‌سازی رشد و توسعه آفتابگردان تحت رژیم‌های آبی متفاوت در جنوب ایتالیا پرداختند. نتایج این طرح، تفاوت قابل‌توجهی بین نتایج شبیه‌سازی این سه مدل نشان داد. اما نهایتا مدل AquaCrop به‌دلیل پارامترهای ورودی کمتر، در شرایطی که اطلاعات کمتری در دسترس می‌باشد، توصیه شد.

تاکنون مطالعه‌ای در مورد شبیه‌سازی اثرهای تنش آب و شوری بر گیاه پنبه با استفاده از مدل AquaCrop صورت نگرفته است. مهم‌ترین هدف این پژوهش، واسنجی مدل AquaCrop به‌منظور شبیه‌سازی درصد پوشش گیاهی و مقدار بیوماس تجمعی در طول فصل رشد گیاه پنبه تحت تیمارهای مختلف سطح آب آبیاری و شوری می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند با عرض جغرافیایی ۵۳ و ۳۲ شمالی و طول جغرافیایی ۱۳ و ۵۵ شرقی و با ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا انجام شد. بیرجند از نظر اقلیمی جزو مناطق خشک دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم است. در یک دوره آماری ۳۰ ساله، میانگین بارندگی سالیانه ۱۷۳ میلی‌متر می‌باشد که بیشترین بارش ماهیانه آن در اسفند ماه به‌مقدار ۴۲/۳ میلی‌متر و کمترین آن در مرداد ماه به مقدار ۰/۱۳ میلی‌متر به وقوع پیوسته است. متوسط دمای سالیانه ۱۶/۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. متوسط روزهای یخبندان در سال، ۶۷ روز و میانگین سرعت باد سالانه ۹/۷ کیلومتر بر ساعت برآورد شده است.

در این پژوهش، سطوح مختلف شوری ($S_1$، $S_2$ و $S_3$ به ترتیب معادل ۲/۲، ۵/۵ و ۸/۳ دسی‌زیمنس بر متر) و سه سطح عمق آب آبیاری ($I_1$، $I_2$ و $I_3$ به‌ترتیب معادل ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد عمق آب موردنیاز گیاه) در سه تکرار در نظر گرفته شد. طرح آزمایشی به‌صورت کرت دو بار خرد شده در قالب فاکتوریل انجام شد. در این آزمایش ابعاد کرت‌های فرعی ۵×۴ متر با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر و فاصله کرت‌های اصلی از یکدیگر برابر ۵ متر بودند. روش آبیاری به صورت بارانی کلاسیک بوده و نیاز آبی بر اساس روش فائو-پنمن-مانتیث محاسبه شده است. راندمان آبیاری برابر ۸۰ درصد و نیاز آبشویی برابر ۱۰ درصد درنظر گرفته شد.

جدول (۱) مقادیر تبخیر و تعرق محاسباتی و آب آبیاری را نشان می‌دهد.

**جدول (۱): مقادیر تبخیر و تعرق محاسباتی و آب آبیاری**

| تیمار | تبخیر و تعرق (میلی‌متر) | آب آبیاری (میلی‌متر) |
|---|---|---|
| $I_1S_1$ | ۸۷۲/۹ | ۱۲۱۲/۳ |
| $I_2S_1$ | ۶۶۰/۵ | ۹۱۷/۴ |
| $I_3S_1$ | ۴۴۸/۴ | ۶۲۲/۷ |
| $I_1S_2$ | ۸۳۳/۸ | ۱۱۵۸ |
| $I_2S_2$ | ۶۳۰/۲ | ۸۷۵/۲ |
| $I_3S_2$ | ۴۲۱/۳ | ۵۸۵/۱ |
| $I_1S_3$ | ۸۰۹ | ۱۱۲۳/۶ |
| $I_2S_3$ | ۶۰۷/۲ | ۸۴۳/۳ |
| $I_3S_3$ | ۴۰۰ | ۵۵۵/۵ |

## مدل AquaCrop

AquaCrop مدلی است که جهت بررسی کارایی مصرف آب گیاه، توسط بخش آب و خاک سازمان خواروبار جهانی (FAO) با تجدید نظر در نشریه شماره ۳۳ سازمان FAO طراحی شده است (Doorenbos et al, 1979).

مدل AquaCrop از معادله پیشین دورنباس و همکاران (Doorenbos et al, 1979) (معادله ۱) با تفکیک نمودن $ET_a$ به تبخیر از سطح خاک ($E_s$) و تعرق ($T_a$) و مجزا نمودن عملکرد نهایی (Y) به ماده خشک (B) و شاخص برداشت توسعه یافته است (Steduto et al, 2007). جدا نمودن $ET_a$ به $E_s$ و $T_a$ سبب می‌گردد که بخش غیر مؤثر آب در تولید

www.SID.ir

Archive of SID



محصول (تبخیر) در نظر گرفته نشود. این موضوع به‌ویژه زمانی که هنوز پوشش گیاهی تکمیل نگردیده حائز اهمیت است.

$$\left(\frac{Y_m - Y_a}{Y_m}\right) = K_y \left(\frac{ET_m - ET_a}{ET_m}\right) \qquad (۱)$$

که در آن Ym و Ya، به‌ترتیب عملکرد حداکثر و واقعی محصول، ETm و ETa به‌ترتیب تبخیر و تعرق حداکثر و واقعی گیاه و Ky ضریب تناسب بین کاهش عملکرد نسبی و کاهش نسبی در تبخیر و تعرق است.

اگرچه مدل مبنی بر فرایندهای بیوفیزیکی پیچیده بنا نهاده شده است، اما نیاز به پارامترهای ورودی کمی دارد (Kuo et al, 2006) ورودی‌های مدل شامل موارد زیر می‌باشد.

### داده‌های اقلیمی

متغیرهای ورودی هوا برای اجرای مدل عبارتند از: دمای حداکثر و حداقل روزانه، بارش روزانه، رطوبت نسبی حداکثر و حداقل، سرعت باد، ساعات آفتابی و میانگین سالانه غلظت $CO_2$ اتمسفر. به‌منظور تامین اطلاعات اقلیمی مدل، ابتدا داده‌های هواشناسی مربوط به دوره رشد پنبه در سال انجام آزمایش از ایستگاه هواشناسی بیرجند گرفته شد و به نرم‌افزار ETоCalculator که با مدل AquaCrop پیوند دارد، داده شد و تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش فائو پنمن مانتیث برآورد شد (Allen et al,1998).

### داده‌های خاک

خصوصیات فیزیکی شامل هدایت هیدرولیکی اشباع ($K_{sat}$) که به روش پرمامترگلف ( Guelph permeameter)

اندازه‌گیری شد، مقدار رطوبت حجمی خاک در حالت اشباع ($\theta_{sat}$)، ظرفیت مزرعه ($\theta_{fc}$) و نقطه پژمردگی ($\theta_{wp}$) می‌باشند. مقدار رطوبت خاک خاک به روش وزنی اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه خاک مزرعه مورد مطالعه در جدول (۲) آمده است.

**جدول (۲): خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه**

| عمق (سانتی‌متر) | بافت خاک | FC (%) | WP (%) | $\rho_b$ (%) | EC (دسی‌زیمنس بر متر) | pH |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۰-۳۵ | لوم | ۳۱/۱ | ۱۵/۲ | ۱/۳۲ | ۶/۱ | ۷/۸ |
| ۳۵-۷۰ | لومی شنی | ۲۲/۳ | ۱۰/۱ | ۱/۵۱ | ۴/۵ | ۷/۹ |
| ۷۰-۱۰۰ | لومی شنی | ۲۲/۶ | ۱۰/۶ | ۱/۶۵ | ۴/۷ | ۷/۸ |

### داده‌های گیاه

در AquaCrop سیستم گیاهی از پنج جزء تشکیل شده است که شامل پاسخ‌های دینامیک فنولوژی، کانوپی، عمق ریشه‌زنی، تولید ماده خشک و عملکرد اقتصادی است.

در این پژوهش، شبیه‌سازی مقدار پوشش گیاهی، عملکرد و بیوماس پنبه در طول فصل کشت تحت تنش‌های مختلف عمق آب آبیاری و شوری آب آبیاری با استفاده از مدل AquaCrop بررسی شد.

به‌منظور تعیین آنالیز حساسیت مدل، دامنه تغییرات ضریب حساسیت به سه کلاس حساسیت زیاد، متوسط و کم طبقه‌بندی می‌شود. اگر پاسخ مدل به تغییر در پارامترها بیشتر از ۱/۵ باشد، دارای حساسیت زیاد است. اگر پاسخ مدل به تغییر در پارامترهای ورودی بین ۰/۳ تا ۱/۵ و یا کمتر از ۰/۳ باشد، به ترتیب نشان‌دهنده حساسیت متوسط و کم می‌باشد (Geerts et al, 2009). با استفاده از اطلاعات این مزرعه آزمایشی، داده‌های ورودی مورد نیاز تهیه و واسنجی مدل AquaCrop مطابق مراحل زیر انجام شد.

- اجرای مدل و تعیین عملکرد شبیه‌سازی شده در شرایط مختلف مزرعه آزمایشی فوق‌الذکر

www.SID.ir

Archive of SID



- مقایسه عملکرد واقعی حاصل از آزمایش مزرعه‌ای با عملکرد شبیه‌سازی شده برای همان شرایط
- اجرای مدل و تعیین عملکرد شبیه‌سازی شده در شرایط مختلف مزرعه آزمایشی فوق‌الذکر
- در صورت عدم تطابق عملکرد شبیه‌سازی شده با عملکرد واقعی، با تغییر دادن ضرایب گیاهی، مراحل فوق‌الذکر تکرار گردید تا نتایج عملکرد شبیه‌سازی شده با دقت قابل قبولی بر عملکرد واقعی منطبق شود.
- به‌منظور صحت‌یابی مدل، با استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری شده، عملکرد محصول در شرایط مختلف مدیریتی (شوری و عمق آب آبیاری) شبیه‌سازی و با عملکرد واقعی مقایسه شد.

## آنالیز داده‌ها

برای بررسی نتایج حاصل از مدل با نتایج مشاهده‌ای در سطح مزرعه و صحت‌یابی نتایج و ارزیابی قابل اعتماد بودن مدل، از برخی شاخص‌های ارزیابی مزرعه‌ای شامل ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب راندمان (E) و شاخص سازگاری (d) استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(S_i - M_i)^2} \qquad (۲)$$

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(M_i - \bar{M})^2} \qquad (۳)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|S_i - \bar{M}| + |M_i - \bar{M}|)^2} \qquad (۴)$$

ضریب E بیانگر نسبت انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری شده به انحراف مقادیر اندازه‌گیری شده از مقادیر میانگین می‌باشد. هر چه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد، مدل کاراتر است.

## نتایج و بحث

مقادیر حساسیت محاسبه شده برای تعدادی از پارامترهای ورودی مدل AquaCrop در جدول (۳) ارایه‌شده است. حساسیت مدل AquaCrop نسبت به تغییرات بهره‌وری آب نرمال شده (WP)، زمان از کاشت تا پیری پوشش گیاهی، شاخص برداشت مرجع ($HI_0$)، ماکزیمم پوشش گیاهی و زمان تا رسیدن به ماکزیمم پوشش گیاهی بیشتر از سایر پارامترها است. بنابراین بایستی این داده‌ها با دقت بیشتری اندازه‌گیری شوند زیرا در غیر این صورت، خطای قابل‌توجهی در نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل به‌وجود می‌آید.

از داده‌های سال ۱۳۸۸ برای واسنجی و از داده‌های سال ۱۳۸۹ برای صحت‌سنجی مدل AquaCrop استفاده شده است (جدول ۴).

**جدول (۳): ضریب حساسیت پارامترهای ورودی مدل AquaCrop**

| پارامترهای ورودی مدل | مقدار $S_c$ در حالت ۵۰+٪ | مقدار $S_c$ در حالت ۵۰-٪ | درجه حساسیت |
|---|---|---|---|
| $K_{cb}$ | ۰/۱۳۵ | ۰/۴۹۳ | متوسط |
| ضریب افزایش سطح سایه‌انداز (CGC) | ۰/۳۲۶ | ۰/۱۰۹ | متوسط |
| بهره‌وری آب نرمال شده (WP) | ۱/۵۶۶ | ۰/۸۵ | زیاد |
| زمان از کاشت تا پیری پوشش گیاهی | ۱/۵۳۲ | ۰/۰۸۹ | زیاد |
| عمق ریشه | ۰/۴۸۸ | ۰/۱۵۶ | متوسط |
| فاکتور تخلیه آب خاک برای توسعه برگ‌ها (حد بالا) | ۰/۳۰۹ | ۰/۰۵۳ | متوسط |
| فاکتور تخلیه آب خاک برای توسعه برگ‌ها (حد پایین) | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۰۹ | کم |
| شاخص برداشت ($HI_0$) | ۱/۷۷۴ | ۰/۹۰۱ | زیاد |
| فاکنور شکل تابع تنش آب | ۰/۳۹۱ | ۰/۱۵۲ | متوسط |
| زمان تا رسیدن به ماکزیمم پوشش گیاهی | ۱/۵۳۳ | ۰/۴۱۹ | زیاد |

www.SID.ir

Archive of SID



**ادامه جدول (۳): ضریب حساسیت پارامترهای ورودی مدل AquaCrop**

| پارامترهای ورودی مدل | مقدار $S_c$ در حالت ۵۰+٪ | مقدار $S_c$ در حالت ۵۰-٪ | درجه حساسیت |
|---|---|---|---|
| ماکزیمم پوشش گیاهی ($CC_x$) | ۱/۸۷۹ | ۰/۹۶۶ | زیاد |
| پوشش گیاهی اولیه | ۰/۰۹۲ | ۰/۱۰۷ | کم |
| فاکتور تخلیه آب خاک برای کنترل بسته شدن روزنه‌ها | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۰۳ | کم |
| کاهش ضریب پوشش گیاهی | ۰/۰۲۸ | ۰/۰۱۳ | کم |
| کاهش پوشش گیاهی ماکزیمم | ۰/۳۱۹ | ۰/۰۹۱ | متوسط |
| کاهش تعرق گیاه | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۹ | کم |
| متوسط کاهش پوشش گیاهی | ۰/۴۴۷ | ۰/۱۰۸ | متوسط |

**جدول (۴): برخی پارامترهای گیاهی مورد استفاده برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل**

| سال | تاریخ کشت | سبز شدن | گلدهی | شروع پیری پوشش گیاهی | رسیدگی فیزیولوژیکی | حداکثر عمق ریشه (متر) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| اول | ۸۹/۲/۸ | ۷ | ۵۸ | ۱۲۷ | ۱۷۰ | ۱/۲ |
| دوم | ۹۰/۲/۱۲ | ۷ | ۵۵ | ۱۳۰ | ۱۷۴ | ۱/۲ |

جدول ۵ مقادیر واسنجی شده مدل AquaCrop برای گیاه پنبه تحت تنش‌های مختلف سطح آب آبیاری و شوری آب آبیاری را ارایه می‌دهد.

شکل‌های ۱، ۲ و ۳ درصد پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی را برای تیمارهای مختلف سطح آب آبیاری در طول دوره رشد گیاه پنبه به‌ترتیب برای تیمارهای $S_1$، $S_2$ و$S_3$ نشان می‌دهد. مقدار پوشش گیاهی شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop در همه تیمارهای آب آبیاری برای تیمارهای $S_1$ و $S_2$ کمتر تخمین زده شده است. همچنین مقدار پوشش گیاهی ماکزیمم شبیه‌سازی شده نیز برای این تیمارها، کمتر از مقدار واقعی برآورد شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار پوشش گیاهی شبیه‌سازی شده برای تیمار $S_3$، بیشتر از مقدار واقعی تخمین زده شده است (شکل ۳). کاهش مقدار آب آبیاری باعث کاهش پوشش گیاهی به‌ویژه پوشش گیاهی ماکزیمم شده است. پوشش گیاهی سبز به‌وسیله ضریب کاهش پوشش سبز تشریح می‌شود (اندرزیان و همکاران، ۲۰۱۱). تیمار $I_3$ کمترین مقدار پوشش گیاهی را داشته است چون این تیمار کمترین مقدار آب دریافتی را داشته است. نتایج این تحقیق با نتایج فراهانی و همکاران (فراهانی و همکاران، ۲۰۰۹) مطابقت دارد.

**جدول (۵): مقادیر واسنجی شده پارامترهای مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی رشد گیاه پنبه**

| عنوان پارامتر | مقدار پارامتر | واحد |
|---|---|---|
| دمای پایه | ۱۲ | °C |
| دمای ماکزیمم | ۳۵ | °C |
| پوشش گیاهی اولیه | ۰/۷۲ | % |
| ضریب افزایش پوشش گیاهی | ۷/۵ | %/day |
| پوشش گیاهی ماکزیمم | ۹۸ | % |
| ضریب کاهش پوشش گیاهی | ۲/۷ | %/day |

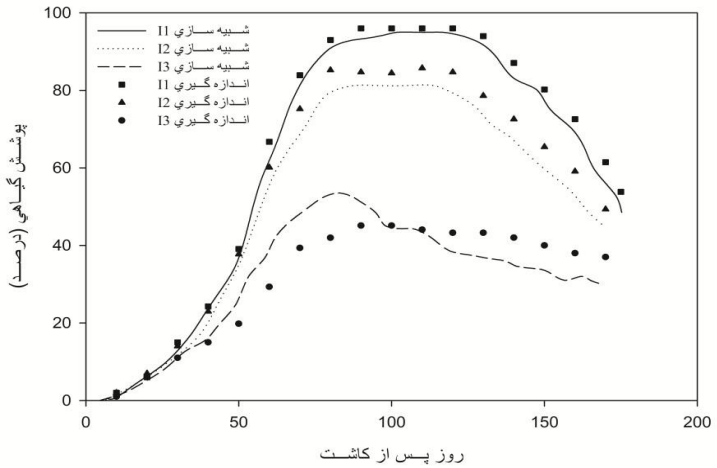
www.SID.ir

Archive of SID



**ادامه جدول (۵): مقادیر واسنجی شده پارامترهای مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی رشد گیاه پنبه**

| عنوان پارامتر | مقدار پارامتر | واحد |
|---|---|---|
| پارامترهای پاسخ تنش آب | | |
| فاکتور تخلیه آب خاک برای توسعه برگ‌ها (حد بالا) | ۰/۲۵ | - |
| فاکتور تخلیه آب خاک برای توسعه برگ‌ها (حد پایین) | ۰/۶۶ | - |
| فاکنور شکل تابع تنش آب | ۲/۷ | - |
| فاکتور تخلیه آب خاک برای کنترل بسته شدن روزنه‌ها | ۰/۶ | - |
| فاکتور تخلیه آب خاک برای کنترل شروع پیری پوشش گیاهی | ۰/۷ | - |
| پارامترهای پاسخ تنش شوری | | |
| کاهش ضریب پوشش گیاهی | ۲۳ | % |
| کاهش پوشش گیاهی ماکزیمم | ۴۰ | % |
| کاهش تعرق گیاه | ۷ | % |
| متوسط کاهش پوشش گیاهی | ۰/۴۴ | %/day |
| پارامترهای تولید گیاهی | | |
| شاخص بهره‌وری آب | ۱۵ | $gr/m^2$ |
| شاخص برداشت | ۳۵ | % |

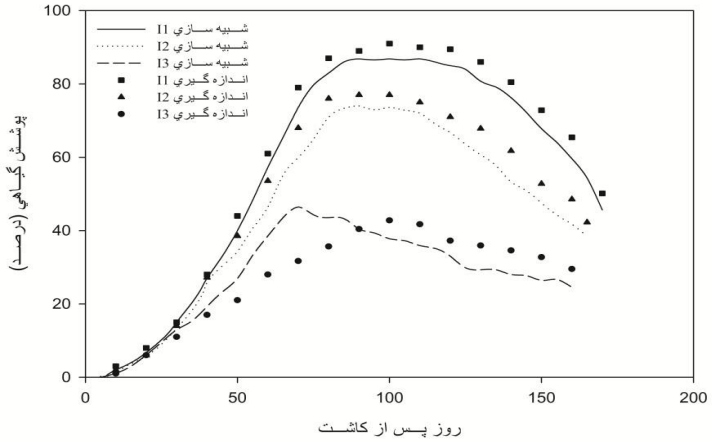



**شکل (۱): مقایسه درصد پوشش گیاهی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده برای سطوح مختلف عمق آب آبیاری و تیمار $S_1$**

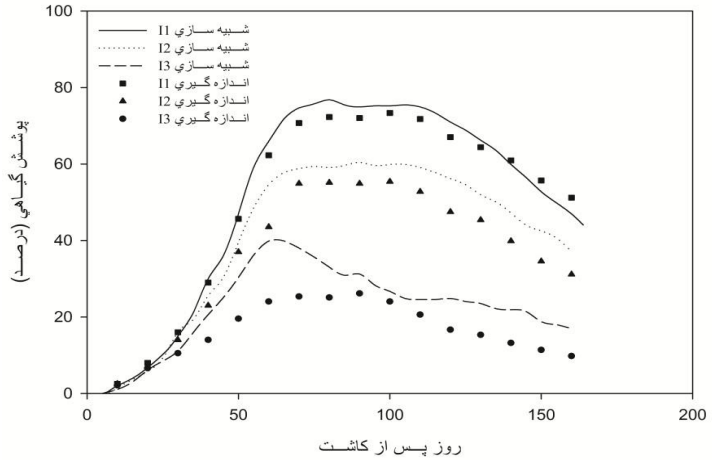
www.SID.ir

Archive of SID






**شکل (۲): مقایسه درصد پوشش گیاهی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده برای سطوح مختلف عمق آب آبیاری و تیمار $S_2$**




**شکل (۳): مقایسه درصد پوشش گیاهی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده برای سطوح مختلف عمق آب آبیاری و تیمار $S_3$**

افزایش مقدار شوری آب آبیاری در تیمار $S_3$ نسبت به تیمارهای $S_1$ و $S_2$ باعث کاهش مقدار پوشش گیاهی شده است. مقدار پوشش گیاهی شبیه‌سازی شده تقریبا مشابه با مقدار پوشش گیاهی واقعی از زمان کاشت تا گلدهی گیاه بوده است. افزایش اختلاف بین مقدار پوشش گیاهی شبیه‌سازی شده و مقدار واقعی، بعد از زمان گلدهی مشاهده شده بود که می‌تواند به علت افزایش دمای هوا و در نتیجه پیری سریع‌تر پوشش گیاهی و کاهش پوشش گیاهی باشد. کاهش مقدار آب آبیاری و افزایش شوری آب آبیاری، باعث پیری زودرس در گیاه و در نتیجه باعث کاهش پوشش گیاهی شده است. شکل‌های ۱، ۲ و ۳ نشان می‌دهند که افت سریع پوشش گیاهی برای تیمار $I_3$ اتفاق افتاده است. اثر کم آبیاری با افزایش تنش خشکی، افزایش یافته و موجب کوتاه شده فصل رشد، کاهش ارتفاع گیاه، زودرس شدن و کاهش محصول می‌شود (Restuccia, 1995).

همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار پوشش گیاهی در تیمار $I_3$ تقریبا ۳۰ تا ۴۰ درصد پوشش گیاهی تیمار آبیاری کامل ($I_1$) می‌باشد. نتیجه این عمل باعث شده است که مقدار بیوماس تیمار $I_3$، ۳۰ تا ۴۰ درصد مقدار بیوماس تیمار $I_1$ شود. برار (Brar, 1986) نشان داد که پنبه در مراحل گلدهی و رشد قوزه‌ها بیشترین حساسیت را نسبت به تنش خشکی دارد. همچنین

www.SID.ir

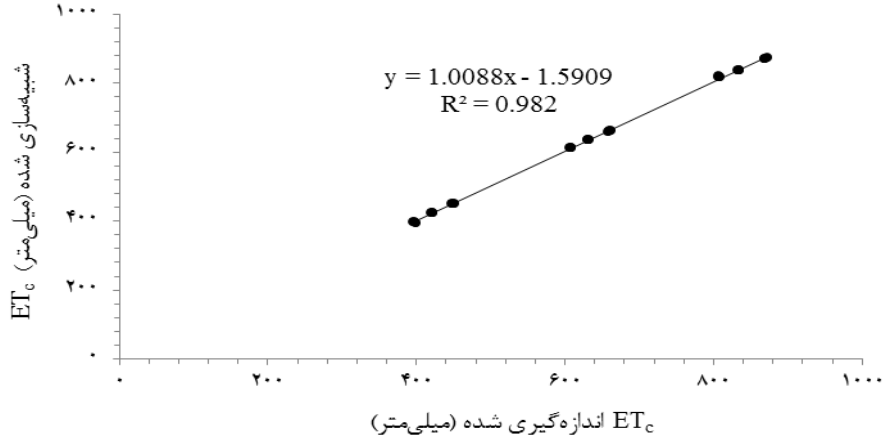
Archive of SID



مشخص نمود که بیشترین اثر تنش بر عملکرد پنبه در طول مرحله رشد قوزه‌ها و تقریبا بعد از مرحله گلدهی اتفاق می‌افتد. اعمال تنش در این مرحله موجب توقف رشد قوزه می‌شود.

شکل‌های ۱ تا ۳ نشان می‌دهند که با افزایش شوری آب آبیاری، درصد پوشش گیاهی کاهش یافته است. صغیر و همکاران (Saghir et al, 2002) نشان دادند که تنش‌های شوری باعث کاهش سطح برگ، نازک شدن ساقه، کاهش شاخ و برگ و ریشه‌ها و در نتیجه تولید کمتر قوزه می‌شوند. تحقیق دیگری بر روی تحمل ارقام مختلف پنبه به شوری نیز نشان داد که کیفیت‌های مختلف آب آبیاری (۴، ۷، ۱۰ و ۱۳ دسی‌زیمنس بر متر) بر روی عملکرد، تأثیر معنی‌دار داشته است و بیشترین عملکرد مربوط به تیمار آبیاری ۴ دسی‌زیمنس بر متر بوده است (جعفرآقایی و دهقانی، ۲۰۰۶).

مقادیر $ET_c$ محاسبه شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop در شکل ۴ ارایه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که مدل قادر است مقدار $ET_c$ را با دقت نسبتا مناسب شبیه‌سازی کند. مقدار RMSE در شبیه‌سازی $ET_c$ برابر ۴/۷٪ به‌دست آمد. RMSE مقادیر کلی انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده عدم اطمینان مطلق مدل می‌باشد. هر چه RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد، عملکرد شبیه‌سازی مدل بهتر است. مدل تمایل به برآورد مقادیری بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده دارد. به‌دلیل این‌که تبخیر و تعرق در روش اندازه‌گیری مزرعه‌ای از فرمول بیلان حجم و در مدل از روش فائو-پنمن-مانتیث استفاده شد که اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده، قابل پیش‌بینی بود.




**شکل (۴): مقایسه مقادیر $ET_c$ اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده آن توسط مدل**

www.SID.ir

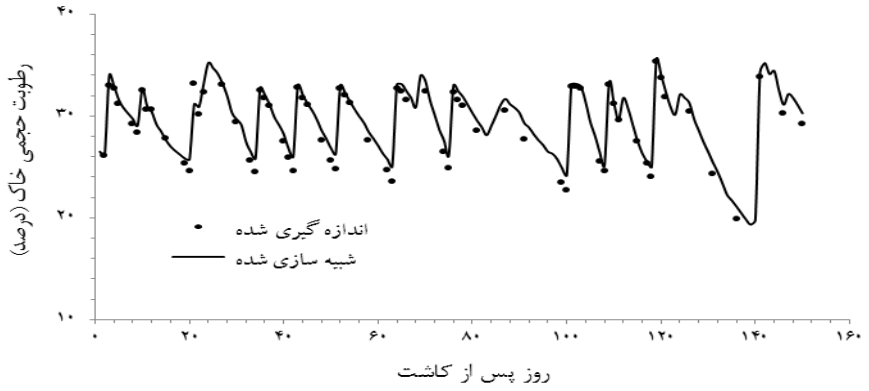
Archive of SID



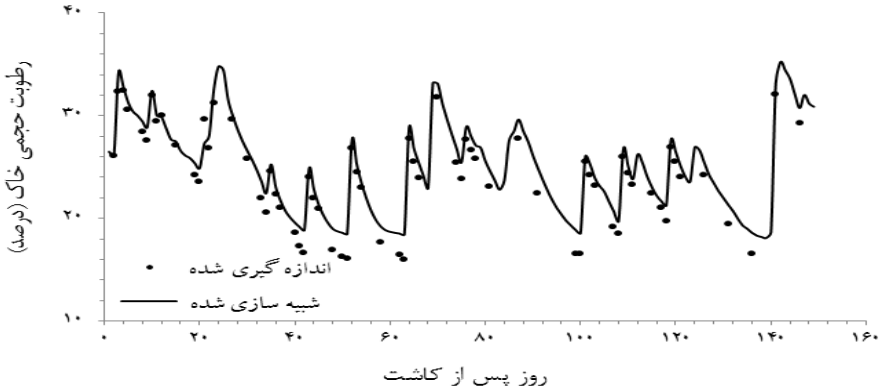
شکل‌های ۵، ۶ و ۷ به‌ترتیب مقدار رطوبت خاک اندازه گیری و شبیه‌سازی شده را برای تیمارهای $I_1S_1$، $I_1S_2$ و $I_1S_3$ نشان می‌دهند. مدل AquaCrop مقدار رطوبت خاک را برای همه تیمارها بیشتر از مقدار واقعی پیش‌بینی کرده است. مقدار رطوبت از سطح خاک تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاک روند کاهشی داشت. به‌طوری که با افزایش عمق خاک، خطای پیش‌بینی مدل نیز افزایش یافت و این بدان علت است که مدل به کمبود رطوبت خاک حساس می‌باشد. با افزایش تنش خشکی و شوری، خطای پیش‌بینی مدل افزایش یافت.

مقدار رطوبت خاک پیش‌بینی شده تقریبا نزدیک به مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده در روزهای اول پس از آبیاری بود و پس از آن اختلاف مقادیر رطوبت اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده، افزایش یافت. نتیجه مشابهی توسط هسیا و همکاران (Hsiao et al, 2009) برای تیمارهای آبیاری کامل و تنش متوسط آب آبیاری به‌دست آمد.

به‌طور کلی شبیه‌سازی مناسبی برای مقدار رطوبت خاک توسط مدل AquaCrop به‌دست آمد. متوسط RMSE بین مقدار رطوبت خاک اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در عمق ۱۰۰-۰ سانتی‌متر خاک برای تیمارهای $I_1$، $I_2$ و $I_3$ به‌ترتیب برابر ۰/۸۹، ۱/۰۸ و ۱/۴۷ بود. فراهانی و همکاران (Farahani et al, 2009) در مطالعه خود برای کشت پنبه به این نتیجه رسیده‌اند که مدل AquaCrop مقدار رطوبت در لایه سطحی خاک را کمتر از مقدار واقعی تخمین زده است.




**شکل (۵): مقایسه مقادیر رطوبت خاک اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده توسط مدل در طول فصل رشد برای تیمار $I_1S_1$**

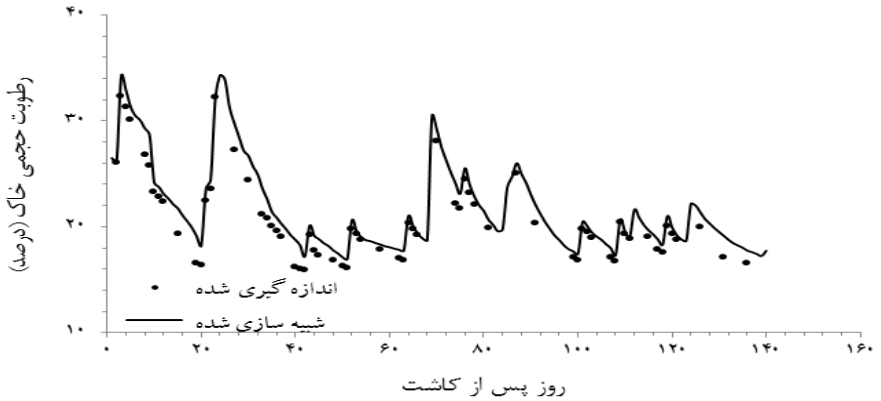



**شکل (۶): مقایسه مقادیر رطوبت خاک اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده توسط مدل در طول فصل رشد برای تیمار $I_2S_1$**

www.SID.ir

Archive of SID






**شکل (۷): مقایسه مقادیر رطوبت خاک اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده توسط مدل در طول فصل رشد برای تیمار $I_3S_1$**

شاخص‌های آماری جهت ارزیابی مدل AquaCrop برای واسنجی و صحت‌یابی در جدول ۶ آمده است. نتایج نشان داد که رابطه خوبی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی با مقدار کم RMSE وجود دارد. نتایج مقدار عملکرد شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop نشان می‌دهد که در هر دو سال، مدل توانست مقدار عملکرد پنبه را با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی کند (جدول ۶). مقدار شاخص سازگاری (d) بسیار نزدیک به یک به‌دست آمد که نشان‌دهنده سازگاری روند کاهش عملکرد محصول با کاهش مقدار آب آبیاری و همچنین افزایش شوری آب آبیاری در مدل نسبت به روند عملکرد محصول اندازه‌گیری شده در سطح مزرعه با آب آبیاری می‌باشد. ضریب RMSE به‌دست آمده، نشان‌دهنده دقت بالای مدل در شبیه‌سازی پارامترهای قابل پیش‌بینی است.

**جدول (۶): شاخص‌های آماری ارزیابی مدل برای واسنجی و صحت یابی**

| پارامتر | سال ۱۳۸۸ | | | سال ۱۳۸۹ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | RMSE | E | d | RMSE | E | d |
| عملکرد | ۰/۱۸۷ | ۰/۹۶ | ۰/۹۸ | ۰/۱۹۳ | ۰/۹۴ | ۰/۹۸ |
| بیوماس | ۰/۳۳۱ | ۰/۹۵ | ۰/۹۸ | ۰/۳۴۸ | ۰/۹۴ | ۰/۹۷ |
| کارایی مصرف آب گیاه | ۰/۰۴۸ | ۰/۹۵ | ۰/۹۷ | ۰/۰۶۶ | ۰/۹۳ | ۰/۹۵ |
| رطوبت خاک | ۱/۴۵ | ۰/۸۹ | ۰/۹۲ | ۱/۵۹ | ۰/۸۸ | ۰/۹۰ |

## نتیجه‌گیری

هدف فائو از توسعه مدل AquaCrop، فراهم کردن ابزاری برای کمک به طراحان، کشاورزان و مدیران کشت و صنعت‌ها جهت انتخاب مدیریت بهینه آبیاری در سیستم‌های مختلف کشاورزی موجود در سراسر جهان است. بنابراین ارزیابی و اعتبار بخشی مدل به‌ویژه برای محصولات استراتژیک ضروری است. به‌طور کلی مدل AquaCrop توانست درصد پوشش گیاهی، عملکرد و بیوماس گیاه پنبه را در طول فصل رشد برای تیمارهای مختلف عمق آب آبیاری و شوری آب آبیاری با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی کند. به طور کلی روند تغییرات پارامترها در هر دو سال زراعی، با هم مشابه بود. مقدار پوشش گیاهی شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop در همه تیمارهای آب آبیاری برای تیمارهای $S_1$ و $S_2$ کمتر از مقدار واقعی و برای تیمار $S_3$ بیشتر از مقدار واقعی تخمین زده شده است. با توجه به این‌که مدل AquaCrop نسبت به سایر مدل‌ها، نیاز به پارامترهای ورودی کمتری دارد،

www.SID.ir

Archive of SID



استفاده از این مدل در طرح‌های تحقیقاتی جهت پیش‌بینی میزان محصول، کارایی مصرف آب و بررسی تاثیر تنش خشکی و شوری بر میزان محصول، توصیه می‌شود.

## منابع

جعفرآقایی، م. و م. دهقانی. ۱۳۸۵. تاثیر شوری آب آبیاری بر خصوصیات کمی و کیفی پنبه (ارقام B557 و تابلادیلا). نهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، ۵ تا ۷ شهریور، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، تهران.

سپاسخواه ع.، ع. توکلی و س. ف. موسوی. ۱۳۸۵. اصول و کاربرد کم آبیاری. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲۱۰ صفحه.

شهیدی، ع. ۱۳۸۷. اثر برهم کنش کم آبیاری و شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم با تعیین تابع تولید آب و شوری در منطقه بیرجند. رساله دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۵۰ صفحه.

کشاورز ع. و ک. صادق‌زاده. ۱۳۷۹. کم آبیاری بهینه و تجزیه تحلیل ریاضی و اقتصادی آن. مجله تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، ۵سال پنجم، شماره ۱۷، ص ۲۶-۱.

کیانی ع. و م. کوچک زاده. ۱۳۸۰. راهکارهای اجرایی و مدیریتی کاربرد آب شور در کشاورزی. اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، ۲۰ اسفند، دانشگاه زابل، زابل.

نجفی مود م. ح. ۱۳۸۶. تاثیر دو روش آبیاری شیاری و بارانی بر عملکرد و کیفیت پنبه. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۴۰ صفحه.

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrig. Drain. Paper No.56, FAO, Rome, Italy, 300 pp.

Andarzian, B., M. Bannayan, P. Steduto, H. Mazraeh, M.E. Barati, M.A. Barati and A. Rahnama. 2011. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. Agricultural Water Management, 100: 1-8.

Brar, A.S. 1986. Response of upland cotton to deficit irrigation management. Sciences and Engineer, 46(7): 2122-2135.

Doorenbos, J., A.H. Kassam, C.L.M. Bentvelsen, V. Branscheid, J.M.G.A. Plusje, M. Smith, G.A. Uittenbogard and H.K. Vanderwal. 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage. Paper No. 33. FAO, Rome, Italy, 200 pp.

Droogers, P. and G. Kite. 2001. Simulation modelling at different scales to evaluate the productivity of water. Physics and Chemistry of the Earth, 26(11-12): 877-880.

Farahani, H.J., G. Izzi and T.Y. Oweis. 2009. Parameterization and evaluation of the AquaCrop model for full and deficit irrigated cotton. Agronomy Journal, 101: 469–476.

Geerts, S., D. Raes, M. Garcia, R. Miranda, J.A. Cusicanqui, C. Taboada, J. Mendoza, R. Huanca, A. Mamani, O. Condori, J. Mamani, B. Morales, V. Osco, and P. Steduto. 2009. Simulating Yield Response of Quinoa to Water Availability with AquaCrop. Agronomy Journal, 101(3): 499–508.

Hsiao, T.C., L. Heng, P. Steduto, B. Rojas-Lara, D. Raes, and E. Fereres. 2009. AquaCrop The FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. Agronomy Journal, 101:448-459.

Kuo, Sh.F., B.J. Lin and H.J. Shieh. 2006. Estimation irrigation water requirements with derived crop coefficients for upland and paddy crops in ChiaNan Irrigation Association, Taiwan. Agricultural Water Management, 82: 433-451.

Marinov, D., E. Querner and J. Roelsma. 2005. Simulation of water flow and nitrogen transport for a Bulgarian experimental plot using SWAP and ANIMO models. J. Contam. Hydrol. 77: 145-164.

Raes, D. 2002. Reference manual of Budget model. K. U. Leuven, Faculty of Agricultural and Applied Biological sciences, Institute for Land and Water Management, Leuven, Belgium.

www.SID.ir

Archive of SID



Restuccia, G. 1995. Effects of irrigations regimes on the agronomic behavior of cotton cultivated in the Mediterranean region. Rivistali Agronamia, 29(2):123-131.

Saghir, A., N. Khan, M. Zafar and M. Hassan. 2002. Salt tolerance of cotton. Asian Journal of Plant Sciences. 1(6): 715-719.

Steduto, P., T.C. Hsiao and E. Fereres. 2007. on the conservative behavior of biomass water productivity. Irrigation Science, 25:189-207.

Steduto, P., T.C. Hsiao, D. Raes, and E. Fereres. 2009. AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: I Concepts and Underlying Principles. Agronomy Journal, 101(3): 426-437.

Todorovic, M., R. Albrizio, L. Zivotic, M.T.A. Saab, C. Stöckle and P. Steduto. 2009. Assessment of AquaCrop, Crop Syst, and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. Agronomy Journal, 101(3): 509–521.

www.SID.ir

Archive of SID



# Cotton Response Simulation to Dry and Salinity Stress by using of AquaCrop Model

**Mojtaba Khoshravesh[1], Ali Ghadami Firouzabadi[2], Pooya Shirazi[3] and Mohammad Hossein Najafi-Mood[4]**

## Abstract

Currently, agriculture is a crucial support for the national food security as well as economic sustainability. Among all factors, water is the most important and limited production factor. The simulation models of yield response to the water and irrigation water salinity are expected to play an increasingly important role in the optimization of water productivity (WP) in agriculture. AquaCrop model is a powerful and valuable tool for improvement of water management in the field and calculating water productivity. In this study, canopy cover, yield, biomass and evapotranspiration of cotton were simulated by using AquaCrop model under different levels of water salinity and deficit irrigation condition. The treatments included three levels of irrigation water salinity and three levels of irrigation depth. The experiment design was laid out with split-split plot in a factorial design with three replications. Results showed that the model can simulate different parameters with high accuracy (d>0.95). By reducing the amount of irrigation water and increasing of irrigation water salinity, simulation error was increased, but simulation results were in the acceptable range. For low levels of water and salinity stress, there was no very difference in the simulation results. AquaCrop model can be valuable tool in water and salinity management.

**Keywords: AquaCrop model, Biomass, Canopy cover, Water productivity, Yield.**

[1] Assistant professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Email: khoshravesh_m24@yahoo.com.

[2] Assistant professor, Water Engineering Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research Center, Hamedan, Iran. Email: aghadami@gmail.com.

[3] Master of Irrigation and Drainage, PhD Student of Irrigation and Drainage, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Email: p.shirazi.a@gmail.com.

[4] Assistant Professor, Water Engineering Department, University of Birjand, Birjand, Iran. Email: mhnajafi2020@yahoo.com

www.SID.ir