ارزیابی میدانی و عملکرد مدل SALTMED در مدیریت آبیاری تناوبی آب شور و غیر شور

محمد حسن‌لی، حامد ابراهیمیان[۱]* و مسعود پارسی‌نژاد

دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل.
Hassanli@ut.ac.ir
استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
Ebrahimian@ut.ac.ir
دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
Parsinejad@ut.ac.ir

Archive of SID

چکیده

با توجه به محدودیت‌های روز افزون در دستیابی به آب غیر شور در کشاورزی و لزوم ارائه‌ی راهکارهای مدیریت آب‌های نامتعارف، گزینه-های مدیریتی در آبیاری در استفاده از آب شور در تناوب با آب غیر شور برای محصول ذرت علوفه‌ای ارزیابی شد. سطوح شوری مورد استفاده ۰/۴ (برای تیمار شاهد)، ۳/۵ و ۵/۷ دسی‌سیمنز بر متر بود. آبیاری با استفاده از سیستم نوار تیپ (آبیاری قطره‌ای) و با کنترل مجزای هر کرت انجام گرفت. در این تحقیق مدل SALTMED که با در نظر گرفتن سیستم‌های مختلف آبیاری، انواع خاک و لایه‌بندی آن، محصولات مختلف، تدابیر مختلف مدیریت آب آبیاری (مثل اختلاط یا تناوب آب شور و شیرین)، نیاز آبشویی و کیفیت آب، رویکرد جامعی نسبت به آب، محصول، خاک و مدیریت مزرعه دارد، با نتایج میدانی بدست آمده مورد ارزیابی قرار گرفت. عملکرد محصول بر اساس وزن تر به عنوان پارامتر ارزیابی این مدل برای ۹ تیمار مختلف (از نظر کاربرد آب شور و شیرین) در نظر گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان داد پیش‌بینی مدل در عملکرد محصول رضایت‌بخش بوده و مقدار خطای نسبی بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده بین ۰/۰ تا ۲۴/۷ درصد بدست آمد. هم‌چنین همبستگی خوبی بین مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی عملکرد محصول بدست آمد (با ضریب تعیین ۰/۷۹). آزمون آماری نیز نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی وجود نداشت. این بررسی نشان می‌دهد مدل SALTMED می‌تواند به عنوان ابزار سودمندی برای مدیریت آب در مزرعه و پیش‌بینی عملکرد محصول مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی، عملکرد ذرت علوفه‌ای

---

۱ – آدرس نویسنده مسئول: ، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی. صندوق پستی ۴۱۱۱

* دریافت: خرداد ۱۳۹۲ و پذیرش: مرداد ۱۳۹۳

www.SID.ir

مقدمه

بسیاری از مناطق جهان، منابع آبی و خاکی فراوانی را در خود جای داده که بخشی از آن برای کشاورزی چندان مناسب نبوده و هر نوع عملیات کشت و کار در آن نیازمند مدیریتی تخصصی و آگاهانه است.حجم بسیار زیادی از کل منابع آبی موجود در جهان به درجات مختلف مبتلا به شوری هستند و برای تأمین غذا و سایر نیازهای انسان‌ها به ناچار از این منابع آبی استفاده می‌شود (همایی، ۱۳۸۱).

مدیریت‌های گوناگونی در استفاده از آب‌های شور و غیر شور قابل اعمال است. از مدیریت‌های مهم در این زمینه کاربرد تلفیقی[۲] آب شور و غیر شور می‌باشد.برای کاربرد تلفیقی دو راه‌کار متداول موجود است: ۱- اختلاط آب‌های شور و غیر شور به منظور رسیدن به آبی با شوری مطلوب و ۲-کاربرد تناوبی آب‌های شور و غیر شور. در کاربرد تناوبی خیلی اوقات از آب غیر شور در مراحل اولیه رشد و از آب‌های شور در مراحل بعدی استفاده می‌شود. هم‌چنین با توجه به نوع گیاه و مرحله رشد آن، آب‌های غیر شور و شور ممکن است به صورت دوره‌ای هم مصرف شوند (اسلم و پراتاپار، ۲۰۰٦). با توجه به اهمیت کاربرد آب شور در اراضی کشاورزی، مطالعات متعددی به خصوص در سال‌های اخیر در این زمینه انجام شده است. با این وجود مطالعات محدودی در زمینه کاربرد تناوبی آب شور و آب غیر شور در سیستم آبیاری قطره‌ای انجام گرفته است.

ملش و فلاورز (۲۰۱۱) روابط آب-گیاه، رشد و بهره‌وری گوجه‌فرنگی را در روش‌های آبیاری قطره‌ای و جویچه‌ای با آب شور و غیرشور بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که کارایی مصرف آب مخصوصاً در زمانی‌که از آب شور استفاده می‌شد در آبیاری قطره‌ای بیشتر بود و میوه‌ها در آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری جویچه‌ای زودتر رسیدند. وانگ و همکاران (۲۰۱۱) طی یک آزمایش سه ساله توزیع نمک و رشد پنبه را تحت رژیم‌های مختلف آبیاری در یک منطقه‌ی خشک و شور در شمال غربی چین بررسی کردند. نتایج آزمایش نشان داد که با مدیریت‌های اتخاذ شده عملکرد دانه‌ی پنبه به ۸٤٪ میانگین سطح عملکرد برای خاک غیرشور در همان منطقه‌ی مورد مطالعه رسید. وان و همکاران (۲۰۱۲) در یک مطالعه چهارساله امکان‌سنجی رویش ذرت مومی در یک زمین بسیارشور در شمال غربی چین به‌وسیله آبیاری قطره‌ای را مورد بررسی قرار دادند. پس از سال‌ها کشت و آبشویی به‌وسیله آبیاری قطره‌ای، خاک بسیار شور به‌تدریج به خاک نسبتاً شور تبدیل شد.

با کاربرد مدل‌های شبیه‌سازی می‌توان بسیاری از محاسبات پیچیده‌ی مربوط به حرکت آب و املاح و گرما در خاک و طراحی سیستم‌های آبیاری و زهکشی را به سرعت انجام داده و تأثیر هر پارامتر به‌خصوص را به راحتی ارزیابی نمود. اخیراً مدل SALTMED به منظور مدیریت یکپارچه‌ی آب در مزرعه برای سیستم‌های مختلف آبیاری، محصول، خاک و کیفیت آب آبیاری توسعه پیدا کرده است (رجب و همکاران، ۲۰۰۵ a و b).تحقیقاتی در خصوص ارزیابی مدل SALTMED صورت گرفته است که بیشتر آن توسط ارائه‌دهندگان همین مدل بوده است.

رجب (۲۰۰۲) مدل SALTMED را به عنوان یک رویکرد جامع یکپارچه برای آبیاری، محصول و مدیریت مزرعه ارائه داد. وی در این تحقیق با استفاده از پنج مثال (داده‌های مزرعه‌ای) مدل را اجرا کرد. این مدل در تمام موارد مورد مطالعه، به طور موفقیت‌آمیزی تأثیر سیستم آبیاری، نوع خاک و سطوح شوری آب آبیاری را بر رطوبت خاک، توزیع نمک، نیاز آبشویی و عملکرد محصول نشان داد. رجب و همکاران (۲۰۰۵ a و b) با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای سه ساله در کشورهای مصر و سوریه برای محصول گوجه‌فرنگی با استفاده از روش‌های آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای و تحت مدیریت‌های اختلاط و تناوب آب آبیاری شور و شیرین اقدام به

[2] -Conjunctive Use

Archive of SID

www.SID.ir

واسنجی و صحت‌سنجی مدل SALTMED نمودند وکارایی این مدل به عنوان ابزاری برای استفاده توسط کارشناسان در مدیریت سیستم‌های آبیاری در مناطق مستعد شوری تأیید شد. گلابی و همکاران (۲۰۰۹) کارایی مدل SALTMED را در شبیه‌سازی سیستم‌های آبیاری و زهکشی مزارع نیشکر در استان خوزستان بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده‌ی شوری خاک وجود ندارد و مدل SALTMED می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد برای آبیاری و زهکشی مزارع نیشکر در ایران مورد استفاده قرار گیرد.

رزاقی و همکاران (۲۰۱۱) در یک آزمایش لایسیمتری در کشور دانمارک با استفاده از مدل SALTMED واکنش گیاه گنه‌گنه به شوری خاک را ارزیابی کردند. مدل واسنجی شده SALTMED عملکرد دانه‌ی گنه‌گنه را با خطای نسبی ۰/۰٤- درصد شبیه‌سازی نمود. هیریچ و همکاران (۲۰۱۲) در کشور مراکش با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای برای سه محصول گنه‌گنه، نخود و ذرت شیرین و با تیمارهای کم‌آبیاری مدل SALTMED را واسنجی و صحت‌سنجی نمودند.

در این تحقیق مدل SALTMED به خوبی داده‌های رطوبت خاک، عملکرد محصول و ماده‌ی خشک را برای سه محصول یادشده در استراژی‌های کم‌آبیاری شبیه‌سازی نمود. اوستر و همکاران (۲۰۱۲) مدل‌های ENVIRO-GRO، HYDRUS، SALTMED و UNSACHEM را برای تعیین تأثیر تنش شوری و رطوبتی بر عملکرد ذرت علوفه‌ای مورد ارزیابی قرار دادند. در تمامی سطوح شوری و آبیاری، مدل SALTMED عملکرد محصول را کمتر از سایر مدل‌ها شبیه‌سازی کرد.

مدل SALTMED کمتر در ایران برای شرایط مختلف مدیریت آب در مزرعه ارزیابی شده است. از این رو هدف از این تحقیق استفاده از مدل SALTMED در شرایط استفاده از آب شور در تناوب با آب غیر شور برای کشت گیاه ذرت (علوفه‌ای) در منطقه کرج می‌باشد تا بتوان قابلیت مدل را در تخمین مقدار عملکرد محصول در مدیریت‌های مختلف کاربرد آب‌شور و شیرین پی برد.

مواد و روش‌ها

مدل SALTMED

مدل SALTMED با استفاده از سیستم‌های آبیاری مختلف، انواع خاک و لایه‌بندی آن، محصولات مختلف، تدابیر مختلف مدیریت آب آبیاری (مثل اختلاط یا تناوب آب شور و شیرین)، نیاز آبشویی و کیفیت آب، این کمبود در طراحی مدل‌های موجود را تا حدی برطرف ساخته است. مدل SALTMED شامل معادلات تبخیر-تعرق، جذب آب توسط گیاه، انتقال آب و املاح تحت سیستم‌های مختلف آبیاری، زهکشی و ارتباط بین عملکرد محصول و مصرف آب می‌باشد. توضیح مختصری درباره‌ی هر کدام از بخش‌های فوق‌الذکر در زیر آمده است.

تبخیر-تعرق

تبخیرتعرق با استفاده از معادله‌ی پنمن مانتیث اصلاح‌شده محاسبه می‌شود (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). در صورت نداشتن داده‌های هواشناسی (مانند دما، تابش و سرعت باد) و در صورت داشتن داده‌های تبخیر از تشت نوع A، مدل SALTMED می‌تواند از این داده‌ها برای محاسبه‌ی تبخیر-تعرق مرجع با توجه به روش فائو ٥٦ استفاده کند. تبخیر-تعرق گیاهی (ET_c) نیز با معادله‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$ET_c = ET_o(K_{cb} + K_e) \qquad (۱)$$

که در آن:

K_{cb} ضریب تعرق گیاهی (ضریب گیاهی پایه)، K_e ضریب تبخیر خاک. مقادیر K_{cb} و K_c برای هر مرحله‌ی رشد برای محصولات مختلف در پایگاه داده‌های مدل موجود است. K_e با توجه به نشریه‌ی فائو ٥٦ محاسبه می‌شود (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). هم‌چنین K_c با توجه به

Archive of SID

www.SID.ir

نشریه‌ی فائو ٥٦ برای سرعت باد متفاوت با دو متر بر ثانیه و رطوبت نسبی متفاوت با ٤٥ درصد تعدیل می‌شود.

جذب آب توسط گیاه در حضور آب شور

SALTMED نرخ واقعی جذب آب را بر اساس رابطه‌ای که توسط کاردون و لتی (١٩٩٢) پیشنهاد شده است محاسبه می‌کند:

$$S(z,t)=\left[\frac{S_{\max}(t)}{1+\left(\frac{a(t)h+\pi}{\pi_{50}(t)}\right)^{3}}\right]\lambda(z,t) \qquad (٢)$$

$$\lambda(z) = 5/3L \text{ for } z\le 0.2L \qquad (٣ \text{ الف})$$

$$\lambda(z) = 25/12L*(1-z/L) \text{ for } 0.2L<z\le L \qquad (٣ \text{ ب})$$

$$\lambda(z) = 0.0 \text{ for } z > L \qquad (٣ \text{ ج})$$

که در آن:

S جذب آب (d^{-1})، $S_{max}(t)$ حداکثر پتانسیل جذب آب توسط ریشه در زمان t، z عمق که رو به پایین مثبت در نظر گرفته می‌شود، $\lambda(z)$ کسر وابسته به زمان و عمق جرم کل ریشه، L حداکثر عمق ریشه، h ارتفاع فشار ماتریک، π ارتفاع فشار اسمزی، $\pi_{50}(t)$ مقدار وابسته به زمان فشار اسمزی که در آن $S_{max}(t)$ به اندازه‌ی ٥٠٪ کاهش یافته است، a(t) ضریب وزنی که برای پاسخ دیفرانسیلی یک محصول به فشار محلول و ماتریک محاسبه می‌شود.ضریب a(t) برابر $\pi_{50}(t)/h_{50}(t)$ است که $h_{50}(t)$ فشار ماتریک در جایی است که $S_{max}(t)$ ٥٠٪ کاهش یافته است.

حداکثر جذب آب، $S_{max}(t)$، از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$S_{\max}(t)=ET_0(t)\times K_{cb}(t) \qquad (٤)$$

عملکرد محصول نسبی و واقعی

به‌دلیل ارتباط تنگاتنگ بین جذب آب و تولید زیست توده[3] و متعاقباً محصول نهایی، عملکرد نسبی محصول (RY) با مجموع جذب آب واقعی در طول فصل تقسیم بر مجموع حداکثر جذب آب (تحت شرایط بدون تنش) مطابق رابطه‌ی زیر تخمین زده می‌شود:

$$RY=\frac{\sum S(t)}{\sum S_{\max}(t)} \qquad (٥)$$

عملکرد واقعی (AY) توسط رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$AY = RY\times Y_{\max} \qquad (٦)$$

که در آن:

Y_{max} حداکثر محصول قابل حصول تحت شرایط مساعد و بدون تنش است.

جریان آب و املاح

جریان آب در خاک با رابطه‌ی شناخته شده‌ی ریچاردز توصیف می‌شود. این معادله بر دو پایه‌ی اصل فیزیکی است: قانون دارسی و بقای جرم. قانون دارسی می‌گوید:

$$q=-K(h)\frac{\delta H}{\delta Z} \qquad (٧)$$

که در آن:

q شار رطوبتی، K(h) هدایت هیدرولیکی به عنوان تابعی از ارتفاع فشار آب خاک (h)، Z مختصات عمودی رو به پایین که مبدأ آن سطح خاک است، H بار هیدرولیکی که مجموع بار ثقلی و بار فشاری است. جریان آب انتقالی عمودی در یک بخش واحد و پایدار ناحیه‌ی ریشه توسط معادله‌ی ریچاردز توصیف می‌شود:

$$\frac{\partial\theta}{\partial t}=-\frac{\partial}{\partial z}\left[K(\theta)\frac{\partial(\psi+z)}{\partial z}\right]-S_w \qquad (٨)$$

که در آن:

θ رطوبت خاک، t زمان، z عمق، $K(\theta)$ هدایت هیدرولیکی به‌عنوان تابعی از رطوبت، ψ ارتفاع مکش، S_w عبارت جذب آب توسط ریشه‌ی گیاه. نرخ و جهت حرکت محلول در سیستم خاک عمدتاً بستگی به مسیر حرکت آب دارد، اما توسط پخشیدگی و انتشار هم

[3] -Biomass

Archive of SID

www.SID.ir

مشخص می‌شود. با ترکیب انتشار و پخشیدگی و همرفت، شار کل جریان (J) با توجه به رابطه‌ی هیلل (۱۹۷۷) بدست می‌آید:

$$J = -(D_h + D_s)(\partial c/\partial x) + \bar{v}\theta c \qquad (۹)$$

که در آن:

c غلظت جسم حل شده در حلال آب، $\bar{v}$ سرعت متوسط جریان (متر بر ثانیه)، D_s ضریب انتشار محلول در خاک، و D_h از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$D_h = \alpha\bar{v} \qquad (۱۰)$$

که α یک ضریب تجربی بدون واحد است. اصل دوم رابطه‌ی ریچاردز، قانون بقای جرم است که با در نظر گرفتن جریان انتقال یک بعدی املاح به شکل زیر بیان می‌شود:

$$\frac{\partial(\theta c)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(D_a \frac{\partial c}{\partial z}\right) - \frac{\partial(qc)}{\partial z} - S_s \qquad (۱۱)$$

که در آن:

c غلظت جسم حل شده در محلول خاک، q شار همرفتی محلول، D_a ضرایب ترکیبی پخشیدگی و انتشار و S_s جذب املاح توسط ریشه است.

داده‌های ورودی

نسخه‌ی ۲۰۱۰ مدل SALTMED دارای دو پنجره‌ی اصلی پارامترهای کلی مدل و پارامترهای مزرعه‌ای می‌باشد. در پنجره‌ی پارامترهای کلی مدل، مواردی چون روزهای اجرای مدل، مکان فایل خروجی، انتخاب خروجی‌های مدل، انتخاب شرایط مزرعه‌ای مختلف، اطلاعات خاک (از جمله لایه‌بندی، عمق، شوری اولیه، رطوبت اولیه، هدایت هیدرولیکی اشباع، رطوبت ظرفیت زراعی و باقیمانده) و اطلاعات گیاه (از جمله حداکثر و حداقل عمق ریشه، ضرایب K_c و K_{cb}، حداکثر ارتفاع گیاه، تاریخ روزهای کاشت، جوانه‌زنی و برداشت، مدت مراحل رشد گیاهی، شاخص سطح برگ و شاخص برداشت) داده شد. در صورت نبود اطلاعات دقیق، پایگاه داده‌های مدل با بیش از ۲۰۰ نوع گیاه و ٤۰ نوع خاک مختلف، موارد پیش‌فرض را ارائه می‌دهد. در پنجره‌ی پارامترهای مزرعه‌ای بخش‌هایی مربوط به اطلاعات اقلیمی، تبخیر و تعرق، آبیاری، رشد محصول، تناوب کشت، نیتروژن، نیمرخ و اطلاعات خاک و زهکشی آمده است. در اطلاعات اقلیمی داده‌های حداکثر و حداقل دمای روزانه، سرعت باد، ساعات آفتابی، بارش و رطوبت نسبی به مدل داده شد. محاسبه‌ی تبخیر و تعرق از روش‌های پنمن مانتیث و پنمن مانتیث اصلاح‌شده بدست آمد. در اطلاعات ورودی برای آبیاری باید دبی، زمان و شوری آب آبیاری به دقت وارد شود.

خروجی‌های مدل

خروجی‌های مدل SALTMED عبارتند از: مقادیر شوری و رطوبت خاک، نیمرخ شوری و رطوبت خاک، غلظت نسبی، کسر آبشویی، عملکرد نسبی محصول، آبیاری، تبخیر و تعرق، پتانسیل مکش، نیمرخ مکش، پارامترهای رشد گیاه، بیلان آب، ماده خشک تولیدی، مقادیر نیتروژن و آمونیوم و اوره، نیمرخ نیتروژن و آمونیوم و اوره، جذب آب توسط گیاه، بیلان نیتروژن و سطح آب زیرزمینی.

مطالعه‌ی صحرایی

این مطالعه‌ی صحرایی در مرکز تحقیقات آب و خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج انجام شد. موقعیت جغرافیایی مزرعه‌ی آزمایشی شامل طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ٤۸ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۳۱۳ متر از سطح دریا است. کرج دارای آب و هوای مدیترانه‌ای است. متوسط بارندگی سالانه برابر ۲٦۵ میلیمتر، بالاترین میانگین دمای ماهیانه در تیر ماه (۲٤/۵ درجه سلسیوس) و پایین‌ترین میانگین در دی ماه (۱/۲ درجه سلسیوس) می‌باشد. آب آبیاری از کانال آبیاری کنار مزرعه که از سد کرج (امیرکبیر) تغذیه می‌گردید، تأمین شد که شوری آن برابر ۰/٤ دسی‌سیمنز بر متر بود. سپس دو سطح آب شور به شوری ۳/۵ و ۵/۷ دسی‌سیمنز بر متر

Archive of SID

www.SID.ir

ایجاد می‌شد و از آن در تیمارهای آبیاری استفاده می‌شد. در این تحقیق، گیاه ذرت علوفه‌ای (سینگل کراس ٧٠٤) در تاریخ ٢٣ تیر ١٣٩١ کشت گردید.

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با نه تیمار و در سه تکرار و در ٢٧ کرت آزمایشی انجام شد. مساحت هر کرت تقریباً نه متر مربع (٣×٢/٨٥) که شامل چهار ردیف کشت گیاه ذرت با فاصله ٧٥ سانتی‌متر و طول سه متر بود. هم‌چنین به‌منظور حذف اثر حاشیه‌ای در کنار مزرعه ردیف‌های حاشیه نیز کشت گردید. تیمارها با هدف بررسی این موضوع که کدام یک از مدیریت‌ها دارای بیشترین عملکرد محصول و در عین حال دارای بهترین بهره‌روی آب با کم‌ترین مشکل تجمع املاح در خاک در جهت کشاورزی پایدار است انتخاب شد. تیمارهای این تحقیق شامل موارد زیر است:

١- آبیاری با آب غیر شور (٠/٤ دسی‌سیمنز بر متر) به‌طور ثابت به میزان نیاز خالص آبی گیاه.

٢- آبیاری با آب‌شور ٣/٥ دسی‌سیمنز بر متر (معادل ٢٥٪ کاهش عملکرد محصول) به‌طور ثابت به میزان نیاز خالص آبی گیاه.

٣- آبیاری با آب‌شور ٥/٧ دسی‌سیمنز بر متر (معادل ٥٠٪ کاهش عملکرد محصول) به‌طور ثابت به میزان نیاز خالص آبی گیاه.

٤- آبیاری با آب‌شور ٣/٥ دسی‌سیمنز بر متر و شیرین به‌طور تناوبی به‌صورت یک بار آب‌شور به میزان نیاز خالص آبی گیاه و یک بار با آب غیر شور به میزان نیاز خالص آبی گیاه به‌اضافه نیاز آبشویی.

٥- آبیاری با آب‌شور ٥/٧ دسی‌سیمنز بر متر و شیرین به‌طور تناوبی به صورت یک بار آب‌شور به میزان نیاز خالص آبی گیاه و یک بار با آب غیر شور به میزان نیاز خالص آبی گیاه به اضافه نیاز آبشویی.

٦- آبیاری با آب‌شور ٣/٥ دسی‌سیمنز بر متر و شیرین به‌طور تناوبی به‌صورت سه بار آب‌شور به میزان نیاز خالص آبی گیاه و یک بار با آب غیر شور به میزان نیاز خالص آبی گیاه به‌اضافه نیاز آبشویی.

٧- آبیاری با آب‌شور ٥/٧ دسی‌سیمنز بر متر و شیرین به‌طور تناوبی به صورت سه بار آب‌شور به میزان نیاز خالص آبی گیاه و یک بار با آب غیر شور به میزان نیاز خالص آبی گیاه به اضافه نیاز آبشویی.

٨- آبیاری با آب‌شور ٣/٥ دسی‌سیمنز بر متر و شیرین به‌طور تناوبی به‌صورت پنج بار آب‌شور به میزان نیاز خالص آبی گیاه و یک بار با آب غیر شور به میزان نیاز خالص آبی گیاه به‌اضافه نیاز آبشویی.

٩- آبیاری با آب‌شور ٥/٧ دسی‌سیمنز بر متر و شیرین به‌طور تناوبی به صورت پنج بار آب‌شور به میزان نیاز خالص آبی گیاه و یک بار با آب غیر شور به میزان نیاز خالص آبی گیاه به اضافه نیاز آبشویی.

در جدول (١) برخی داده‌های مهم ورودی به مدل آورده شده است. داده‌هایی مثل شوری آب آبیاری، مقدار آبیاری، دمای حداقل و حداکثر، سرعت باد، ساعات آفتابی، بارش و رطوبت نسبی در طول زمان تغییر می‌کرد و به صورت فایل داده‌ها به مدل داده شد.

جدول ١- برخی داده‌های ورودی به مدل

حداکثر طول ریشه (سانتی‌متر)	٦٠	بافت خاک	لومی
حداکثر عملکرد محصول (تن در هکتار)	٥٦/٢	عمق خاک زراعی (سانتی‌متر)	٦٠
ضرایب گیاهی اولیه، میانی و انتهایی	٠/٣، ١/٢ و ٠/٦	شوری اولیه خاک (دسی‌سیمنز بر متر)	٢/٠
طول روزهای رشد دوره‌های ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی	٢٠، ٣٠، ٣٠ و ١٥	دبی آبیاری (لیتر در ساعت)	٤
کل دوره‌ی رشد (روز)	٨٤	رطوبت اشباع	٠/٦٢
وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	١/٣٥	رطوبت ظرفیت زراعی	٠/٣٦

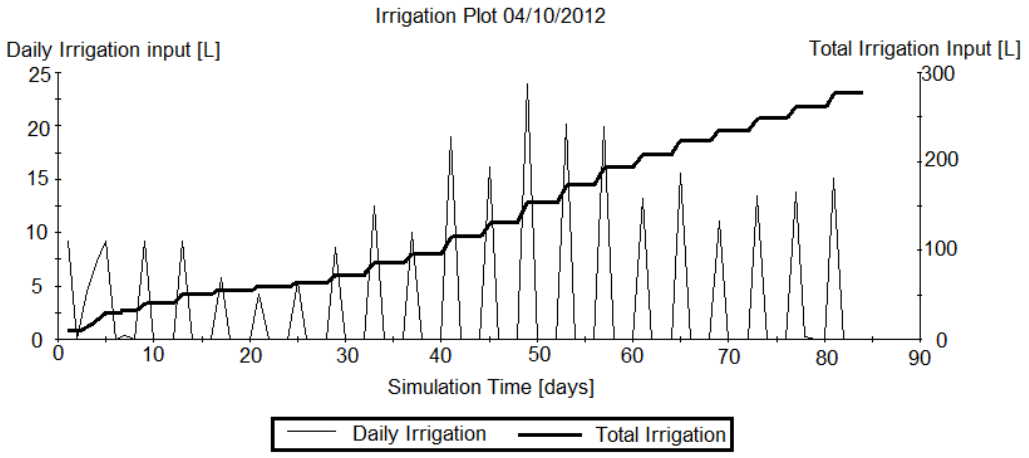
پس از کاشت بذر، برای تمامی تیمارها به‌طور هم‌زمان به مدت ١٣ روز آبیاری سنگین (برای جوانه‌زنی گیاه) اعمال شد. سپس آبیاری با دور آبیاری ثابت برای تمامی تیمارها انجام گرفت. نیاز آبی گیاه با توجه به

Archive of SID

www.SID.ir

داده‌های هواشناسی و خصوصیات گیاه و با استفاده از رابطه پنمن- مانتیث برآورد شد. آبیاری با استفاده از سیستم نوار تیپ (آبیاری قطره‌ای) و با کنترل مجزای هر کرت انجام گرفت. در هر یک از آبیاری های شیرین، کسر آبشویی به نیاز آبی اضافه شد و آبیاری بر این اساس انجام گرفت. در پایان فصل رشد عملکرد محصول ذرت (وزن ماده‌ی تر) در تیمارهای مختلف مورد مقایسه قرار گرفت.

برای نمایش چگونگی انجام آبیاری در شکل (۱) مقادیر آبیاری‌های روزانه و مقادیر تجمعی به عنوان نمونه در تیمار چهار نشان داده شده است. واسنجی مدل با استفاده از تیمار یک و بر اساس حداکثر عملکرد محصول بدون تنش (٥٦/٢ تن در هکتار) انجام شد و برای سایر تیمارها که تحت تنش شوری بودند صحت‌سنجی صورت گرفت.



شکل۱- آبیاری‌های روزانه و مجموع آب آبیاری در تیمار چهار

ارزیابی مدل

برای ارزیابی کمی مدل در تخمین عملکرد محصول در هر تیمار از معیار خطای نسبی (RE[4]) بر حسب درصد استفاده گردید:

$$RE = \frac{Y_p - Y_m}{Y_m} \times 100 \qquad \text{(رابطه ۱۳)}$$

که در آن:

Y_p و Y_m به ترتیب عملکرد محصول تخمینی و مشاهده‌ای می‌باشند. هم‌چنین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدل، با آزمون t استیودنت و در حالت نمونه‌های جفتی[5] مورد مطالعه‌ی آماری قرار گرفت (پیغمبری، ۱۳۸۸).

نتایج و بحث

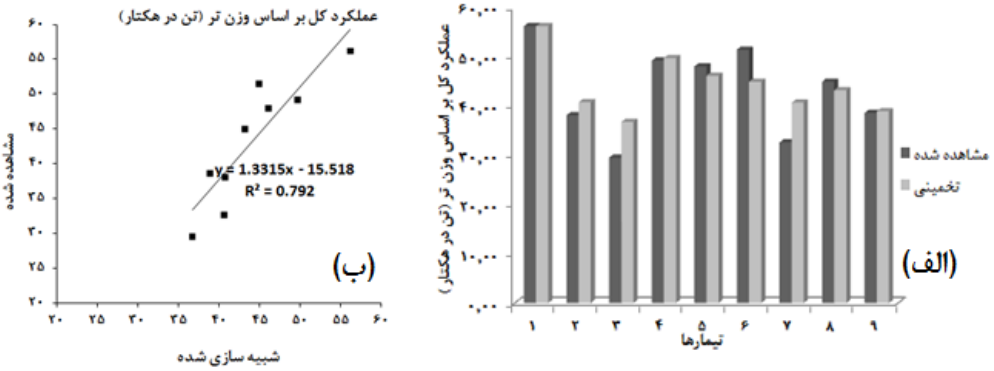
نتایج حاصله از مطالعه‌ی میدانی نشان داد که با افزایش تنش شوری عملکرد محصول کاهش می‌یابد و با استفاده از مدیریت‌های استفاده‌ی تناوبی از آب شور و شیرین این تنش می‌تواند تقلیل یابد و عملکرد محصول در مقایسه با استفاده‌ی ثابت از آب شور افزایش یابد. بر این اساس تیمارهای یک و سه به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین عملکرد محصول بودند. همان‌طور که انتظار می‌رفت با استفاده از مدیریت‌های یک در میان، سه در میان و پنج در میان تنش شوری کاهش یافت شکل (۲ الف). هم‌چنین مدل SALTMED برای هر نه تیمار برای کل فصل رشد ذرت اجرا گردید و مقادیر مشاهده‌شده در مطالعه‌ی میدانی و شبیه‌سازی‌شده توسط مدل مورد مقایسه قرار گرفت شکل (۲ الف و ب). با توجه به نتایج بدست آمده همبستگی مناسبی بین مقادیر تخمینی و مشاهداتی بدست آمد. به طوری که ضریب تعیین برای عملکرد کل محصول ۰/۷۹ بدست آمد شکل (۲ ب). در شکل (۲ الف) شبیه‌سازی خوب و رضایت‌بخش مدل در عملکرد

[5] -Relative Error
[5] -Paired varieties

Archive

www.SID.ir

محصول، برای تیمارهای مختلف نشان داده شده است. با مقایسه‌ی مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی عملکرد کل برای تیمارهای مختلف، بیشترین اختلاف شبیه‌سازی‌ها در تیمار سه مشاهده می‌شود که بیشترین تنش در این تیمار وجود داشت. هم‌چنین می‌توان گفت بهترین شبیه‌سازی‌ها بعد از تیمار یک در تیمارهای چهار و نه انجام شد. با توجه به این‌که مدل در شرایط تنش شوری از معادلات و روابط بیشتری برای شبیه‌سازی استفاده می‌کند، دلیل احتمالی دقت کم شبیه‌سازی در تیمار سه، خطای تجمعی مدل بعد از استفاده از روابط مختلف می‌باشد.



شکل ۱- (الف) مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی عملکرد محصول برای هر تیمار. (ب) مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی عملکرد محصول.

مقادیر خطای نسبی عملکرد محصول برای هر تیمار در جدول (۲) نشان داده شده است. حداقل این مقدار در تیمار یک و حداکثر آن در تیمار هفت بدست آمد. با توجه به جدول (۲) می‌توان گفت پیش‌بینی مدل در عملکرد محصول (به جز تیمارهای ۳ و ۷) از دقت خوبی برخوردار بود.

جدول ۲- خطای نسبی (RE) در هر تیمار

تیمار	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	میانگین مقادیر قدرمطلق هر تیمار
عملکرد محصول	۰/۰	۶/۹	۲۴/۴	۱/۱	-۳/۹	-۱۲/۷	۲۴/۷	-۳/۹	۰/۹	۸/۷

تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده توسط مدل وجود نداشت. هیریچ و همکاران (۲۰۱۲) ضریب تعیین ۰/۸۷ و میانگین خطای نسبی ۱۰/۲ را برای عملکرد محصول گزارش کردند که در تحقیق فعلی مقدار ضریب تعیین (۰/۷۹) و میانگین خطای نسبی (۸/۷۳) کمتر بدست آمد. رجب و همکاران (a ۲۰۰۵) خطای نسبی ۱/۷۹ را در حالت استفاده‌ی تناوبی آب شور و شیرین با استفاده از آبیاری قطره‌ای برای محصول گوجه‌فرنگی در کشور مصر بدست آوردند و عدد ۰/۸۹- تحت شرایط ذکرشده در کشور سوریه بدست آمد. خطای نسبی در تحقیق رجب و همکاران کمتر از خطای نسبی در تحقیق فعلی بود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق مدل SALTMED به منظور تخمین عملکرد محصول ذرت علوفه‌ای در شرایط کاربرد تناوبی آب شور و شیرین برای نه تیمار مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. در اکثر موارد مدل، عملکرد مطلوبی در تخمین مقدار عملکرد محصول داشت و مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. ضریب تعیین مناسبی (۰/۷۹) بین داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی عملکرد محصول بدست آمد. خطای نسبی مدل در برآورد عملکرد محصول از ۰/۰ تا ۲۴/۷ درصد برای تیمارهای مختلف بدست آمد.بنابراین کارایی مدل برای تخمین عملکرد کل در شرایط استفاده از آب شور در تناوب آب غیر شور رضایت‌بخش بود و این

Archive of SID

www.SID.ir

نشان می‌دهد که مدل توانسته است حرکت آب در خاک در اثر آبیاری، انتقال نمک در خاک و جذب آب توسط گیاه در شرایط تنش شوری در فصل رشد را به خوبی شبیه‌سازی کند.

فهرست منابع

۱. پیغمبری، س. ا. ۱۳۸۸. طرح های آزمایشی در مطالعات کشاورزی. انتشارات دانشگاه تهران.

۲. همایی، م. ۱۳۸۱. عکس العمل گیاهان به شوری. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران.

3. Allen, G. R., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration, Irrigation and Drainage paper no. 56. FAO, Rome, Italy.
4. Aslam, M., and Prathapar, S. A. 2006. Strategies to mitigate secondary salinization in the Indus Basin of Pakistan. IWMI, Colombo Sri Lanka.
5. Cardon, E.G., and Letey, J. 1992. Plant water uptake terms evaluated for soil water and solute movement models. Soil Science Society American Journal 56:1876-1880.
6. Golabi, M., Naseri, A. A., and Kashkuli, H. A. 2009. Evaluation of SALTMED model performance in irrigation and drainage of sugarcane farms in Khuzestan province of Iran. Journal of Food, Agriculture & Environment 7(2):874-880.
7. Hillel. D. 1977. Computer simulation of soil-water dynamics; a compendium of recent work. IDRC, Ottawa, Canada.
8. Hirich, A., Choukr-Allah, R., Ragab, R., Jacobsen, S-E., EL youssfi, L., and El omari, H. 2012. The SALTMED model calibration and validation using field data from Morocco. J. Mater. Environment Science 3(2):342-359.
9. Malash, N. M. and Flowers, T. J. 2011. Plant–water relations, growth and productivity of tomato irrigated by different methods with saline and non- saline water. Irrigation and Drainage 60(4):446-453.
10. Oster, J. D., Letey, J., Vaughan, P., and Wu, L., Qadir, M. 2012. Comparison of transient state models that include salinity and matric stress effects on plant yield. Agricultural Water Management 103:167-175.
11. Ragab, R. 2002. A holistic generic integrated approach for irrigation, crop and field management the SALTMED model. Environmental Modelling & Software 17:345-361.
12. Ragab, R., Malash, N., Abdel Gawad, G., Arsalan, A., and Ghaibeh, A. 2005a. 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 78:67-88.
13. Ragab, R., Malash, N., Abdel Gawad, G., Arsalan, A., and Ghaibeh, A. 2005b. A holistic generic integrated approach for irrigation, crop and field management 2-The SALTMED model validation using field data of five growing seasons from Egypt and Syria. Agricultural Water Management 78:89-107.
14. Razzaghi, F., Plauborg, F., Ahmadi, S. H., Jacobsen, S-E., Anderson, M. N., and Ragab, R. 2011. Simulation of quinoa (chenopodium quinoa wild.) response to soil salinity using the SALTMED model. ICID 21st International Congress on Irrigation and Drainage 15-23 October 2011, Tehran, Iran.
15. Wan, S., Jiao, Y., Kang, Y., Hu, W., Jiang, S., Tan, J., and Liu, W. 2012. Drip irrigation of waxy corn (Zea mays L. var. ceratina Kulesh) for production in highly saline conditions. Agricultural Water Management 104:210-220.
16. Wang, R., Kang, Y., Wan, S., Hu, W., Liu, S., and Liu, S. 2011. Salt distribution and the growth of cotton under different drip irrigation regimes in a saline area. Agricultural Water Management 100:58-69.

Archive of SID

www.SID.ir