

ارزیابی مدل SALTMED تحت شرایط مختلف مدیریت‌های آبیاری قطره‌ای با آب‌شور

علی حیدر نصرالهی^{۱*}، سعید برومند نسب^۲، عبدالرحیم هوشمند^۳، مولود حیدری نیا^۴

۱. استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان

۲. استاد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران

۳. دانشیار، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران

۴. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۹/۲۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۲/۸)

چکیده

آبیاری با آب‌شور نیازمند اعمال مدیریت‌های مختلف برای کاهش اثرات مخرب شوری روی گیاه، خاک و محیط‌زیست است. مدل‌های شبیه‌سازی از آنجایی که توان برآورد عملکرد محصول و وضعیت خاک را با توجه به تغییر اقلیم، گیاه و عملیات مدیریتی دارند، ابزاری مناسب برای مدیریت آبیاری در شرایط شوری آب‌خاک هستند. در این پژوهش مدل SALTMED تحت شرایط مختلف مدیریت آبیاری ذرت با آب‌شور مورد ارزیابی قرار گرفت. آبیاری با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای نواری در سه مدیریت اختلاط، تناوب یک‌درمیان و تناوب نیم‌درمیان آب‌شور با آب شیرین در چهار سطح شوری انجام شد. مدل SALTMED بر اساس اطلاعات نیمی از تیمارها واسنجی و با نیمی دیگر صحت‌سنجی شد. واسنجی مدل روی رطوبت خاک، عملکرد دانه و بیوماس تولیدی صورت گرفت. متوسط ریشه میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE) در شبیه‌سازی عملکرد و بیوماس به ترتیب ۳/۲۱ و ۲/۳۵ درصد به دست آمد که بیانگر دقت بالای مدل است. میانگین مقدار NRMSE در شبیه‌سازی رطوبت خاک برای مدیریت‌های مختلف ۶/۵۲ درصد محاسبه شد. همچنین شبیه‌سازی توزیع شوری در خاک در مدیریت‌های تناوبی با دقت کمتری ($15.071 \text{NRMSE} =$) نسبت به مدیریت اختلاط ($9.057 \text{NRMSE} =$) صورت گرفت.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی، عملکرد، رطوبت خاک

مقدمه

تصمیم‌گیری در مورد آبیاری با آب‌شور با در نظر گرفتن مواردی نظیر محدودیت تحمل گیاه به شوری، طبیعت خاک، کیفیت آب، شدت بارندگی، ویژگی‌های آبشویی، در دسترس بودن آب شیرین، روش کاربرد آب‌شور، اقلیم منطقه، مدیریت منابع انسانی و مقرون‌به‌صرفه بودن استفاده از آب‌شور برای آبیاری امکان‌پذیر است. از آنجایی که مدل‌های شبیه‌سازی توان برآورد عملکرد محصول و وضعیت خاک با توجه به تغییر در اقلیم، گیاه، عملیات مدیریتی و زراعی را دارند از این‌رو سبب صرفه‌جویی در وقت و هزینه می‌شوند. با استفاده از این مدل‌ها می‌توان تأثیر فاکتورهای مختلف را در برآورد عملکرد نهایی بررسی و مطالعه نمود. علاوه بر این با استفاده از این ابزار می‌توان اثرات درازمدت تغییرات کمی و کیفی آب آبیاری را بر محصول و شوری خاک ارزیابی کرد. تا به حال مدل‌های متعددی در زمینه مدیریت آبیاری با آب‌شور توسعه یافته‌اند؛ اما بسیاری از

آن‌ها نمی‌توانند شرایط کلی یا تصمیمات مدیریتی در مزرعه را لحاظ کنند. مدل SALTMED برای گیاهان، خاک‌ها، سامانه‌های آبیاری مختلف، راهکارهای مدیریت آبیاری، کیفیت‌های مختلف آب، کاربرد مواد مغذی، کودآبیاری، اثر تنش‌های محیطی همچون شوری، گرما، خشکی و حضور آب زیرزمینی کم‌عمق کاربرد دارد و توسط Ragab (2002) ارائه شد. این مدل در پژوهش‌های متعددی برای مدیریت‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته که نتایج آن‌ها بیانگر توانایی بالای مدل در شبیه‌سازی شرایط مختلف است. پژوهش Montenegro et al. (2010) به منظور شبیه‌سازی دینامیک رطوبت خاک و عملکرد محصول هویج، کلم و کرچک با مدل SALTMED انجام شد و حداکثر خطای شبیه‌سازی رطوبت خاک ۰/۴۵۷ محاسبه شد. در پژوهشی Razzaghi et al. (2011)، اثرات سطوح مختلف آبیاری و شوری را روی عملکرد گیاه گنه‌گنه در یک شرایط لایسیمیتری بررسی نمودند. مقادیر عملکرد، میزان رطوبت و شوری خاک اندازه‌گیری شده در شرایط مختلف با مقادیر شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل SALTMED مقایسه شد. مدل عملکرد دانه گنه‌گنه را با خطای

* نویسنده مسئول: aliheidar200@gmail.com

برخی خصوصیات گیاه و خاک را در شرایط مختلف مدیریتی دارد. از آنجایی که یکی از مزایای مدل SALTMED امکان استفاده از آن در شرایط مختلف مدیریت آبیاری با آب شور است. از این رو در پژوهش حاضر به منظور واسنجی و صحت سنجی مدل SALTMED در منطقه خشک اهواز، نسخه جدید مدل برای مدیریت‌های مختلف آبیاری قطره‌ای با آب شور برای محصول ذرت مورد استفاده قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مدل SALTMED

مدل SALTMED ۲۰۱۳ در مقایسه با نسخه‌های قبلی مدل سه زیر مدل جدید شامل؛ رشد گیاه، تناوب گیاه و دینامیک نیتروژن را در برمی‌گیرد. علاوه بر این در این نسخه از مدل امکان مدل‌سازی آبیاری زیرسطحی، کم‌آبیاری به روش خشکی موضعی ریشه (PRD)، زهکشی و حضور آب زیرزمینی کم‌عمق وجود دارد. این مدل اثر تنش‌های مختلف محیطی از جمله؛ درجه حرارت، غلظت CO₂، ماندابی، سطوح اکسیژن خاک، نیتروژن، شوری و خشکی را روی رشد و عملکرد گیاه شبیه‌سازی می‌کند (Ragab, 2013). این مدل شامل فرآیندهای تبخیر و تعرق، برداشت آب به وسیله ریشه گیاه، انتقال آب و املاح در سامانه‌های مختلف آبیاری، زهکشی و رابطه بین عملکرد محصول و استفاده از آب است (Ragab, 2002). در مدل تبخیر و تعرق با استفاده از روش پنمن مانیتیت و بر اساس معادله تغییر یافته در نشریه ۵۶ فائو محاسبه شده است (Allen et al, 1998). در این مدل برای جذب آب به وسیله ریشه گیاه در حضور نمک از رابطه Cardon و Letey (1992) استفاده می‌شود. با توجه به ارتباط بین جذب آب به وسیله ریشه گیاه بازدهی محصول، بازده نسبی بر اساس مجموع آب جذب شده در طول فصل رشد تقسیم‌بر مجموع حداکثر برداشت آب (حالت بدون تنش) طبق روابط زیر به دست می‌آید (Ragab, 2002).

$$RY = \frac{\sum S(X, Z, t)}{\sum S_{\max}(X, Z, t)} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$AY = RY * Y_{\max} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن‌ها؛ RY : بازده نسبی محصول، S و S_{\max} : جذب واقعی و پتانسیل آب توسط ریشه (میلی‌متر بر روز) در زمان t و مختصات افقی و عمودی X و Z در شبکه اطراف ریشه، AY : بازده واقعی محصول و Y_{\max} : حداکثر محصول به دست آمده در شرایط مطلوب و بدون تنش است. برای حل معادلات انتقال آب و املاح نیاز به دو رابطه نگهداشت رطوبتی و

نسبی ۰/۴- درصد شبیه‌سازی نمود که نشان‌دهنده توانایی خوب مدل برای شرایط لایسیمتری بود. در پژوهش Hirich et al. (2012) متوسط خطای نسبی مدل SALTMED برای شبیه‌سازی عملکرد محصولات مختلف تحت مدیریت‌های کم‌آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده ۵/۹۱ بدست آمد و همبستگی بالایی بین ماده خشک تولیدی و تخمینی توسط مدل مشاهده شد. در پژوهش دیگری مدل SALTMED برای دو سال خشک و مرطوب با استفاده از اطلاعات مزرعه‌ای گیاه نخود در جنوب پرتغال ارزیابی شد که حداکثر اختلاف بین عملکرد دانه و کل بیوماس خشک شبیه‌سازی شده و واقعی به ترتیب ۵/۱۴ و ۵/۳ درصد به دست آمد و نیز همبستگی بالایی بین رطوبت خاک اندازه‌گیری شده و تخمینی به وسیله مدل وجود داشت (Silva et al, 2012). در پژوهش Golabi et al. (2013) آنالیز حساسیت مدل SALTMED نشان داد که مدل بیشترین حساسیت را به میزان آب آبیاری با ضریب حساسیت متوسط ۱/۲۹ دارد. بر اساس یافته‌های این پژوهش درجه حرارت حداکثر نیز به عنوان حساس‌ترین پارامتر اقلیمی مدل شناخته شد. در پژوهش دیگری مدل تحت شرایط مدیریت آبیاری تناوبی آب شور و غیر شور برای ذرت ارزیابی و نتایج این پژوهش نشان داد که برآورد عملکرد محصول با استفاده از مدل رضایت‌بخش بوده و مقدار خطای نسبی بین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی صفر تا ۲۴/۷ درصد به دست آمد (Hasan Li et al, 2014). مدل SALTMED با استفاده از آزمایش‌های مزرعه‌ای کشت سورگوم تحت تنش شوری در نواحی خشک ایران برای شبیه‌سازی عملکرد دانه، ماده خشک، شوری و رطوبت خاک انجام شد (Ranjbar et al, 2015). نتایج نشان داد رطوبت خاک در اعماق مختلف بیشتر از مقدار واقعی تخمین زده شد و با افزایش شوری این اختلاف بیشتر شد. علاوه بر این شاخص توافق ویلموت^۲ (d) بین مقادیر شبیه‌سازی و واقعی شوری در اعماق مختلف ۰/۹۲ تا ۰/۹۶ به دست آمد که بیانگر دقت بالای شبیه‌سازی بود. نتایج پژوهش Rachid et al. (2015) نشان داد که مدل SALTMED قادر است عملکرد و ماده خشک محصول گننه‌گنه را تحت راهکارهای مختلف مدیریت آبیاری به خوبی شبیه‌سازی کند به طوری که مقدار ضریب باقی‌مانده^۳ (CRM) در شبیه‌سازی عملکرد و ماده خشک به ترتیب ۰/۱۱- و ۰/۲ به دست آمد. همان‌طور که ملاحظه شد بررسی پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که مدل SALTMED توانایی شبیه‌سازی

2 - Willmott index of agreement

3 - Coefficient of residual mass

نسبت برابر با هم مخلوط شده و آبیاری انجام می‌شد. در مدیریت یک‌درمیان آبیاری یک نوبت با آب شور (S_2, S_3 و S_4) و نوبت دیگر با آب رودخانه کارون (S_1) به‌طور تناوبی و یک‌درمیان صورت گرفت. در مدیریت نیم در میان (M_3) در هر نوبت آبیاری نیمی از آب آبیاری با آب شور (S_2, S_3 و S_4) و نیمی دیگر بلافاصله پس از نفوذ نیم اول با آب کارون (S_1) تکمیل می‌شد. در هر روش مدیریتی تیمار آب کارون (S_1) با شوری متوسط $2/5$ دسی‌زیمنس بر متر به‌عنوان تیمار شاهد محسوب می‌شد. به‌عبارت‌دیگر تیمارهای S_1M_1, S_2M_1 و S_3M_1 به ترتیب در مدیریت‌های اختلاط، یک‌درمیان و نیم در میان تیمار شاهد می‌باشند که تا پایان فصل با آب کارون (S_1) به‌طور پیوسته آبیاری شدند. سطوح شوری نیز علاوه بر $1S$ با شوری $2/5$ دسی‌زیمنس بر متر، S_2, S_3 و S_4 با شوری‌های چهار، شش و هشت دسی‌زیمنس بر متر منظور شد؛ بنابراین در مجموع 36 کرت با سه ردیف کشت به فاصله 75 سانتی‌متر و طول $3/5$ متر تهیه شد. آبیاری بر اساس کمبود رطوبت خاک صورت گرفت. به‌این‌ترتیب عمق خالص آبیاری با هدف جایگزین نمودن رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه تا حد ظرفیت زراعی محاسبه و عمق ناخالص آبیاری با توجه به نیاز آبشویی و راندمان آبیاری به‌صورت زیر تعیین شد:

$$d_g = \frac{d_n}{(1-LF) \times E_a} \quad (\text{رابطه } 3)$$

$$LF = \frac{EC_{iw}}{2(\max EC_e)} \quad (\text{رابطه } 4)$$

که در آن‌ها، d_g : عمق ناخالص آبیاری (mm)، dn ؛ عمق خالص آبیاری (mm)؛ E_a : راندمان آبیاری، LF : کسر آبشویی، EC_{iw} : هدایت الکتریکی آب آبیاری (ds/m) و $\max EC_e$: هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (ds/m) که عملکرد را به صفر می‌رساند.

فرآیند واسنجی مدل

برای واسنجی مدل از بین تیمارهای مختلف آزمایشی شش تیمار $2S1M, 4S1M, 2S2M, 4S2M, 2S3M$ و $4S3M$ انتخاب و واسنجی انجام شد. دلیل انتخاب این تیمارها این بود که شامل هر سه مدیریت آبیاری می‌شد و حد بالا و پایین هر تیمار مدیریتی را در برمی‌گرفت. واسنجی با تعدیل پارامترهای گیاه و خاک برای به حداقل رساندن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی عملکرد، بیوماس و رطوبت خاک صورت گرفت (رجب، ۲۰۱۳). برای این منظور ابتدا پارامترهای خاک از جمله

هدایت هیدرولیکی بوده که در این بخش از روابط ارائه‌شده توسط Van Genuchten (1980) استفاده شده است. زهکشی در نسخه جدید مدل (SALTMED, 2013) به سه طریق؛ زهکشی آزاد، سیستم زهکش روباز یا لوله زهکش و آب زیرزمینی کم‌عمق بدون زهکشی لحاظ شده است.

داده‌های موردنیاز مدل

داده‌های اقلیمی موردنیاز مدل از جمله؛ مقادیر روزانه حداکثر و حداقل دما، رطوبت نسبی، تابش خالص و... در طول فصل کشت از ایستگاه تحقیقات کشاورزی اهواز تهیه شد. اطلاعات مربوط به آبیاری شامل؛ تاریخ آبیاری، شدت جریان، زمان شروع و خاتمه آبیاری و شوری آب آبیاری بر اساس اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای به مدل وارد شد. داده‌های گیاهی از جمله؛ حداکثر و حداقل عمق ریشه، شاخص سطح برگ، ارتفاع گیاه در مراحل مختلف رشد، طول دوره‌های مختلف رشد و ضرایب گیاهی با توجه به اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای و با استفاده از نشریه فائو ۵۶ و راهنمای مدل تهیه شد. در بخش رشد گیاه نیز پارامترهای دیگری نیاز است که از جمله مهم‌ترین آن‌ها راندمان فتوسنتز، فاکتور تنش مربوط به آب در دسترس گیاه در هر مرحله از رشد، درجه حرارت حداکثر، حداقل و بهینه برای رشد گیاه است. میزان کود نیتروژن همراه با تاریخ و نوع کود مصرفی در یک فایل ذخیره و با مدل فراخوانده شد. نحوه محاسبه پارامترهای هیدرولیکی خاک از جمله منحنی نگهداشت رطوبتی و تابع هدایت هیدرولیکی با استفاده از معادله ون‌گونوختن محاسبه شد. وضعیت لایه‌بندی خاک مشخص و مشخصات هر لایه مانند؛ ضخامت لایه، رطوبت اولیه، شوری اولیه و میزان نیتروژن با توجه به اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای و آزمایشگاهی انجام شده تعیین شد.

آزمایش‌های مزرعه‌ای

عملیات و آزمایش‌های مزرعه‌ای این پژوهش در تیرماه لغایت آبان ماه ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. رقم ذرت کشت شده SC۷۰۴ بود. آزمایش‌ها در قالب یک طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و آزمایش کرت‌های خردشده اجرا شد. تیمارهای موردنظر در این پژوهش ترکیب سه روش مدیریت آبیاری و چهار سطح شوری آب آبیاری بود که در سه تکرار انجام شد. روش‌های مدیریت آبیاری شامل مدیریت اختلاط (M_1)، مدیریت یک‌درمیان (M_2) و مدیریت نیم در میان (M_3) است. در مدیریت اختلاط هر یک از تیمارهای آب‌شور (S_2, S_3 و S_4) با آب رودخانه کارون که تیمار شاهد محسوب می‌شد (S_1) به

حاضر نشان‌دهنده مطابقت بین آن‌هاست. نتایج ضرایب حاصل از فرآیند واسنجی مدل در جدول (۱) آمده است. مقادیر اولیه در این جدول مربوط به شروع واسنجی مدل و مقادیر نهایی در پایان واسنجی ثابت شدند. دلیل انتخاب این ضرایب در واسنجی مدل بررسی منابع مختلف و کارهای مشابهی بود که در شرایط شوری انجام شده بود (Razzagh et al, 2012, Silva et al, 2011; Ranjbar et al, 2015). نتایج حاصل از واسنجی مدل برای عملکرد و بیوماس در شکل‌های (۲) الی (۵) قابل مشاهده است. همان‌طور که از این شکل‌ها مشخص است ضریب تبیین حاصل از واسنجی مدل برای شبیه‌سازی عملکرد و بیوماس به ترتیب ۰/۹۶ و ۰/۹۴ است. همچنان که از شکل‌های (۲) و (۴) مشخص است مدل در شوری S_2 برای هر سه روش مدیریتی مقادیر کمتری را برآورد کرده ولی در شوری بالاتر یا S_4 مقادیر شبیه‌سازی شده با مدل بیشتر از مقادیر واقعی برآورد شده است.

صحت سنجی مدل SALTMED

شبیه‌سازی عملکرد و بیوماس

برای بررسی توانایی مدل در شبیه‌سازی عملکرد و بیوماس پس از واسنجی مدل، از نتایج تیمارهای M1S1، M1S3، M2S1، M2S3، M3S1 و M3S3 برای صحت سنجی آن استفاده شد. مدل برای این شش تیمار که هر سه مدیریت آبیاری را شامل می‌شوند، اجرا شد. مقایسه عملکرد و بیوماس شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده در جدول (۲) ارائه شده است. همان‌طور که از این جدول مشخص است حداکثر اختلاف بین مقادیر تخمینی و واقعی عملکرد و بیوماس به ترتیب ۴/۸ و ۴ درصد است و نشان‌دهنده دقت بالای مدل در شبیه‌سازی است که با نتایج سایر محققان نیز مطابقت دارد (Rachid et al, 2015; Ranjbar et al, 2014; Hasan Li et al, 2015). مقایسه مقادیر مختلف نشان می‌دهد که بیشترین درصد اختلاف بین عملکرد و بیوماس شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده متعلق به مدیریت نیم در میان یا تیمار M3S3 است. شاخص‌های آماری ارزیابی مدل نیز محاسبه و در جدول (۳) ارائه شدند که بر اساس آن شاخص ضریب باقیمانده (CRM) برای تخمین عملکرد و بیوماس به ترتیب ۰/۲۲ و ۰/۱۷ به دست آمده است. مقادیر مثبت شاخص CRM نشان‌دهنده تخمین کمتر عملکرد و بیوماس با استفاده از مدل نسبت به اندازه‌گیری‌های واقعی است. مشاهده هر سه شاخص نشان می‌دهد که مدل با دقت بالایی قادر به شبیه‌سازی عملکرد و بیوماس است.

شاخص توزیع منافذ خاک (α) و فشار ورود هوا (P) به‌منظور حداقل نمودن اختلاف مقادیر رطوبت شبیه‌سازی و مشاهداتی تعدیل شد. پس‌ازاین مرحله مدل برای شبیه‌سازی عملکرد و بیوماس طی دو مرحله کالیبره شد. در گام نخست تعدیل جزئی روی پارامترهای ضریب گیاهی (K_C) و ضریب تعرق گیاه (K_{cb}) و در گام بعد روی راندمان فتوسنتز (PE) انجام شد. تیمارهای باقی‌مانده نیز برای صحت سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفتند.

شاخص‌های ارزیابی مدل

در این پژوهش برای ارزیابی مدل، از ریشه میانگین مربعات خطای نرمال^۴ (NRMSE)، ضریب باقیمانده (CRM) و ضریب تبیین^۵ (R^2) استفاده شد.

$$NRMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n} \right]^{1/2} \times \frac{100}{O} \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n S_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (\text{رابطه ۷})$$

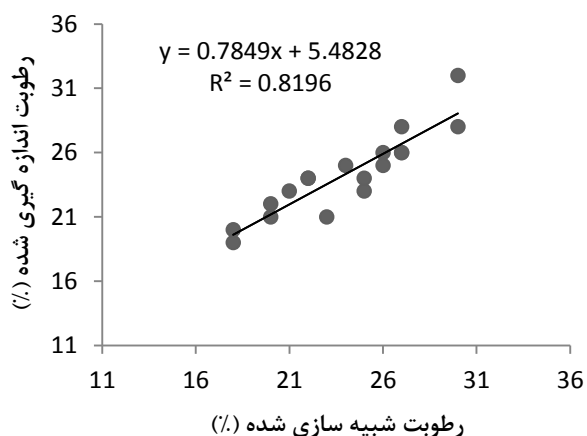
که در آن‌ها؛ S_i مقادیر شبیه‌سازی شده شده توسط مدل، O_i مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده‌ای)، n تعداد مقادیر شبیه‌سازی شده یا اندازه‌گیری شده و \bar{O} مقدار متوسط پارامتر اندازه‌گیری شده است.

نتایج و بحث

واسنجی مدل SALTMED

نتایج واسنجی مدل برای شبیه‌سازی رطوبت خاک در شکل (۱) ارائه شده است. همچنان که ملاحظه می‌شود ضریب تبیین در این بخش ۰/۸۲ محاسبه شد. Silva et al. (2012) و Hirich et al. (2012) نیز کالیبراسیون مدل را روی رطوبت خاک انجام دادند و میانگین مقدار R^2 را برای عمق‌های مختلف به ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۸۱ محاسبه کردند که مقایسه این مقادیر با تحقیق

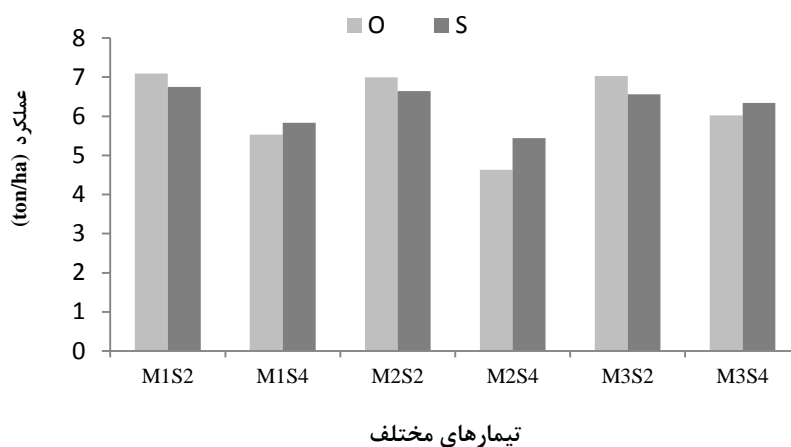
1. Normalize root mean square error
2. Coefficient of determination



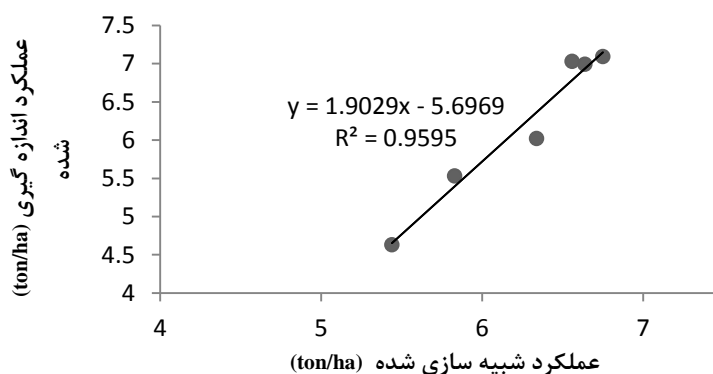
شکل ۱- رابطه بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده رطوبت خاک

جدول ۱- ضرایب حاصل از واسنجی مدل SALTMED

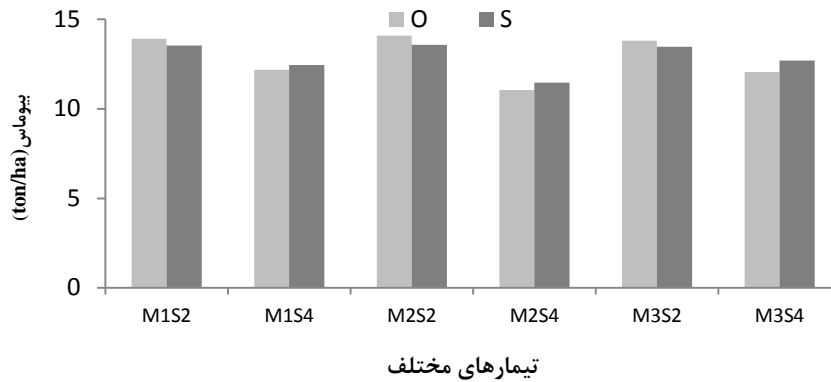
P	α	PE	Kcb			Kc			
			انتهایی	میانی	ابتدایی	انتهایی	میانی	ابتدایی	
۱۲/۵	۰/۰۹	۲/۱۵	۱	۱/۱	۰/۱۵	۱/۰۵	۱/۲	۰/۵	مقادیر اولیه
۱۴/۲	۰/۱۲	۲/۵۵	۰/۷	۱/۱۵	۰/۱۵	۱	۱/۱۵	۰/۶	مقادیر نهایی



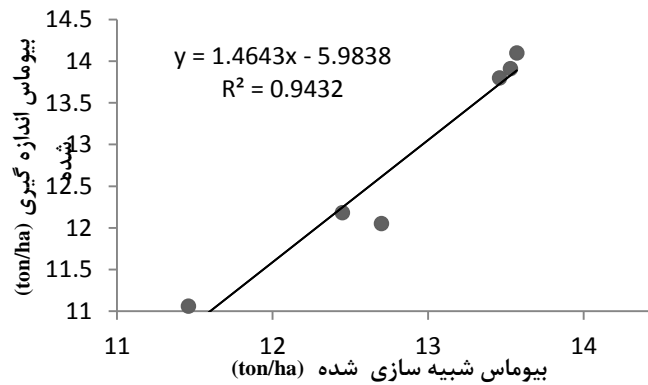
شکل ۲- عملکرد شبیه‌سازی (S) و اندازه‌گیری شده (O) تیمارهای مختلف طی فرآیند واسنجی مدل



شکل ۳- رابطه بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد در طی فرآیند واسنجی مدل



شکل ۴- بیوماس شبیه سازی (S) و اندازه گیری شده (O) تیمارهای مختلف طی واسنجی مدل



شکل ۵- رابطه بین مقادیر شبیه سازی و اندازه گیری شده بیوماس در طی فرآیند واسنجی مدل

جدول ۲- عملکرد و بیوماس شبیه سازی و مشاهده ای در مرحله صحت سنجی

تیمار	عملکرد مشاهده ای (ton/ha)	عملکرد شبیه سازی (ton/ha)	درصد اختلاف	بیوماس مشاهده ای (ton/ha)	بیوماس شبیه سازی (ton/ha)	درصد اختلاف
M1S1	۷/۳۱	۷/۲	۱/۵	۱۴/۳۵	۱۳/۹۸	۲/۵۸
M1S3	۶/۱۲	۶	۱/۹۶	۱۲/۸۶	۱۲/۶	۲/۰۲
M2S1	۷/۲۳	۷	۳/۱۸	۱۴/۸۱	۱۴/۵۷	۱/۶۲
M2S3	۵/۸۳	۵/۹۷	۲/۳۴	۱۲/۱۴	۱۲/۳۴	۱/۶۳
M3S1	۷/۱۷	۶/۸۹	۳/۹	۱۴/۰۸	۱۳/۸۸	۱/۴۲
M3S3	۶/۶۶	۶/۳۴	۴/۸	۱۳/۲	۱۲/۶۸	۴

جدول ۳- ارزیابی آماری توانایی مدل در شبیه سازی عملکرد و

متغیر	بیوماس		
	R ²	NRMSE	CRM
عملکرد	۰/۹۴	۳/۲۱	۰/۰۲۲
بیوماس	۰/۹۵	۲/۳۵	۰/۰۱۷

شبیه سازی رطوبت و شوری خاک

در جدول (۴) آمده است. ضریب تبیین در مدیریت اختلاط از حدود ۰/۹۸ به مقدار ۰/۹۰ در مدیریت نیم در میان کاهش یافته است. همچنان که ملاحظه می شود، مقدار این ضریب در مدیریت یک در میان بین این دو حالت قرار دارد. کمترین مقدار متوسط شاخص NRMSE نیز در تیمار M1S3 و بیشترین مقدار این شاخص در تیمار (M2S3) به دست آمد. بالاترین مقدار NRMSE در مورد پارامتر شوری در مدیریت نیم در میان نشان می دهد که مدل قادر نیست شبیه سازی دقیقی از توزیع شوری در مدیریت نیم در میان داشته باشد. مقایسه شاخص های مختلف آماری نشان می دهد که مدل شبیه سازی شوری و رطوبت را در مدیریت اختلاط (تیمار M1S3) با دقت بالاتری نسبت به دو مدیریت یک در میان (M2S3) و نیم در میان

برای ارزیابی توانایی مدل در شبیه سازی توزیع رطوبت و شوری در خاک از هر روش مدیریتی یک تیمار انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور تیمار M1S3 در مدیریت اختلاط، تیمار M2S3 در مدیریت یک در میان و تیمار M3S3 در مدیریت نیم در میان بررسی شد. نتایج شبیه سازی توزیع رطوبت و شوری در مدیریت های مختلف با استفاده از شاخص های آماری

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مدل SALTMED تحت شرایط مختلف مدیریت آبیاری قطره‌ای با آب‌شور برای گیاه ذرت مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور شبیه‌سازی اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای با مدل SALTMED، واسنجی مدل روی رطوبت خاک، عملکرد دانه و بیوماس تولیدی صورت گرفت. در نتیجه این فرآیند همبستگی بالایی بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای رطوبت خاک، عملکرد دانه و بیوماس به ترتیب با ضرایب تبیین ۰/۸۲، ۰/۹۶ و ۰/۹۴ به‌دست‌آمده آمد. نتایج صحت‌سنجی مدل نشان داد که مدل قادر است عملکرد، بیوماس و توزیع رطوبت خاک را در شرایط مختلف مدیریتی با دقت بالایی شبیه‌سازی کند. شبیه‌سازی شوری خاک با استفاده از مدل SALTMED نشان داد که مدل هرچند شبیه‌سازی را تحت شرایط مدیریت اختلاط با دقت بالایی انجام می‌دهد ولی در مدیریت‌های تناوبی یک‌درمیان و نیم در میان دقت شبیه‌سازی کمتر است. با این‌وجود نتایج به‌دست‌آمده حاکی از توانایی و کارایی بالای مدل در شبیه‌سازی عملکرد محصول، بیوماس تولیدی و توزیع شوری و رطوبت خاک در شرایط مختلف مدیریتی است.

(M3S3) انجام می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد با وجود این‌که مدل با دقت بسیار بالایی توزیع شوری در خاک را تحت مدیریت اختلاط شبیه‌سازی می‌کند، اما این فرآیند در مدیریت‌های تناوبی با دقت کمتری صورت می‌گیرد. به نظر می‌رسد این امر ناشی از ایجاد پروفیل‌های شوری نامنظم در مدیریت‌های تناوبی در طول فصل است که در مدیریت نیم در میان این حالت تشدید می‌یابد. ولی با این حال نباید فراموش کرد که مدل حتی در مدیریت‌های تناوبی با وجود دقت کمتر در شبیه‌سازی توزیع شوری خاک توزیع رطوبت و بخصوص مقدار عملکرد و بیوماس را با دقت بسیار بالایی شبیه‌سازی کرده است.

جدول ۴- شاخص‌های آماری ارزیابی مدل برای مدیریت‌های مختلف

تیمار	پارامتر	R ²	NRMSE	CRM
M1S3	شوری	۰/۹۸	۹/۵۷	۰/۰۴
	رطوبت	۰/۹۷	۶/۵۴	۰/۰۵
M2S3	شوری	۰/۹۳	۱۴/۴۴	۰/۰۰۲
	رطوبت	۰/۹۸	۸/۶۴	۰/۰۵
M3S3	شوری	۰/۹۱	۱۶/۹۸	۰/۰۴
	رطوبت	۰/۸۹	۴/۳۹	۰/۰۰۷

REFERENCES

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Evapotranspiration, FAO Irrigation and Drainage Paper No 56. Rome, Italy. 300, 6541.
- Cardon, E.G. and Letey, J. (1992). Plant water uptake terms evaluated for soil water and solute movement models. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56, 1876-1880.
- Golabi, M., Albaji, M. and Naseri, A. A. (2013). The Feasibility application of drainage water on irrigation and drainage networks covered by Karkhe and Shavoor Exploitation Company using SALTMED model. *Journal of Iran Water Research*, 12(7), 111-119. (In Farsi)
- Hasan Li, M., Ebrahimian, H. and Parsinejad, M. (2014). Field assessment and performance of SALTMED model in the alternative irrigation management with saline and fresh water. *Journal of Water Research in Agriculture*, 28(2), 443-451. (In Farsi)
- Hirich, A., Choukr-Allah, R., Ragab, R., Jacobsen, S.E., Elyoussfi, L. and Elomari, H. (2012). The SALTMED model calibration and validation using field data from Morocco. *Journal of Material Environment Science*, 3(2), 342-359.
- Montenegro, S.G., Montenegro, A. and Ragab, R. (2010). Improving agricultural water management in the semi-arid region of Brazil: experimental and modeling study. *Journal of Irrigation Science*, 28, 301-316.
- Rachid, F., Wahbi, S., Anaya, F., Ali, O.I., Benlhabib, O. and Ragab, R. (2015). Response of Quinoa to different water management strategies: field experiments and SALTMED model application results. *Journal of Irrigation and Drainage*. DOI: 10.1002/ird. 1895.
- Ragab, R. (2002). A holistic generic integrated approach for irrigation, crop and field management: the SALTMED model. *Journal of Environmental Modelling & Software*, 17, 345-361.
- Ragab, R. (2013). User's Guide for SALTMED 2013 Model.
- Ranjbar, G.H., Ghadiri, H., Razzaghi, F., Sepaskhah, A.R. and Edalat, M. (2015). Evaluation of the SALTMED model for sorghum under saline conditions in an arid region. *Journal of Plant Production*, 9(3), 373-392.
- Razzaghi, F., Plauborg, F., Ahmadi, S.H., Jacobsen, S.E., Andersen, M.N. and Ragab, R. (2011). Simulation Of Quinoa (*Chenopodium Quinoa Willd*) Response to Soil Salinity Using The Saltmed Model. ICID 21st International Congress on Irrigation and Drainage, 15-23 October 2011, Tehran, Iran.
- Silva, L.L., Ragab, R., Duarte, I., Lourenco, E., Simoes, N. and Chaves, M.M. (2012). Calibration and Validation of Saltmed model under dry and wet year conditions using chickpea field data from southern Portugal. *Journal of Irrigation Science*. DOI 10.1007/s00271-012-0341-5.
- Van Genuchten, M.Th. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 892-898.