

مقایسه کارایی مدل Aquacrop و Saltmed در شبیه‌سازی عملکرد گندم و شوری خاک در حمیدیه خوزستان

محمد رضا امداد^{۱*} و آرش تافته^۲

چکیده

مدل‌های گیاهی، ابزار مناسبی برای بررسی تغییرات مدیریت آبیاری و تأثیر آن بر عملکرد گیاهان هستند. هدف از این پژوهش، بررسی کارایی دو مدل Aquacrop و Saltmed در شبیه‌سازی عملکرد و تغییرات شوری خاک است. نتایج سال اول نشان داد که شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده برای شبیه‌سازی عملکرد و بیوماس در مدل Aquacrop به ترتیب ۴ و ۵ درصد و برای مدل Saltmed به ترتیب ۸ و ۹ درصد شد. این شاخص آماری در شبیه‌سازی شوری با مدل Saltmed حدود ۱۸ درصد و مدل Aquacrop ۵۳ درصد بود. همچنین نتایج سال دوم که برای اعتبارسنجی استفاده شد، نشان داد که شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده برای عملکرد و بیوماس در مدل Aquacrop به ترتیب ۴ و ۴ درصد و برای مدل Saltmed به ترتیب ۲۲ و ۱۴ درصد حاصل شد. بررسی شوری خاک در سال دوم با مدل Saltmed نشان داد که این مدل با ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده کمتر (۲۶ درصد) نسبت به مدل Aquacrop (۴۷ درصد) دقت بیشتری داشت؛ بنابراین مدل Aquacrop در شبیه‌سازی عملکرد و مدل Saltmed در شبیه‌سازی شوری خاک کارایی و دقت بالایی دارند.

واژه‌های کلیدی: آبیاری نواری، شبیه‌سازی، مراحل رشد، مدل گیاهی، هدایت الکتریکی.

ارجاع: امداد م. ر. و آرش تافته آ. ۱۳۹۹. مقایسه کارایی مدل Aquacrop و Saltmed در شبیه‌سازی عملکرد گندم و شوری خاک در حمیدیه خوزستان. مجله پژوهش آب ایران. ۳۶: ۱۵۳-۱۶۳.

۱- استادیار بخش آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲- استادیار بخش آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

* نویسنده مسئول: emdadr591@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۸

مقدمه

در سال‌های اخیر مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی عملکرد و تأثیر تنش شوری در سطح مزرعه به کار رفته است. مدل Aquacrop قابلیت شبیه‌سازی عملکرد در شرایط شور و تغییرات شوری خاک را دارد (فائو، ۲۰۱۲). دقت نتایج حاصل از مدل‌های شبیه‌سازی وابسته به دقت داده‌های موردنیاز مدل است. در صورت اندازه‌گیری و تعیین دقیق داده‌های ورودی، مدل قابلیت کاربرد در شرایط مختلف پس از واسنجی و اعتبارسنجی را خواهد داشت. سادگی، نیاز به اطلاعات ورودی کم و دقت قابل قبول مبنای انتخاب مدل‌هاست. در این ارتباط، دو مدل Aquacrop و Saltmed از جمله مدل‌های کاربردی هستند که برای شبیه‌سازی عملکرد گیاهان و تغییرات شوری خاک از قابلیت و کارایی بالایی برخوردارند. مدل Aquacrop توانایی بالایی در شبیه‌سازی پروفیل رطوبت و تغییرات شوری در خاک دارد؛ ولی توزیع رطوبت را با دقت بالاتری نسبت به تغییرات شوری در خاک شبیه‌سازی می‌کند (محمدی و همکاران، ۲۰۱۵). عابدینی پور و همکاران (۲۰۱۲) عملکرد ذرت در شرایط آبیاری دیم، ۵۰ درصد نیاز آبی، ۷۵ درصد نیاز آبی و ۱۰۰ درصد نیاز آبی و با کاربرد سه سطح نیتروژن بدون کود، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار را با مدل Aquacrop بررسی و گزارش کردند که این مدل برای سه پارامتر دانه، بیوماس و بهره‌وری مصرف آب، کارایی مناسبی در محدوده ۰/۹۵ تا ۰/۹۹، میانگین خطا در محدوده ۰/۱۷ تا ۰/۵۱ تن در هکتار و در بهره‌وری مصرف آب به‌طور متوسط بین ۲/۳ الی ۲۷/۵ درصد خطا داشته و استفاده از مدل Aquacrop را در شرایط مختلف رژیم‌های آبیاری در سطوح مختلف کاربرد کود نیتروژن با دقت مناسب پیشنهاد کردند.

خرسند و همکاران (۲۰۱۴) کارایی مدل Aquacrop در شبیه‌سازی عملکرد گندم، شوری و تغییرات رطوبت خاک را بررسی و گزارش کردند که مدل Aquacrop عملکرد دانه را به‌طور متوسط با خطای نسبی حدود ۲/۹۸ تا ۴/۸۲ درصد شبیه‌سازی کرده است. متوسط ریشه میانگین مربعات خطای نرمال برای شبیه‌سازی رطوبت و شوری خاک به ترتیب حدود ۱۵ و ۳۵/۵ درصد گزارش شده است؛ بنابراین مدل Aquacrop در شبیه‌سازی شوری خاک در مقایسه با رطوبت خاک و عملکرد دانه خطای بیشتری دارد. مونتنگرو و همکاران (۲۰۱۰) در مورد مدل

اگرهیدرولوژی Saltmed برای برنامه‌ریزی آبیاری هویج و کلم در برزیل استفاده و گزارش کردند که این مدل از دقت و کارایی بالایی در برآورد گنجایش رطوبتی خاک، عملکرد گیاه و رویکردهای مدیریتی آبیاری در شرایط محدودیت آب برخوردار است. رجب و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که مدل Saltmed قابل کاربرد در آبیاری سطحی و قطره‌ای است و در رویکردهای مختلف آبیاری (با تغییر دور و عمق آبیاری)، استفاده از آب شور و مدیریت‌های مختلف حاصل‌خیزی (از نظر نیتروژن) در شرایط مختلف نتایج قابل قبولی را ارائه می‌کند. گلایی و همکاران (۲۰۰۹) و رزاقی و همکاران (۲۰۱۱) در استفاده از مدل Saltmed برای بررسی و شبیه‌سازی تغییرات شوری خاک به ترتیب در کشت نیشکر و کینوا در شرایط شور، نشان دادند که تغییرات معنی‌داری در مقادیر شوری خاک شبیه‌سازی‌شده با این مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده در سطح احتمال ۵ درصد وجود ندارد و این مدل توانایی بالایی در شبیه‌سازی تغییرات شوری خاک در هر دو کشت دارد.

سیلوا و همکاران (۲۰۱۳) در مورد عملکرد دانه و ماده خشک نخود در رژیم‌های آبیاری در دو سال خشک و تر در جنوب پرتغال توسط مدل Saltmed، گزارش کردند که بیشترین درصد خطای مدل در شبیه‌سازی عملکرد خشک در سال خشک و تر به ترتیب ۴/۷ و ۵/۳ درصد بوده است؛ بنابراین از این مدل می‌توان برای شبیه‌سازی و مدیریت آبیاری در سال‌های خشک و تر استفاده کرد. علای و همکاران (۲۰۱۵) و رامشواران و همکاران (۲۰۱۴) نتایج حاصل از تحقیق گلخانه‌ای و بررسی تأثیر آب‌شور را به ترتیب بر عملکرد خیار و فلفل بررسی کردند و نشان دادند که مدل Saltmed در شبیه‌سازی عملکرد و تغییرات رطوبت خاک مناسب است و این مدل قابلیت استفاده در شرایط گلخانه را نیز دارد. بررسی داده‌های اندازه‌گیری شده در کشت کینوا، ذرت شیرین و نخود در مراکش با استفاده از ۶ تیمار کم آبیاری در مراحل گلدهی، دانه‌بندی و رشد اولیه گیاهان مذکور به‌وسیله مدل Saltmed نشان داده است که این مدل در شبیه‌سازی بیوماس و عملکرد دانه در هر سه گیاه موردنظر کارایی و دقت مناسبی داشته و توافق مناسبی بین داده‌های اندازه‌گیری با شبیه‌سازی وجود داشته است. همچنین گزارش شده است که مقادیر متوسط درصد خطا در شبیه‌سازی عملکرد و بیوماس

هدف ارائه کارایی استفاده از این مدل‌ها، در شرایط منطقه است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۴-۹۳ و ۹۵-۹۴ در منطقه رامسه واقع در شهرستان حمیدیه خوزستان در طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه و ۳۳ درجه و ۴ دقیقه اجرا شد. در این زمینه سه قطعه ۱۰ هکتاری انتخاب و در هر یک از این قطعات یک مزرعه به مساحت ۲۰۰۰ مترمربع برای ارزیابی و اندازه‌گیری در نظر گرفته شد. بذر گندم مورد استفاده از رقم چمران و به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هر هکتار استفاده شد. در سال اول (۹۳-۹۴)، با استفاده از مقادیر شوری اولیه، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نسبت به شبیه‌سازی و بررسی تغییرات عملکرد و شوری خاک با استفاده از دو مدل Saltmed و Aquacrop و مقایسه آن با مقادیر اندازه‌گیری شده اقدام شد. در طول فصل زراعی نیز از آمار و اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک اهواز (شامل درجه حرارت حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی حداقل و حداکثر، بارندگی، ساعت آفتابی و سرعت باد) برای تعیین تبخیر- تعرق سطح مرجع و تبخیر- تعرق گیاه گندم استفاده شد. همچنین در طول فصل زراعی حجم آب آبیاری، ساعت آبیاری، راندمان کاربرد آب، عمق توسعه ریشه اندازه‌گیری و تعیین شد. در انتهای فصل کشت با اندازه‌گیری مستقیم از مزارع منتخب در سه تکرار مقدار عملکرد دانه و بیوماس به همراه تغییرات شوری پروفیل خاک اندازه‌گیری و تعیین شد. با توجه به اطلاعات اندازه‌گیری شده، دو مدل Saltmed و Aquacrop برای شرایط سال اول کشت، مورد واسنجی قرار گرفتند. از اطلاعات سال اول برای واسنجی و از اطلاعات سال دوم برای اعتبارسنجی نتایج دو مدل و مقایسه آن با مقادیر اندازه‌گیری استفاده شد. گفتنی است که در دو مدل Saltmed و Aquacrop تبخیر- تعرق گندم توسط روش پنمن مانیتث فائو محاسبه و در شبیه‌سازی لحاظ شد.

مدل Aquacrop

در این پژوهش، از مدل Aquacrop نسخه ۴/۰ (۲۰۱۲) استفاده شد. با توجه به قابلیت و کارایی این مدل در شبیه‌سازی عملکرد و اجزای عملکرد در شرایط تنش آبی

کینوا به ترتیب ۲/۵ و ۵ درصد بوده است. متوسط درصد خطا برای مقادیر عملکرد و بیوماس شبیه‌سازی شده برای نخود به ترتیب ۴/۲ و ۶/۷ درصد و برای گیاه ذرت این مقادیر خطا به ترتیب برابر با ۱۰/۹ و ۱۲ درصد گزارش شده است (هیریچ و همکاران، ۲۰۱۲).

بررسی عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی با استفاده از آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در شرایط متناوب استفاده از آب‌شور و غیرشور با مدل Saltmed در ۴ سطح شوری آب آبیاری ۰/۷، ۲، ۴، ۶ و ۸ دسی زیمنس بر متر، نشان داد که این مدل در شبیه‌سازی عملکرد و شوری خاک در آبیاری زیرسطحی و قطره‌ای دقت بالایی دارد و بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود ندارد (دسترنج و همکاران، ۲۰۱۸). ارزیابی مدل‌های شبیه‌سازی Aquacrop و Saltmed در استفاده متناوب از آب شور و غیرشور در کشت ذرت علوفه‌ای نشان داده است که مقدار ضریب تبیین (R^2) در شبیه‌سازی شوری خاک با مدل Aquacrop و Saltmed به ترتیب برابر ۰/۸۴ و ۰/۷۳ و برای مقادیر شبیه‌سازی شده عملکرد ۰/۷۶ و ۰/۸۵ به دست آمد. همچنین گزارش شده است که خطای نسبی مدل Aquacrop در شبیه‌سازی عملکرد محصول از ۲/۹ تا ۳۰/۸ درصد و در شبیه‌سازی پروفیل شوری خاک از ۵/۹ تا ۴۵/۸ درصد متغیر بوده است. از طرف دیگر خطای نسبی مدل Saltmed در شبیه‌سازی عملکرد محصول از ۰/۹ تا ۲۴/۷ درصد و در شبیه‌سازی شوری خاک از ۲/۲ تا ۳۸/۲ درصد متغیر گزارش شده است (حسن لی و همکاران، ۱۳۹۴).

از آن‌جا که بررسی و اندازه‌گیری عملکرد و تغییرات شوری خاک در ناحیه توسعه ریشه در مدیریت‌ها و روش‌های مختلف آبیاری در گیاهان زراعی نیاز به صرف هزینه و زمان‌بر است و در عمل امکان اجرای سناریوهای مختلف آبیاری برای بررسی عملکرد و تغییرات شوری خاک مقدور نیست؛ بنابراین استفاده از مدل‌های کاربردی این امکان را فراهم می‌آورد تا پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل بتوان سناریوهای مختلف مدیریتی را در زمینه افزایش عملکرد محصول و تغییرات شوری خاک با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی و توصیه کرد؛ بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی کارایی دو مدل کاربردی Saltmed و Aquacrop در شبیه‌سازی عملکرد و تغییرات شوری خاک در شرایط کشت گندم در منطقه حمیدیه خوزستان و

سپس در قالب اطلاعات ورودی در اختیار مدل Aquacrop قرار داده شد. گفتنی است که مقادیر تبخیر- تعرق مرجع به دست آمده از مدل ET₀ Calculator، به عنوان داده ورودی در مدل Aquacrop لحاظ شد. داده‌های گیاهی، اطلاعات خاک و برنامه‌ریزی آبیاری موردنیاز در این مدل بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در هر سه پایلوت منتخب برای مدل تعریف شد. در جدول ۱ و ۲ به ترتیب اطلاعات گیاهی و برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک پایلوت‌ها ارائه شده است.

و شوری، این مدل انتخاب و مورد واسنجی قرار گرفت. تنش آبی در این مدل، به‌وسیله رابطه دورنبوس و کاسام (۱۹۷۹) و بر اساس نسبت تبخیر- تعرق واقعی به تبخیر- تعرق پتانسیل در نظر گرفته شد. این مدل حرکت نمک در خاک را بر اساس معادلات حاکم بر زهکشی و نیز بر پایه صعود موینگی و پتانسیل تبخیر از سطح خاک شبیه‌سازی می‌کند. داده‌های ورودی این مدل شامل پارامترهای اقلیمی است که با استفاده از مدل ET₀ Calculator، مقادیر تبخیر- تعرق گیاه مرجع تعیین و

جدول ۱- اطلاعات گیاهی به‌دست‌آمده از مزارع تحقیقاتی منتخب

اطلاعات گیاهی (گندم)	محدوده تغییرات	اطلاعات گیاهی (گندم)	محدوده تغییرات
تعداد روز از کاشت تا ظهور گیاه	۱۰-۱۴	طول دوره گلدهی (روز)	۱۰-۱۴
تعداد روز از کاشت تا رسیدن به ماکزیم پوشش	۹۵-۱۰۵	تعداد روز از کاشت تا گلدهی	۱۰۵-۱۱۵
تعداد روز از کاشت تا پیر شدن برگ‌ها	۱۳۵-۱۴۵	ماکزیم عمق ریشه‌ها (متر)	۰/۳-۰/۳۵
تعداد روز از کاشت تا رسیدن (قابل برداشت شدن)	۱۶۰-۱۷۰	تعداد روز از کاشت تا رسیدن به ماکزیم عمق ریشه‌ها	۱۰۰-۱۱۰

مدل Saltmed

برای بررسی کارایی مدل Saltmed در شبیه‌سازی عملکرد و تغییرات شوری خاک در این پژوهش از نسخه ۰۲-۰۴-۰۳ (۲۰۱۵) استفاده و تغییرات عملکرد و شوری خاک شبیه‌سازی شده (در سه عمق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متر) در دو سال با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه و ارزیابی شد. مشابه مدل Aquacrop در این مدل نیز برای برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع و گندم نیاز به اطلاعات هواشناسی بود که بر اساس روش فائو ۵۶ (ینمن مانیتیت فائو) محاسبه شد. این مدل مقدار واقعی جذب آب توسط گیاه را بر اساس رابطه کاردون و لتی (۱۹۹۲) محاسبه می‌کند که این معادله بر اساس فشار اسمزی در جذب گیاه تأثیر دارد. حرکت آب در خاک در این مدل بر اساس معادله ریچاردز و حرکت شوری بر اساس جریان آب در خاک شبیه‌سازی می‌شود. بر این اساس برخی داده‌های ورودی مدل شامل اطلاعات فیزیکی و شیمیایی خاک مانند لایه‌بندی خاک، هدایت هیدرولیکی هر لایه، رطوبت اشباع، رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم، شوری اولیه نیمرخ خاک در ابتدای کشت و ضریب پخشیدگی اشاره کرد. از جمله داده‌های ورودی به این مدل می‌توان به اطلاعات ضریب گیاهی، حداقل و حداکثر عمق ریشه، ارتفاع گیاه و عملکرد پتانسیل، شاخص سطح

برگ و شاخص برداشت اشاره کرد. همچنین پارامترهای مدیریت آبیاری شامل روش آبیاری، تاریخ آبیاری، عمق، ساعت آبیاری و شوری آب آبیاری در هر نوبت، از جمله مواردی هستند که ضروری است در این مدل تعریف شوند. برخی اطلاعات گیاهی موردنیاز این مدل در جدول ۱ ارائه شده است.

اطلاعات مدیریت آبیاری شامل نوبت آبیاری، عمق آبیاری و شوری آب آبیاری کاربردی در مزارع منتخب، در دو سال اجرا شده، در جدول ۲ ارائه شده است.

نظر به این‌که آبیاری گندم در منطقه، به‌صورت سنتی است و غالباً کشاورزان آب بیشتری برای گندم در این منطقه مصرف می‌کنند؛ بنابراین برای افزایش کارایی مصرف آب در کشت گندم منطقه، مناسب‌ترین روش آبیاری گندم برای ارتقاء کارایی مصرف آب با مدل Aquacrop شبیه‌سازی و اجرا شد. در این ارتباط تعداد ۴ نوبت آبیاری در مراحل کاشت، ساقه‌دهی، گلدهی و تشکیل دانه و هر نوبت با عمق آب کاربردی حدود ۱۲۰ میلی‌متر برای نیل به عملکرد معمول کشاورزان (۲/۵ تن در هکتار) به دست آمد و برای سال دوم اجرا شد. به علت بارش مناسب از نظر مقدار و توزیع زمانی در سال دوم (۲۲۷ میلی‌متر) نسبت به سال اول (۱۳۷ میلی‌متر)، نوبت آبیاری مصادف با آغاز گلدهی گندم (پهمن‌ماه) حذف و

استاندارد (SE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE)، ضریب تبیین (R^2)، میانگین انحراف خطا (MBE) و کارایی مدل (EF) برای تعیین دقت مدل‌ها و مقایسه آن‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده استفاده شد.

بنابراین در سال دوم سه نوبت آب آبیاری در نظر گرفته شد. داده‌های گیاهی و خاک اندازه‌گیری شده در سال اول برای واسنجی دو مدل Aquacrop و Saltmed برای شبیه‌سازی عملکرد و شوری خاک استفاده شد. نتایج واسنجی سال اول برای صحت‌سنجی نتایج دو مدل در سال دوم ارزیابی شد. از شاخص‌های آماری، خطای

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک پایلوت‌های منتخب

پایلوت	عمق سانتی‌متر	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	بافتن خاک	درصد رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی	درصد رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی	هدایت الکتریکی اولیه خاک دسی زیمنس بر متر	
								سال اول	سال دوم
مزرعه ۱	۰-۲۵	۲۲	۳۶	۴۲	Loam	۲۵/۸	۱۴/۳	۹/۰	۱۰/۹
	۲۵-۴۵	۲۸	۳۸	۳۴	Clay Loam	۳۰/۳	۱۷/۷	۷/۹	۶/۹
	۴۵-۶۰	۲۴	۴۲	۳۴	Loam	۲۸/۱	۱۵/۲	۷/۰	۶/۳
مزرعه ۲	۰-۲۵	۲۸	۴۲	۳۰	Clay Loam	۳۰/۹	۱۷/۸	۸/۳	۱۰/۲
	۲۵-۴۵	۴۰	۴۰	۲۰	Silty Clay	۳۸/۰	۲۴/۵	۹/۱	۷/۲
	۴۵-۶۰	۴۸	۳۶	۱۶	Clay	۴۱/۷	۲۹/۰	۸/۹	۶/۵
مزرعه ۳	۰-۲۵	۴۰	۴۲	۱۸	Silty Clay	۳۸/۰	۲۴/۵	۱۰/۹	۱۰/۴
	۲۵-۴۵	۴۴	۴۲	۱۴	Silty Clay	۴۰/۲	۲۷/۰	۶/۹	۷/۲
	۴۵-۶۰	۳۸	۴۸	۱۴	Silty Clay Loam	۳۸/۰	۲۳/۵	۶/۳	۶/۱
میانگین	۰-۲۵	۳۰	۴۰	۳۰	Clay Loam	۳۱/۹	۱۹/۰	۸/۸	۱۰/۵
	۲۵-۴۵	۳۷	۴۰	۲۳	Clay Loam	۳۶/۴	۲۳/۰	۸/۵	۷/۱
	۴۵-۶۰	۳۷	۴۲	۲۱	Clay Loam	۳۶/۴	۲۳/۰	۷/۹	۶/۳

جدول ۳- برخی اطلاعات گیاهی موردنیاز مدل Saltmed

مقدار	عامل گیاهی	مقدار	عامل گیاهی	مقدار	عامل گیاهی
۱۶۵ روز	کل دوره رشد	۱۰ روز	طول دوره جوانه‌زنی	۴۰ سانتی‌متر	حداکثر طول ریشه
۰/۴۳	شاخص برداشت	۳۰ روز	طول دوره ابتدایی	۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار	حداکثر عملکرد محصول
۸۰ سانتی‌متر	ارتفاع گیاه	۳۵ روز	طول دوره توسعه	۰/۳	ضریب گیاهی اولیه
۱۶ آبان	تاریخ کشت	۵۵ روز	طول دوره میانی	۰/۸	ضریب گیاهی میانی
۳۰ فروردین	تاریخ برداشت	۳۵ روز	طول دوره پایانی	۰/۴	ضریب گیاهی انتهایی

جدول ۴- اطلاعات مدیریت آبیاری در دو سال زراعی موردنظر

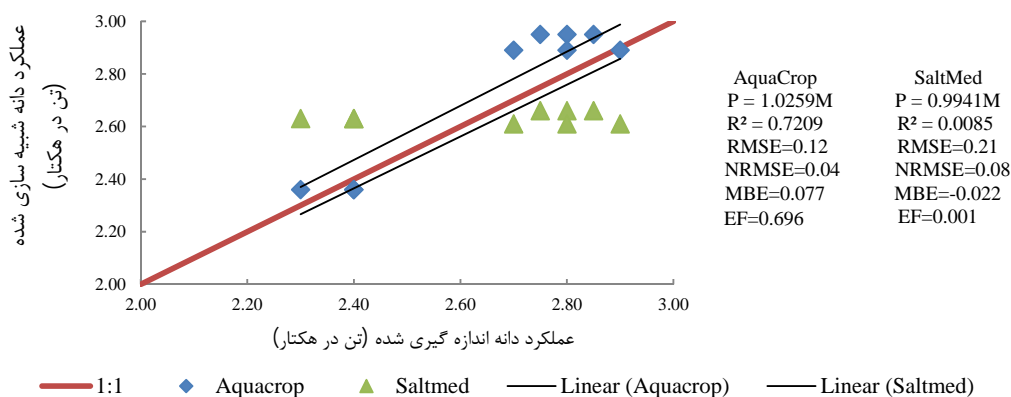
سال دوم			سال اول		
تاریخ آبیاری	متوسط عمق آب آبیاری میلی‌متر	دسی زیمنس بر متر	تاریخ آبیاری	متوسط عمق آب آبیاری میلی‌متر	دسی زیمنس بر متر
۱۳۹۴/۸/۱۶	۱۲۰	۱/۵	۱۳۹۳/۸/۱۶	۲۰۰	۶/۴
۱۳۹۴/۱۰/۱۰	۱۲۰	۱/۵	۱۳۹۳/۰۹/۱۵	۱۸۰	۶/۴
۱۳۹۴/۱۲/۱۶	۱۲۰	۱/۵	۱۳۹۳/۱۰/۲۷	۱۸۰	۶/۴
-	-	-	۱۳۹۳/۱۱/۲۰	۲۰۰	۲/۰
-	-	-	۱۳۹۳/۱۲/۲۰	۱۹۰	۲/۰

نتایج و بحث

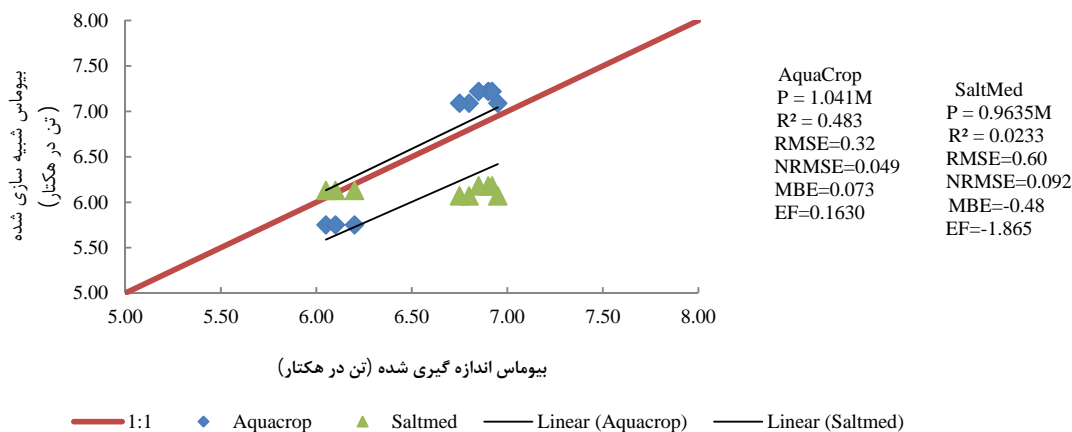
نتایج حاصل از عملکرد و بیوماس گندم اندازه‌گیری شده در پایلوت‌های منتخب به همراه مقادیر متناظر شبیه‌سازی شده آن‌ها با مدل Aquacrop و Saltmed در شکل ۱ ارائه شده است.

همچنین نتایج مقایسه برخی از شاخص‌های آماری صفت‌های عملکرد دانه گندم شبیه‌سازی شده حاصل از دو مدل مذکور، با مقادیر اندازه‌گیری شده و مقایسه آن با خط یک‌به‌یک در شکل ۲ ارائه شده است. نتایج مقایسه شاخص‌های آماری عملکرد دانه شبیه‌سازی شده حاصل شده از دو مدل، نشان می‌دهد که مدل Aquacrop با داشتن ریشه میانگین مربعات خطای استاندارد (۰/۱۲) تن در هکتار) و ریشه میانگین مربعات خطای استاندارد نرمال شده (۰/۰۴) کمتر و شاخص کارایی مدل (۰/۷) بیشتر نسبت به مدل Saltmed، از دقت و کارایی بیشتری

برخوردار است. همان‌گونه که در شکل ۲ دیده می‌شود مقادیر شبیه‌سازی شده عملکرد در مدل Saltmed در پایلوت‌های مورد نظر تغییری ندارد که این امر ناشی از استفاده کمتر این مدل از پارامترهای گیاهی (مراحل توسعه پوشش گیاهی و رشد)، مراحل فنولوژیک گیاه و معادلات حاکم بر مدل نسبت به مدل Aquacrop یا خطای مدل در شبیه‌سازی است. همچنین تغییرات بیوماس گندم شبیه‌سازی شده با این دو مدل و مقایسه شاخص‌های آماری آن با مقادیر اندازه‌گیری شده، نشان می‌دهد که کارایی مدل Aquacrop با داشتن ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده به ترتیب ۰/۳۲ و ۰/۰۴۹ و نیز شاخص کارایی مدل ۰/۱۶ نسبت به مدل Saltmed از دقت بیشتری در شبیه‌سازی بیوماس برخوردار بوده است.



شکل ۱- مقایسه نتایج عملکرد دانه گندم شبیه‌سازی شده با مدل Aquacrop و Saltmed و مقادیر اندازه‌گیری شده در سال اول



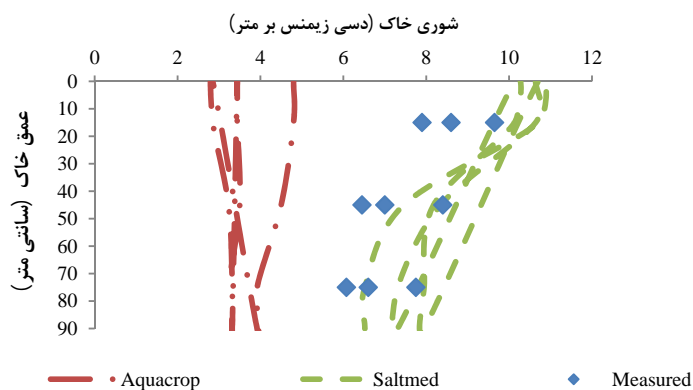
شکل ۲- مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده بیوماس گندم با مدل Aquacrop و Saltmed و مقادیر اندازه‌گیری شده در سال اول

با توجه به نتایج حاصل از شکل ۱ و ۲، ملاحظه می‌شود که مقادیر شبیه‌سازی شده عملکرد دانه و بیوماس به دست آمده با مدل Saltmed نسبت به خط یک‌به‌یک، کم برآورد شده است. به طور متوسط این مدل مقادیر اندازه‌گیری شده را کمتر شبیه‌سازی می‌کند. همچنین تغییرات پروفیل شوری خاک شبیه‌سازی شده توسط مدل Aquacrop و Saltmed با مقادیر اندازه‌گیری شوری خاک در سه عمق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متر بررسی و ارزیابی شد. در شکل ۳ روند تغییرات شوری خاک شبیه‌سازی شده با مدل‌های مذکور، با مقادیر اندازه‌گیری شده شوری خاک ارائه شده است.

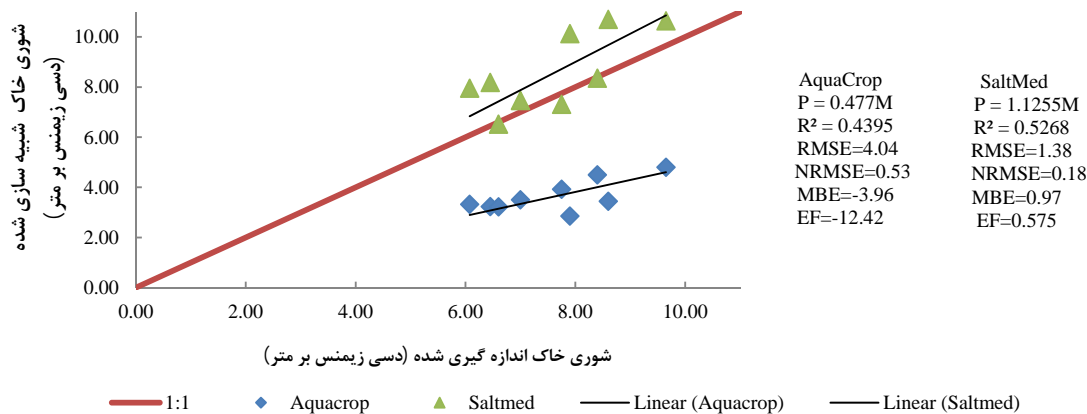
همان‌گونه که دیده می‌شود، شوری خاک شبیه‌سازی شده با مدل Saltmed قرابت و همخوانی بیشتری با مقادیر اندازه‌گیری شده نسبت به مدل Aquacrop دارد؛ به عبارت دیگر این مدل مقادیر شوری خاک را با دقت بیشتری (خطای استاندارد مدل Saltmed و Aquacrop به ترتیب

۴/۲ و ۱۲/۱ درصد) شبیه‌سازی می‌کند. مدل Saltmed در لایه سوم (۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متری) دقت و کارایی نسبی بالاتری در شبیه‌سازی شوری خاک نسبت به مدل Aquacrop دارد. همچنین در لایه اول و دوم مقادیر شبیه‌سازی شده با مدل Saltmed همخوانی و قرابت بیشتری نسبت به مدل Aquacrop در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده دارد.

برای مقایسه نتایج تغییرات شوری خاک با مدل‌های مورد استفاده و مقادیر اندازه‌گیری شده از شاخص‌های آماری استفاده شد. همان‌گونه که در شکل ۴ دیده می‌شود، مدل Saltmed با داشتن ریشه میانگین مربعات خطا (۱/۳۸ دسی زیمنس بر متر)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (۰/۱۸) و میانگین انحراف خطای (۰/۹۷) کمتر و شاخص کارایی مدل (۰/۵۷) بیشتر، نسبت به مدل Aquacrop از دقت بیشتری در شبیه‌سازی شوری خاک برخوردار است.



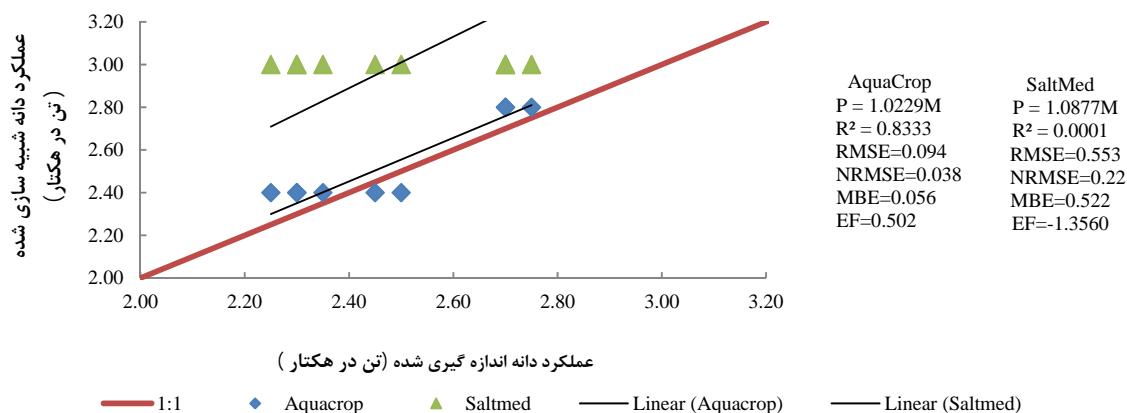
شکل ۳- تغییرات شوری خاک شبیه‌سازی شده با مدل Aquacrop و Saltmed و مقادیر اندازه‌گیری شده در سال اول



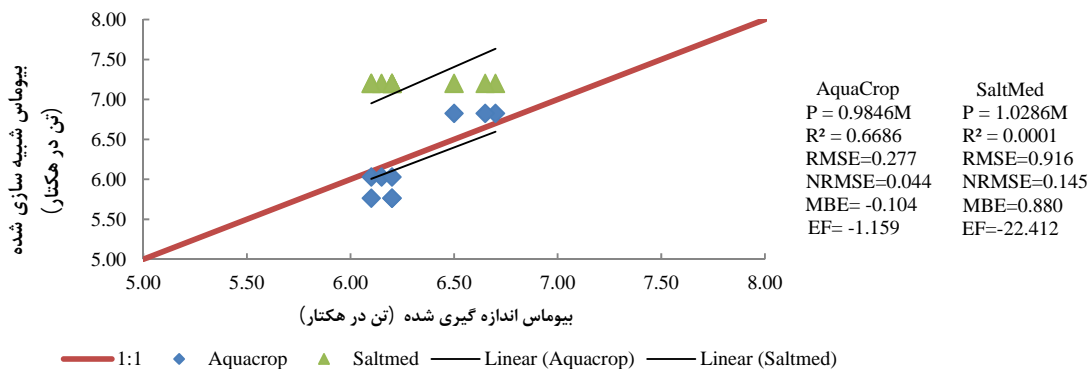
شکل ۴- مقایسه مقادیر شوری خاک شبیه‌سازی شده با مدل Saltmed و AquaCrop و مقادیر اندازه‌گیری شده در سال اول

برخوردار است. به‌طور مشابه شاخص‌های آماری محاسبه شده برای بیوماس گندم (شکل ۶) نیز نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطا (۰/۲۷۷ تن در هکتار)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (۰/۰۴۴) و میانگین انحراف خطای (۰/۱۰۴) به‌دست آمده از مدل AquaCrop در مقایسه با مدل Saltmed کمتر است و قرابت و همخوانی بیشتری نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده دارد. همچنین از دو مدل مذکور در سال دوم برای شبیه‌سازی تغییرات شوری پروفیل خاک (تا عمق ۹۰ سانتی‌متر) استفاده شد. نتایج نشان داد که مقادیر شبیه‌سازی شوری خاک به‌دست آمده با مدل Saltmed (با خطای استاندارد ۵/۳ نسبت به ۱۰/۸ درصد در مدل AquaCrop) همخوانی و قرابت بیشتری با مقادیر اندازه‌گیری شده شوری در انتهای فصل کشت (۳۰ فروردین‌ماه ۱۳۹۵) دارند.

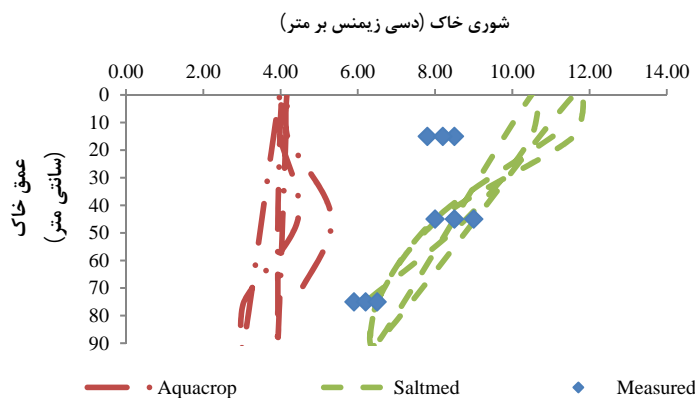
برای اعتبارسنجی نتایج سال دوم، در پایلوت‌های منتخب گندم کشت و مشابه سال اول، اندازه‌گیری‌های مربوطه به همراه اعمال نوبت‌های آبیاری انجام شد. نتایج مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده عملکرد و مقادیر اندازه‌گیری شده در پایلوت‌های موردنظر ارائه شده است. برای مقایسه نتایج مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده از شاخص‌های آماری ذکر شده استفاده و نتایج آن برای عملکرد دانه گندم و بیوماس به ترتیب در شکل ۵ و ۶ ارائه شده است. همان‌گونه که در شکل ۵ دیده می‌شود، مدل AquaCrop با داشتن ریشه میانگین مربعات خطا (۰/۰۹۴ تن در هکتار)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (۰/۰۳۸) و میانگین انحراف خطای (۰/۰۵۶) کمتر نسبت به مدل Saltmed از دقت و شاخص کارایی بالاتری (۰/۵) در مقابل (۱/۳۵-) در شبیه‌سازی عملکرد دانه گندم



شکل ۵- مقایسه نتایج عملکرد دانه شبیه‌سازی شده گندم با مدل Saltmed و AquaCrop و مقادیر اندازه‌گیری شده در سال دوم



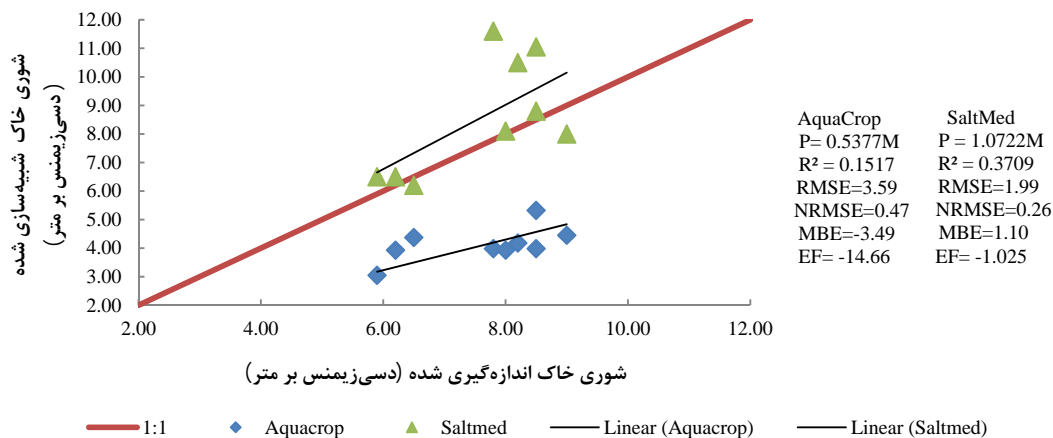
شکل ۶- مقایسه نتایج بیوماس گندم شبیه‌سازی شده با مدل Saltmed و Aquacrop و مقادیر اندازه‌گیری شده در سال دوم



شکل ۷- تغییرات شوری خاک شبیه‌سازی شده با مدل Saltmed و Aquacrop و مقادیر اندازه‌گیری شده در سال دوم

بنابراین با توجه به قابلیت و کاربردهای این دو مدل در شبیه‌سازی عملکرد و شوری خاک، دیده می‌شود که مدل Aquacrop با استفاده از پارامترهای گیاهی بیشتر، از کارایی و دقت بالاتری در شبیه‌سازی عملکرد دانه و بیوماس نسبت به مدل Saltmed برخوردار است. از طرف دیگر مدل Saltmed مدلی است که برای شبیه‌سازی عملکرد و شوری خاک در شرایط شور ارائه شده و با استفاده از پارامترهای تأثیرگذار و مؤثر بر توزیع پروفیل رطوبت و شوری خاک (مانند پتانسیل اسمزی) شبیه‌سازی مربوطه را با کارایی بیشتری انجام می‌دهد؛ لذا نتایج این تحقیق نیز نشان داد که این مدل قابلیت و دقت بالاتری در شبیه‌سازی شوری خاک نسبت به مدل Aquacrop دارد که این منتج از ماهیت این مدل و روابط حاکم بر آن در شرایط شور است.

برای مقایسه نتایج حاصل از دو مدل در شبیه‌سازی شوری خاک با مقادیر اندازه‌گیری شده، نتایج شاخص‌های آماری نشان داد که مدل Saltmed با ریشه میانگین مربعات خطا (۱/۹)، ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده (۰/۲۶) و میانگین انحراف خطا (۱/۱) کمتر، دقت بالاتری نسبت به مدل Aquacrop در شبیه‌سازی شوری خاک دارد. مدل Saltmed در لایه دوم و سوم (۳۰ تا ۶۰ و ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متری) دقت و کارایی بیشتری در شبیه‌سازی شوری خاک نسبت به مدل Aquacrop دارد. دقت این مدل در شبیه‌سازی در لایه اول (۰ تا ۳۰ سانتی‌متر) نسبت به دو عمق دیگر کمتر است؛ ولی در هر حال مقادیر شبیه‌سازی شده با مدل Saltmed همخوانی و قرابت بیشتری نسبت به مدل Aquacrop در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده دارد.



شکل ۸- مقایسه مقادیر شوری خاک شبیه‌سازی شده با مدل Aquacrop و Saltmed و مقادیر اندازه‌گیری شده در سال دوم

نتیجه‌گیری

شبیه‌سازی شوری خاک نسبت به مدل Aquacrop (۴۷ درصد) دقت بیشتری دارد و مؤید نتایج به‌دست‌آمده در سال اول است؛ بنابراین نظر به ماهیت و روابط به کار رفته در مدل‌ها چنانچه منظور شبیه‌سازی عملکرد و یا بیوماس باشد، استفاده از مدل Aquacrop و در صورتی که بررسی تغییرات پروفیل شوری خاک مورد نظر باشد استفاده از مدل Saltmed نتایج و کارایی مناسب‌تری در شبیه‌سازی شوری خاک نسبت به مدل Aquacrop ارائه می‌نماید.

نتایج حاصل از سال اول که برای واسنجی مدل Aquacrop و Saltmed در زمینه شبیه‌سازی مقادیر عملکرد دانه و بیوماس گندم و همچنین تغییرات پروفیل شوری خاک بود، نشان داد که مدل Aquacrop در شبیه‌سازی عملکرد و بیوماس گندم از دقت و کارایی بالاتری نسبت به مدل Saltmed برخوردار است. شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده برای عملکرد و بیوماس در مدل Aquacrop به ترتیب ۴ و ۵ درصد و برای مدل Saltmed به ترتیب ۸ و ۹ درصد حاصل شده است که این امر بیان‌کننده دقت بالاتر مدل Aquacrop است. از طرف دیگر شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در شبیه‌سازی شوری خاک در سال اول نشان داد که شوری خاک شبیه‌سازی شده با مدل Saltmed با ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده کمتر (۱۸ درصد) همخوانی و قرابت بیشتری با مقادیر اندازه‌گیری شده نسبت به مدل Aquacrop (۵۳ درصد) دارد. همچنین نتایج سال دوم که برای اعتبار سنجی نتایج سال اول استفاده شد نشان داد که شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده برای عملکرد و بیوماس در مدل Aquacrop به ترتیب ۴ و ۴ درصد و برای مدل Saltmed به ترتیب ۲۲ و ۱۴ درصد حاصل شده است که تأییدکننده نتایج سال اول است. همچنین بررسی شوری خاک شبیه‌سازی شده در سال دوم با مدل Saltmed نشان داد که این مدل با داشتن ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده کمتر (۲۶ درصد) در

منابع

۱. حسن لی م. افراسیاب پ. و ابراهیمیان ح. ۱۳۹۴. ارزیابی مدل‌های AquaCrop و Saltmed در تخمین عملکرد محصول ذرت و شوری خاک. تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران). ۴۶(۳): ۴۸۷-۴۹۸.
۲. خرسند ا. وردی‌نژاد و. و شهیدی ع. ۱۳۹۳. ارزیابی عملکرد مدل AquaCrop در پیش‌بینی عملکرد گندم، رطوبت و شوری نیم‌رخ خاک تحت تنش‌های شوری و کم‌آبی. مدیریت آب و آبیاری. ۴(۱): ۸۹-۱۰۴.
۳. محمدی م. داوری ک. قهرمان ب. انصاری ح. و حق‌وردی ا. ۱۳۹۴. واسنجی و صحت‌سنجی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد گندم بهاره تحت تنش همزمان شوری و خشکی. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹.۳(۳): ۲۷۷-۲۹۵.
4. Abedinpour M. Sarangi A. Rajput T. B. S. Singh M. H. Pathak H. and Ahmad T.

- R. 2011. Simulation of quinoa (chino podium quinoa wild.) response to soil salinity using the Saltmed model. ICID 21st International Congress on Irrigation and Drainage. 56(3): 25-32.
16. Silva L. L. Ragab R. Duarte I. Lourenc E. Simões N. and Chaves N. N. 2013. Calibration and validation of Saltmed model under dry and wet year conditions using chickpea field data from Southern Portugal. *Irrigation Science*. 31: 651-659.
2012. Performance evaluation of AquaCrop model for maize crop in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*. 110:55-66.
5. Aly A. A. Al-Omran A. M. and Khasha A. A. 2015. Water management for cucumber: Greenhouse experiment in Saudi Arabia and modeling study using Saltmed model. *soil and water conservation*. 70(1): 1-11.
6. 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.
7. Dastranj M. Noshadi M. Sepaskhah A. R. Razzaghi F. and Ragab R. 2018. Soil Salinity and Tomato Yield Simulation Using Saltmed Model in Drip Irrigation. *Irrigation and Drainage Engineering*. 144(2): 7001-7022.
8. Doorenbos J. and A. H. Kassam. 1979. Yield response to Water. irrigation and drainage. Paper No. 33. Food and Agricultural Organization. Rome. Italy.
9. Food and Agriculture Organization. 2012. AquaCrop update version 4.0. Rome: FAO. 125 p.
10. 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. *Food, Agriculture and Environment*. 7(2): 874-880.
11. Hirich A. Choukr-Allah R. Ragab R. Jacobsen S. E. El youssfi L. El omari H. 2012. The Saltmed model calibration and validation using field data from Morocco. *Materials and Environmental Science*. 3(2): 342-359.
12. Montenegro S. G. Montenegro A. and Ragab R. 2010. Improving agricultural water management in the semi-arid region of Brazil: experimental and modeling study. *Irrigation Science*. 28: 301-316.
13. Ragab R. Malash N. Abdel Gawad G. Arsalan, A. and Ghaibeh A. 2005. A holistic generic integrated approach for irrigation, crop and field management The Saltme model validation using field data of five growing seasons from Egypt and Syria. *Agricultural Water Management*. 78: 89-107.
14. Rameshwaran P. Tepe A. Yazar A. and Ragab R. 2014. The effect of saline irrigation water on the yield of pepper. experimental and modeling study. *Wiley Online Library*. 64(1): 41-49.
15. Razzaghi F. Plauborg F. Ahmadi S. H. Jacobsen S. E. Anderson M. N. and Ragab

